

Noticreto

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN



ASOCCEM
ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE CEMENTO

N° 12



**FABRICACIÓN DE TUBOS DE CONCRETO
PARA EMISARIO SUBMARINO**

**BIM, DIGITALIZANDO EL CONOCIMIENTO
EN PROYECTOS INDUSTRIALES**

**SOLUCIONES ALTERNATIVAS A RETOS GEOLÓGICOS
EN ESTRUCTURAS DE CIMENTACIÓN**



UNA PUBLICACIÓN DE

Asocreto
Colombia



PERÚ s/ 30

ISSN 0120-8489

EDICIÓN ESPECIAL

Construcciones Industriales



PACASMAYO
PROFESIONAL

DESARROLLAMOS SOLUCIONES PARA TUS PROYECTOS

EMISARIO SUBMARINO DE LA REFINERÍA DE TALARA. EN
CONJUNTO CON CIMENTACIONES TERRATEST PERÚ S.A.C.



PONTE EN CONTACTO CON NOSOTROS:

☎ 0800-1-34866 @ cementospacasmayo.com

📲 Descarga el App Pacasmayo Profesional en



Pacasmayo 

Noticreto 12

ENERO - FEBRERO DE 2020

NUESTRA PORTADACentro de Distribución Nacional
Foto: Enrique Guzmán García**DIRECTOR ASOCEM**

Carlos Ferraro

COMITÉ EDITORIAL

Susana Kroll, Leslie Saavedra y Asocreto

COORDINACIÓN EDITORIAL
PRODUCCIÓN GRÁFICA
DISEÑO EDITORIAL
Y CORRECCIÓN DE ESTILO**COLABORADORES**

Christian Agnès, Nohora Arbelaez, Marco Borroni, Nicolás Calderón, Diego Andrés Castiblanco, Mariana Castro, Alejandro Char, Olga Chigüazuque, Amilcare Collina, Lili de la Cruz, Andrea Dari, Giorgio Ferrari, Tatiana Franco, Mónica María Gaviria, Carlos Mario Gómez, Jorge González, Gloria Giraldo, Sandra Gracia, Jhon D. Hernández, Eduardo Hurtado, Carolina Jaramillo, Diego Antonio Jaramillo, Susana Kroll, Manuel Antonio Lascarro, Tony Lemus, Luis Eduardo León, Ana María Márquez, Juan Diego Moreno, Rodrigo Ortega Masías, Brian Pailles, Armando Palomino, Carlos Palomino, Diego Prada, Daniel Pereira, Mauricio Reina, José Roper, Leslie Saavedra, Gabrielle Talet, Jorge Enrique Torres, Camilo José Umaña, Roberto Velásquez y Francisco Javier Zapata.

PREPrensa e IMPRESIÓN

LETTERA GRÁFICA

SUSCRIPCIONES

s.kroll@asocem.org.pe



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



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 Asocreto, Noticreto o Asocem, ni para el autor o su empresa. La información y conceptos deben ser utilizados por las personas interesadas bajo su criterio y responsabilidad. Sin embargo, se entiende que cualquier divergencia con lo publicado constituye un interés para Asocreto y Asocem, por lo cual se agradecerá el envío de las correspondientes sugerencias. Asocreto 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 Asocreto 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 Asociación Colombiana de Productores de Concreto - 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 Asociación Colombiana de Productores de Concreto - 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

- 7 Desarrollo y construcción de instalaciones industriales.
Carlos Ferraro.

CONSTRUCCIÓN

- 8 Sostenibilidad, construcción y arquitectura en concreto.
Soluciones en concreto para la operación industrial
Arq. Camilo Villegas Iriarte. Quala Nova.
Ing. Jennifer Niño Fiallo. Quala Nova.
- 12 Sistema constructivo Tilt-Up. Construcción industrial de gran formato en obra.
José Alfonso Mesa Gómez, Tilt-Up S.A.S.

DISEÑO

- 16 Estructura y juntas. Importancia del diseño de pisos industriales de concreto.
Edgardo Becker, Loma Negra Ciasa.
- 20 Grandes superficies de planta libre. Consideraciones para el diseño estructural en concreto.
Ing. Jaime Eliseo Buitrago Nova. Jaime Buitrago Diseño Estructural & Ingeniería S.A.S.

PREFABRICADOS

- 24 Fabricación de tubos de concreto para emisario submarino.
Rodrigo Ortega Masías, Cementos Pacasmayo.
- 28 Ventajas de los prefabricados estructurales en las construcciones industriales.
Albert Navarrete, Preansa S.A.S.
Juan Francisco Correal, Universidad de los Andes.

CALIDAD

- 32 Concreto a la vista en construcciones Industriales. Lavado, protección y mantenimiento de superficies.
Laura Pérez, Hidroprotección de Colombia.

CIMENTACIONES

- 36 Soluciones alternativas a retos geológicos en estructuras de cimentación.
Antoine Charles Verrouil. Soletanche Bachy Cimas y Menard.

MATERIALES

- 40 Concreto de contracción compensada para pisos de gran formato.
Liliana María Arias O., Toxement S.A.
- 44 Avances tecnológicos de materiales para refuerzo. Placas estructurales reforzadas con fibras de acero.
Ing. Marco Javier Suárez, Ingeniería Estructural S.A.S.
Ing. Liliana Cardona Vale, Dramix Colombia Bekaert

ARTE EN CONCRETO

- 46 Planta para tratamiento de residuos.
Valencia.

ARQUITECTURA

- 48 Concreto arquitectónico blanco para usos industriales: Aportes funcionales
Arquitecto Luis Guillermo Peláez B., Cementos Argos Colombia.

TECNOLOGÍA

- 52 BIM* digitalizando el conocimiento en proyectos industriales.
Cesar Rodríguez. Constructora Concreto.

LABORATORIO

- 58 Ensayos de laboratorio. ¿Cómo asegurar y controlar la calidad en pisos industriales?
Ing. Sandra Reinaguerra, Laboratorio del Concreto, Asocreto.

PATOLOGÍA

- 60 Rehabilitación en construcciones para industria de hidrocarburos.
Ing. Carlos Arcila López, DURALAB S.A.S.
- 64 Cómo evitar las principales patologías en pisos de concreto.
José Antonio Rodríguez López, Mapei Spain S.A.
Daniel Fernández Montero, Resin & Cementitious Flooring Mapei S.p.A.

67 NOVEDADES

68 HUMOR

69 CAROLINA EN LA OBRA





LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

noticias cemento

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.



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

Nota editorial



Desarrollo y construcción de instalaciones industriales

Estimados lectores,

Al revisar los artículos a ser publicados en esta edición de NOTICRETO, pensé en los factores tan diferentes, y cada uno tan importante, desde los cuales se abordan las construcciones industriales, frente a las edificaciones comerciales, de vivienda o de servicios.

Desde el punto de vista arquitectónico, además de los aspectos estéticos, intervienen aspectos críticos para el desarrollo del proyecto, tales como la durabilidad de la edificación, el tipo de suelo en el que se construirá y el tipo de industria para la cual se diseña. Otro aspecto a considerar es la filosofía e imagen que quiere una empresa transmitir con una edificación, tal como fortaleza, innovación, mirada hacia el futuro, entre otros.

Un aspecto que cobra cada día mayor relevancia, son los pisos industriales en almacenes y plantas de fabricación, en los cuales, se requiere conseguir cero desniveles y máxima calidad; así como las estructuras de cimentación, pilotes y sistemas de grúa que sean capaces de trasladar piezas de grandes dimensiones.

Las diferencias de materiales y acabados dependerá del tipo de industria, como puede ser una planta textil, una planta farmacéutica o una siderúrgica, y en ese sentido el diseño de la superficie final y el concreto a utilizar para ello, requieren en cada caso una atención especial.

Cuando hablamos del desarrollo de nuestros países, estamos implícitamente hablando de la necesidad de contar con infraestructura productiva y duradera que contribuya con el crecimiento a largo plazo facilitando la generación de conocimiento, de valor y de bienestar para todos los ciudadanos. Es por ello, de gran responsabilidad, exigir bienes y servicios de primera calidad contribuyendo al crecimiento y desarrollo de nuestra sociedad

Carlos Ferraro Rey

Director Ejecutivo

Asociación de Productores de Cemento - ASOCEM



Sostenibilidad, construcción y arquitectura en concreto

Soluciones en concreto para la operación industrial

Arq. Camilo Villegas Iriarte. Quala Nova.
Ing. Jennifer Niño Fiallo. Quala Nova

→ Foto 1. Centro Productivo de Quala Tocancipá.
ÁREA DE INFRAESTRUCTURA. QUALA NOVA.

Quala Nova es uno de los más exitosos

centros de innovación de consumo masivo de alcance multilatinos. Para llevar a cabo el proceso de fabricación de productos de consumo que vienen cambiando la historia del mercado en Colombia y de Latinoamérica, se cuenta con el Centro Productivo de Tocancipá (CPT), dentro de un lote de más de 100.000 m², con más de 60.000 m² construidos que cuentan con un complejo de plantas de producción y un centro de distribución. Este centro productivo viene siendo concebido dentro del marco de un plan maestro de crecimiento con el cual se busca acompañar la expansión del negocio con obras de infraestructura planeadas a largo plazo.

El desarrollo arquitectónico y constructivo del Centro Productivo en Quala Tocancipá se definió bajo tres premisas fundamentales: la conexión con el entorno, manteniendo el verde como envolvente de las edificaciones; el diseño exterior mediante la concepción de edificaciones prismáticas de diferentes escalas en concreto de color ocre y, por último, la funcionalidad del sistema partiendo de la necesidad de desarrollar un complejo con aplicación de máxima productividad, bajos costos de operación y alta flexibilidad para ampliaciones y reconversiones de usos.

Estos tres conceptos fundamentales tienen relación directa con el planteamiento arquitectónico y funcional del proyecto, utilizando el concreto como aliado en la construcción sostenible y optimizando variables como la temperatura interior de las edificaciones (bioclimática), aprovechamiento de la luz del sol, sistemas constructivos eficientes y flexibles, manejo adecuado del agua lluvia, estabilización del terreno con ceniza, así como la innovación en el tipo del sistema constructivo.



Descripción del proyecto

La primera fase comprendió la ejecución de dos edificios de producción, en varios niveles, un módulo de servicios industriales que conecta mediante una estructura metálica todos los suministros necesarios para las plantas de producción, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR para el tratamiento de aguas industriales de procesos, el patio de maniobras en pavimento flexible y un lago como reservorio de aguas lluvias.

La segunda fase incluyó la construcción de dos edificios adicionales para procesos, también en varios niveles, los cuales cuentan con dos puntos fijos, ascensores montacargas y dos amplias marquesinas que iluminan con luz natural las plantas de producción. La construcción del Centro de Distribución Nacional (CDN) edificio de aproximadamente 15.000 m² cuenta con tecnología de vanguardia para el control y entrega eficiente del producto terminado por los muelles de despacho; la Bodega de Materias Primas (BMP) de 8.000 m² con sus respectivos muelles de recibo y un sistema de distribución de materiales a las plantas por medio de vehículos especiales; el CDN y la BMP disponen de patios de maniobra independientes, lo cual facilita las operaciones de los vehículos de recibo y despacho; este patio se construyó en pavimento rígido buscando mínimos costos de mantenimiento durante su vida útil; la construcción de las Oficinas Administrativas y demás servicios a empleados, tiene prevista la posibilidad de crecimiento hasta el doble de la capacidad actual, la ampliación de los servicios industriales a dos módulos adicionando un tercer módulo para el Centro de Acopio de residuos aprovechables de los procesos, así como la ejecución de la portería peatonal y un punto fijo que conecta, mediante un puente con fachadas en vidrio, el área administrativa y la de producción, así como la implementación de una red contra incendio que sirve a todas las edificaciones.



↑ Foto 2. Fachada Principal. Uso del concreto en diversas tecnologías.
ENRIQUE GUZMÁN GARCÍA



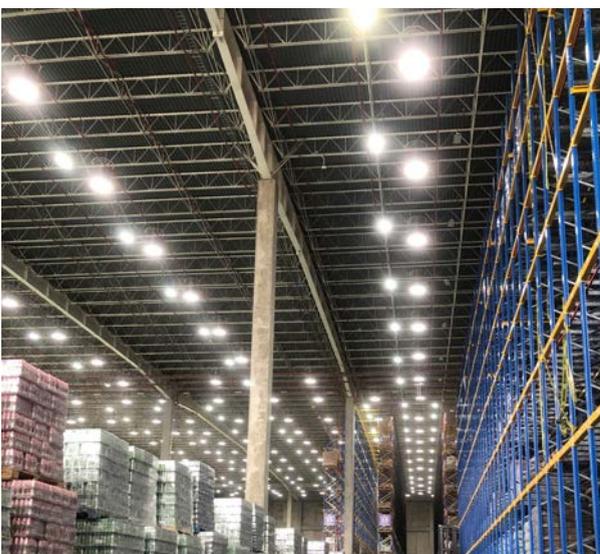
↑ Foto 3. Patio de maniobras en pavimento rígido del Centro de Distribución Nacional.
ENRIQUE GUZMÁN GARCÍA

El concreto como aliado en la construcción sostenible

Las principales características que definen el concreto como un material sostenible son su durabilidad, la buena reflexión de la luminosidad, el manejo correcto de la temperatura en el interior de los espacios, la resistencia al fuego superior a 120 min, un adecuado proceso de producción y construcción enfocado hacia bajos costos de mantenimiento y una favorable relación costo-beneficio.

Dentro de las alternativas de construcción del Centro Productivo, en el patio de maniobras se definió la construcción de las vías internas mediante una estructura de pavimento conformada por materiales de cantera y una estructura de concreto MR-42 de 22 cm de espesor lo cual –a pesar de tener costos iniciales más elevados frente al pavimento flexible– lleva a obtener beneficios en tiempo de vida útil (mínimo de 20 años) y reduce los mantenimientos dentro de ese periodo.

La capacidad de reflejar la luz y las buenas condiciones de iluminación fueron claves para elegir al concreto como material de construcción. El color claro del concreto, en este caso el ocre, permite una buena reflexión de la luz solar y contribuye a racionalizar el consumo de energía, lo que brinda una atmósfera de trabajo amable para los empleados.



← Foto 5. Vista desde el interior del CDN de los Sola tubes.
ÁREA DE INFRAESTRUCTURA.
QUALA NOVA

Además, dentro de los 24.000 m² de cubierta del CDN y BMP se instalaron 440 Sola tubes, cilindros de 0,80 m de diámetro hechos material reflectivo, que en la parte superior llevan incorporado un vidrio convexo con el fin de aprovechar la luz del día, logrando iluminación de hasta 30 m de altura en los lugares donde lo requiere la distribución en planta. Con este sistema se aprovecha la luz natural que llega a la cubierta para transmitirla al interior de las bodegas y reducir considerablemente el consumo de energía durante al menos 10 horas por día.

Así mismo, dentro de los volúmenes de los edificios se buscó el acceso de luz mediante marquesinas interiores en diferentes sitios para aprovechar al máximo la iluminación natural dentro de las plantas de producción. Las fachadas en vidrio del edificio administrativo y el puente peatonal también representan ahorros importantes de energía durante el día.



→ Foto 4. Vista en cubierta de los Sola tubes.
ÁREA DE INFRAESTRUCTURA.
QUALA NOVA

Rellenos y cimentación

Dentro de las posibilidades para la nivelación y conformación del terreno para la cimentación de los edificios se optó por hacer la estabilización y mejoramiento del terreno con ceniza proveniente de los sobrantes en el proceso de quema de las termoeléctricas y una subbase granular compactada. La ceniza estabilizada con cal al 5% se instaló en cinco capas de 0,20 m compactadas, con densidad mínima del 95% de la máxima obtenida en el ensayo de Proctor modificado, en un volumen aproximadamente de 37.000 m³. La utilización de este material permitió disminuir la sobrecarga al terreno, mejorando la capacidad de soporte de los pilotes por fricción negativa; adicionalmente el uso de la ceniza redujo el impacto ambiental que se habría causado por la extracción de materiales de cantera.

La cimentación de todos los edificios fue calculada y construida mediante pilotes pre-excavados fundidos in situ que trabajan por fricción; para el Centro de Distribución y la bodega de materias primas, los pilotes tienen una profundidad de 25,4 m y un diámetro de 0,60 m. En las plantas de producción los pilotes tienen una profundidad entre 39,0 m y 43,0 m y diámetro de 0,60 m y 0,70 m.

Los pisos de Centro de Distribución y de la bodega de materias primas tienen altos estándares de planicidad, diseñados y construidos bajo la norma TR34 de la Concrete Society del Reino Unido, cumpliendo especificaciones de planicidad y nivelación en los



↑ Foto 6. Proceso constructivo de rellenos en ceniza e inicio del pilotaje.
ÁREA DE INFRAESTRUCTURA. QUALA NOVA



↑ Foto 7. Izado de paneles BMP.
ÁREA DE INFRAESTRUCTURA. QUALA NOVA



↑ Foto 8. Paneles Tilt-up, Centro de Distribución Nacional.
ENRIQUE GUZMÁN GARCÍA

pasillos de circulación entre la estantería. Estos pisos de alta planicidad tienen un espesor de losa de 0,25 m, en concreto MR-41 y adición de fibra metálica. La TR34 es una norma donde se especifica un sistema para la evaluación de la regularidad superficial de pisos industriales. El método evalúa la calidad del piso se basada en las siguientes cuatro propiedades: 1. Desnivel longitudinal cada 300 mm, 2. Variación del desnivel cada 300 mm, 3. Desnivel transversal entre rodadas y 4. Desnivel entre puntos separados a 3 m.

Sistemas constructivos eficientes e innovadores

El sistema constructivo mediante paneles Tilt-up estructurales utilizados en el CDN y la BMP, así como los paneles Tilt-up arquitectónicos que se utilizaron en las plantas 1, 2, 3 y 4, dan flexibilidad y permiten, a futuro, la reutilización excepcional de los paneles para estructuras de dimensiones tan importantes.

Con este sistema constructivo (Tilt-up) se fabricaron sobre el piso de cada uno de los paneles los cuales, después de obtener la resistencia de 24,5 MPa a 28 días, se izaron y apuntalaron al piso mientras se conformaba todo el sistema estructural que consistía en anclar los paneles a los dados de cimentación y fijarlos a las vigas metálicas de cubierta, para generar un diafragma completo.

Con miras a lograr buenos tiempos de ejecución de los paneles y a controlar el proceso de producción del concreto, se definió incluir en el proyecto una planta de producción del material, con lo cual se garantizó una programación exclusiva de suministro, se eliminaron tiempos de transporte de planta a obra, se redujo la huella de carbono al disminuir el consumo de gasolina y las emisiones de vehículos, logrando tener uniformidad en el color de los paneles al tener control de los agregados que llegan de la cantera a la planta, todo esto apoyado en exigentes verificaciones de calidad del concreto y la estandarización del proceso.

Bajo la premisa de futuros crecimientos del CDN se previó la huella para la ampliación del área de esta bodega hasta un 30% adicional. La idea es disponer de

dos nuevos ejes de columnas donde hoy se encuentra la fachada oriental para abrir la posibilidad de desplazar los 28 paneles (cada uno de 22,2 m de alto por 4,8 m de largo y ancho entre 0,40 m y 0,20 m, aproximadamente) y reconformar una fachada nueva.

Diseño bioclimático

El diseño arquitectónico del Centro Productivo exploró diferentes estrategias para garantizar el confort térmico dentro de las instalaciones sin usar sistemas artificiales de extracción de aire. De los más de 60.000 m² construidos, aproximadamente 24.000 m² corresponden a cubiertas expuestas al sol en el CDN y la BMP, las cuales son térmicamente aisladas y de alto coeficiente de reflexión, con el fin de evitar el sobrecalentamiento durante el día.

Por otro lado, el proyecto tiene un área aproximada de fachada de 10.500 m² principalmente en concreto, lo que permite absorber la energía solar durante el día y promover la pérdida de calor por inercia térmica durante la noche, lo cual reduce durante el día el delta de temperatura en el interior de las edificaciones y conserva el confort térmico en los diferentes espacios.

El costado norte del edificio administrativo está conformado por una doble fachada en vidrio de 550 m², lo que permite que el aire circule por el interior de la ventanería. Este espacio actúa como aislamiento térmico ante las variaciones de la temperatura exterior y ayuda a mantener constante el confort en el interior de las oficinas. Por otro lado, estrategias como disponer termosifones en los puntos fijos y patios aseguran la renovación constante del aire, aprovechando los vientos de la zona.

Manejo del agua

Dentro del Centro Productivo se tendió una red de captación y almacenamiento de aguas lluvia, con la cual se logra soportar lluvias intensas en la zona almacenando hasta 1.250 m³ en un reservorio para conducir las posteriormente a la red municipal de alcantarillado. Se proyecta disponer en el futuro de estas aguas para riego interno y uso en las unidades sanitarias del proyecto.

Adicional a esto, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, PTAR tiene la capacidad de tratar las aguas industriales de los procesos para poder garantizar el vertimiento a la red de alcantarillado del municipio cumpliendo todos los requerimientos de las entidades ambientales.

El Centro Productivo de Tocancipá de Quala Nova es un ejemplo de cómo la Infraestructura física permite el desarrollo y hace parte de la excelencia de procesos productivos industriales, así como la representación del futuro crecimiento de la industria de la fabricación de productos de consumo para la sociedad, que gracias al concreto, como material sostenible, duradero y protagonista principal desde el desarrollo de la primera y segunda fase del proyecto manteniendo estética, conexión con el entorno y funcionalidad de estas edificaciones industriales. 



¡PREPÁRATE DESDE YA!

Separa en tu agenda los días 23 al 25 de septiembre de 2020 y forma parte del **Encuentro Técnico más importante de América Latina**, sobre construcción con cemento, concreto y prefabricados: **La Reunión del Concreto RC 2020**, en Cartagena, Colombia. Prepárate para **3 días** de encuentro con más de:



2.000 colegas, reunidos en torno a más de **100** actividades técnicas



Seminarios, conferencias, talleres y plenarios en **4 salones simultáneos**



Muestra comercial de más de **150 stands**



2 actividades sociales

Síguenos en nuestras redes sociales:



/ Asocreto

Más información
reunion@asocreto.org.co
www.asocreto.org.co

#RC2020

Sistema constructivo Tilt-Up

Construcción industrial de gran formato en obra

José Alfonso Mesa Gómez, Tilt-Up S.A.S.

Fotos: Cortesía del autor



↑ Foto 1. Centro de Distribución de Postobón, bodega en Tilt-Up de 10.000 m².

Se puede definir el sistema constructivo Tilt-Up como una especialidad de la prefabricación en que elementos de concreto de gran tamaño o formato son hechos en la obra, muy cerca a su posición final, para que una grúa, sin transportarlos, los levante y rote sobre un eje (tilt) en dirección vertical (up) para instalarlos.



Una breve historia

A principios del siglo XX, Thomas Alva Edison definió el sistema como la manera más simple de construir una pared vertical, pero de manera horizontal. Su compatriota Robert Aiken contribuyó con la construcción de varios edificios que aún permanecen en pie en la localidad de Zion, Illinois, cuando aún no existían el concreto premezclado ni las grúas móviles. Terminada la Segunda Guerra Mundial, estos adelantos estaban disponibles ante una gran demanda de espacios industriales en el estado de California, que potenciaron el redescubrimiento del sistema en una de las zonas de más alta actividad sísmica en el mundo, situación que comprobó con fundamento su efectividad para soportar cargas laterales, y trasladaron rápidamente su aplicación al estado de Florida, donde las cargas laterales son causadas por huracanes. Acto seguido adquirió popularidad a lo largo y ancho del territorio de Estados Unidos, cumpliendo todos los códigos de construcción.

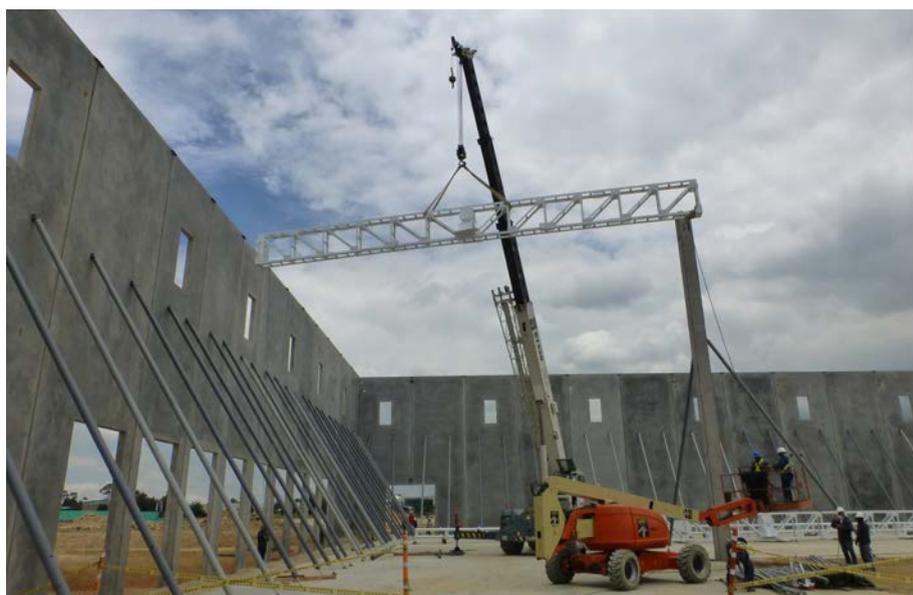
De Estados Unidos el sistema Tilt-Up se trasladó a Canadá, Australia y en especial a Nueva Zelanda, donde también se ha comprobado su efectividad para soportar los grandes terremotos de los años recientes. Finalmente, el sistema llegó a Colombia aproximadamente hace 20 años, cuando se adoptó con timidez para paneles de cerramiento vertical en típicas estructuras aporricadas. En relación con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, cabe resaltar que en la pasada versión NSR-98 no se hacía aún referencia a este sistema constructivo, sin embargo, con el proceso de renovación a la actual NSR-10, aparece ya enunciado en el título C, Capítulo C.14 - Muros; en el numeral C.14.8 – Diseño alternativo para muros esbeltos, haciendo referencia expresa al término Tilt-Up como muros rebatidos, así como en el capítulo C.16 -

↑ Foto 2. Proceso constructivo del Centro de Distribución.

Ventajas que marcan la diferencia

Para explicar el proceso constructivo con sus diferencias y ventajas frente a los sistemas tradicionales, el sistema Tilt-Up parte de la siguiente premisa: permite iniciar simultáneamente la construcción del piso interno para aprovecharlo como formaleta para los paneles de las paredes, con la viga de fundación perimetral y sobre la cual los paneles depositan la carga del techo y de las fuerzas sísmicas de forma lineal, requiriendo menor capacidad portante del suelo; en comparación con el sistema tradicional en que el piso se construye como última actividad y las cargas muertas del techo y sísmicas se transmiten de forma puntual a las columnas para bajarlas de manera concentrada, generalmente acompañadas de momentos que obligan a aplicar complejos sistemas de fundación, los cuales deben tener una profundidad de desplante adecuada, con vigas de amarre y capacidades portantes del terreno más competentes.

↓ Foto 3. Izado y apuntalamiento de paneles prefabricados.





LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

↑ Foto 4. Instalación de líneas eléctricas e hidráulicas.

Además de estas diferencias con el sistema constructivo tradicional de pórticos de concreto o metálicos y de cerramientos en mampostería o con láminas metálicas, el sistema Tilt-Up presenta otra gran variedad de ventajas, entre ellas:

- Simplificación del proceso constructivo al intensificar el uso masivo del concreto premezclado
- Reducción significativa de tiempos de construcción al permitir realizar simultáneamente varias actividades críticas como fundaciones, pisos, vaciados, izado de paredes e instalación de la estructura metálica de cubierta
- Exigencia de poca mano de obra.
- Un proceso de construcción de altos estándares de seguridad, ya que todas las actividades de vaciado e izado de los paneles se realizan a nivel del piso, lo que evita los certificados de trabajo en altura para los operarios
- Innovación en acabados arquitectónicos de las obras
- Seguridad a la intrusión, resistencia al fuego de hasta cuatro horas y alta eficiencia climática debido al uso de paredes macizas de concreto
- Durabilidad, alta calidad, estabilidad y bajo mantenimiento de las obras
- Aporte a la sostenibilidad ambiental; fácil certificación como proyecto sostenible
- Flexibilidad al permitir ampliaciones y modificaciones utilizando los mismos paneles

Un caso reciente de éxito

Para ilustrar las ventajas expuestas, se describe el proceso constructivo del Centro de Distribución de Postobón, situado en la vía Cota-Funza (sector de la glorieta de Siberia) en las cercanías de Bogotá.

El complejo está sobre un área de 10.000 m² con altura libre de 12 m, altas especificaciones en pisos y paredes y tuvo un plazo de construcción muy breve. Para lograrlo se acudió al sistema Tilt-Up como la solución ideal.

Inicialmente se debió contar con un área considerable del piso de la bodega, para proceder con el trazado y armado de las formaletas utilizando láminas de madera aglomerada con recubrimiento impermeable de espesor de 19 mm. Las formaletas se armaron en forma de cajón que, dependiendo del espesor de los paneles, permitieron vaciar dentro de ellas de 3 a 4 unidades y con un promedio de un panel cada dos días. Una vez armadas las formaletas, se les aplicó un producto especializado llamado *Bondbreaker* que impide la adherencia entre el concreto del piso y el del panel. Para el manejo de este producto se utilizó un aspersor para altos sólidos y un rodillo de felpa, en lo cual debe tenerse especial cuidado en cubrir muy bien toda el área de contacto, seguir las instrucciones del fabricante y esperar un mínimo de 24 horas para el secado total antes de proceder a instalar el acero de refuerzo y los insertos de izado y fijación del panel.

Acto seguido se fundieron los muros perimetrales del proyecto, que en total poseían una longitud de 411 m compuestos de 92 paneles de 14 m de altura, 4,5 m de ancho y con un peso promedio de 30 toneladas cada uno, usando concreto de 28 MPa, buscando durabilidad. Para la fundidas de estos paneles, se tuvo una rata de 3 paneles diarios para que al cabo de 5 semanas se tuviera completada esta actividad. El terminado a la vista se efectuó con equipo mecánico de allanado para darle dureza superficial. Culminado el proceso de acabado del primer panel, se esperó a la desaparición del agua superficial para seguir con la aplicación de las capas del *Bondbreaker* que cumple la función de antiadherente, pero sirve también como película de curado, para continuar repitiendo el proceso hasta completar la cantidad de paneles especificada para la formaleta.

El proceso industrial de izado de un panel toma entre 20 y 30 minutos. Hay que esperar, además, que alcance la resistencia especificada en la ingeniería de izado que es, por lo general, de 21 MPa. Por lo tanto, si se usa un concreto de 28 MPa probablemente a los 7 días ya se ha alcanzado esta resistencia; sin embargo, se espera a que todos los paneles se encuentren vaciados, para optimizar el tiempo de la grúa para el izado. Los paneles izados permanecen temporalmente verticales y aplomados con la ayuda de puntales de acero certificados para Tilt Up. Posteriormente, una vez se complete el armado de la estructura metálica del techo y con la autorización del ingeniero responsable del diseño, experto en el sistema, se retiran los puntales. La instalación de la estructura metálica de la cubierta debe realizarse durante este proceso para obtener el diafragma que garantice la estabilidad estructural del sistema.

Trabajando de esta manera durante 11 días consecutivos, se obtuvieron las paredes de la bodega completamente terminadas. Simultáneamente con el proceso de izado y apuntalamiento se ejecutaron las demás actividades relacionadas con la construcción de las fundaciones y el piso industrial, así como la recepción de la estructura metálica para el techo del Centro de Distribución.

Una vez completada la estructura, se posicionaron las puertas y ventanas. Las paredes internas lisas, en concreto a la vista, además de optimizar el espacio de almacenamiento, permitieron la fácil instalación de líneas eléctricas e hidráulicas.

Buscando alternativas confiables

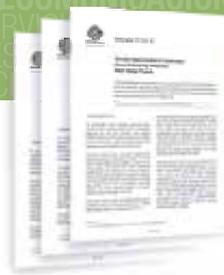
Con más de veinte años de uso en Colombia y más de 50 proyectos ejecutados exitosamente por empresas nacionales comprometidas con su correcta aplicación, el sistema constructivo Tilt-Up ha alcanzado su madurez dando garantías y ofreciendo ventajas competitivas. El sistema se ha constituido como una solución a considerar en proyectos industriales, centros de distribución, bodegas, centros comerciales, institucionales, educativos, edificios de oficinas, entre otros, en especial cuando los plazos de ejecución del proyecto son exigentes. 



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 D5893 - 16** Standard Specification for Cold Applied, Single Component, Chemically Curing Silicone Joint Sealant for Portland Cement Concrete Pavements
- **ASTM D6690 - 15** Standard Specification for Joint and Crack Sealants, Hot Applied, for Concrete and Asphalt Pavements



Flickr - North Dakota

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 aproximadas y se liquidarán de acuerdo con la TRM vigente el día del pago.



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/

Estructura y juntas

Importancia del diseño de pisos industriales de concreto

Edgardo Becker, Loma Negra Ciasa

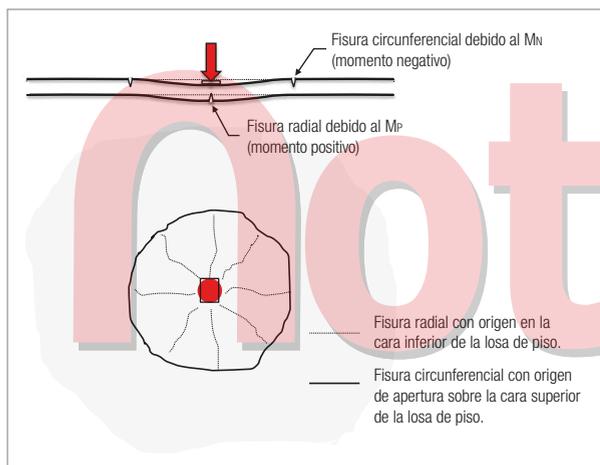


Figura 1. Fisuración esperada para carga concentrada que supera la capacidad estructural de la losa.

E. BECKER, 2012. SEMINARIO SOBRE PISOS INDUSTRIALES

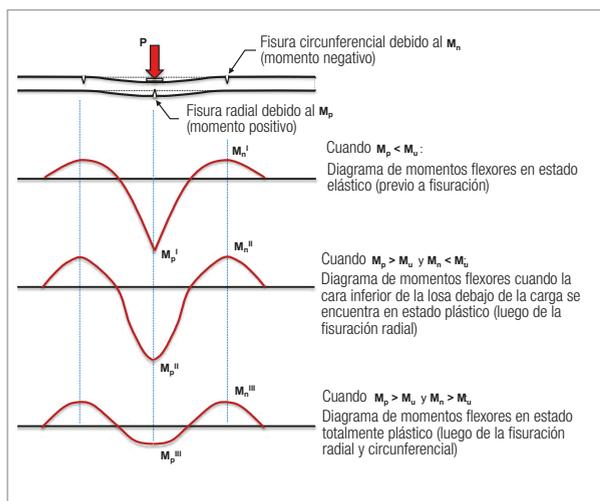


Figura 2. Evolución de los momentos flexores en función del grado de plastificación del concreto debido al aumento de la carga aplicada para concreto reforzado con fibras.

E. BECKER, 2012. SEMINARIO SOBRE PISOS INDUSTRIALES

Introducción

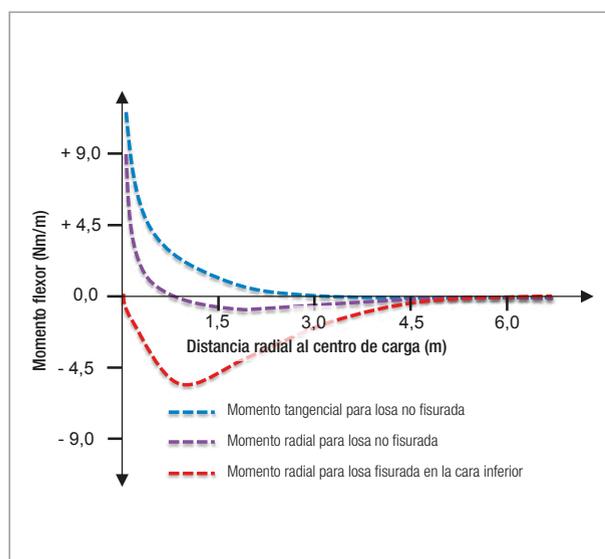
Sin duda, en un mundo donde todos los constructores deben poner un fuerte foco en la sostenibilidad, la tendencia actual es buscar soluciones logísticas que representen mayor eficiencia, lo que obliga a proyectar naves industriales cada vez más grandes y, por supuesto, pisos industriales de más altas prestaciones, con adecuada capacidad estructural y, sobre todo, con alto nivel de servicio durante la vida útil prevista para el proyecto.

En ese contexto, el diseño de pisos industriales debe atender de manera simultánea varios aspectos que se basan fundamentalmente en hallar las mejores soluciones que, como tendencia general, se enfocan en proyectar pisos de concreto de buenas prestaciones estructurales con adecuada resistencia al desgaste, además de limitar la materialización de juntas sin dejar de lado una buena planicidad. Es decir, condiciones que, en conjunto, tienden a mantener un alto nivel de servicio del piso debido a una baja tasa de deterioro que redunda en una clara reducción de los costos tanto de mantenimiento como de las operaciones propias de las áreas de almacenamiento.

Respecto al proceso de diseño, está claro que el espesor de las losas de un piso industrial es uno de los aspectos más importantes a determinar en función de las necesidades “estructurales” del proyecto. Por otro lado, todas las partes comprometidas en cualquier proyecto (cliente, diseñador, constructor, etc.) suelen considerar su influencia sobre el costo de construcción, por lo que suele ser uno de los puntos más debatidos a la hora de tomar decisiones. Sin embargo, esta discusión no siempre llega a los mejores resultados o, al menos, a los más eficientes.

En primera instancia, parece obvio que en la mayoría de proyectos de pisos industriales intervienen profesionales idóneos que realizan un diseño estimando los estados de carga más representativos de la actividad que se prevé desarrollar en el interior de la nave, a partir de los cuales determinan los espesores de losa de piso y de las capas de suelo de apoyo (base, subbase, etc.), encontrando un “equilibrio” entre las características del suelo, la disponibilidad local de materiales y el control de tensiones generadas por los distintos estados de carga.

A pesar de lo anterior, no siempre las decisiones en un proyecto resultan tan racionales pues, entre otras cosas, no es extraño tener un inversor que pondrá la superficie en alquiler o que no tiene claridad sobre la actividad que se desarrollará dentro de la nave. En ocasiones, aunque se conozcan los usos del edificio, no se dispone de información precisa sobre los pesos que se almacenarán o que tendrán movimiento, dificultando la estimación de los mencionados estados de carga o sus magnitudes.



← Figura 3. Momentos flexores en una losa de piso de 15 cm de espesor producidos por una carga concentrada de 45 kN (4,5 t) para concreto simple.
E. BECKER, 2012. SEMINARIO SOBRE PISOS INDUSTRIALES

Algunos aspectos del diseño de pisos

En general, el proceso de diseño de pisos suele centrarse en dos puntos esenciales:

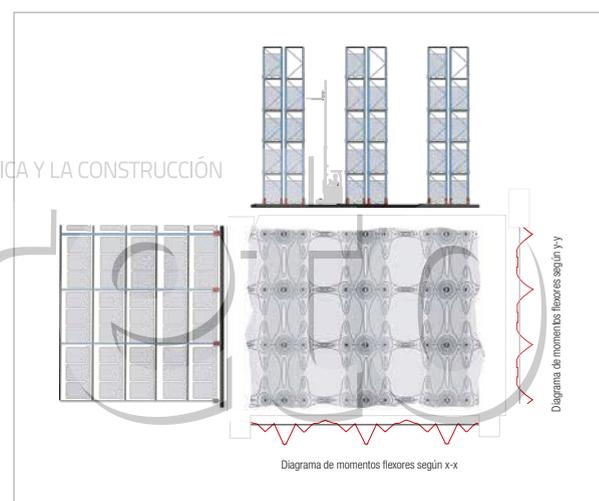
1. Diseño del paquete estructural en función de las cargas estáticas y dinámicas que se prevén y su potencial de interrelación
2. Diseño del trazado (*layout*) de juntas, que debe atender cuestiones funcionales (calidad y confort de circulación, planicidad, control de alabeo, cantidad y calidad de las juntas, necesidad de mantenimiento, etc.) que representan la calidad de servicio del piso

Por otro lado, el paquete estructural y el *layout* de juntas se interrelacionan a través de las tensiones inducidas por deformación lineal y alabeo, por lo cual el diseño es un proceso iterativo que, en términos reales, debe incluir un tercer aspecto, el económico, que deberá incluir no sólo los costos directos de construcción sino también los de mantenimiento. Adicionalmente, hay que considerar siempre los costos del usuario relacionados con los costos de operación (equipos y su mantenimiento), donde la calidad del piso juega un rol muy importante, y los costos de disponibilidad que aparecen en el momento de hacer algún trabajo de mantenimiento de los pisos, pues hay un área que no se puede utilizar, lo que genera costos directos e indirectos que suelen ser apreciables.

Diseño del paquete estructural

El paquete estructural de un piso de concreto debe ser diseñado, en primer lugar, para soportar las cargas estáticas y dinámicas a que estará sometido durante su vida en servicio. Conceptualmente, una carga concentrada aplicada sobre un piso de concreto genera una deformación que intenta ser resistida por la capacidad de tomar flexión de la losa y por la resistencia del suelo a ser comprimido, lo que se conoce como valor soporte.

→ Figura 4. Momentos flexores en una losa de piso de 15 cm de espesor producidos por las cargas concentradas de los apoyos de los estantes del tipo selectivo con pasillos de 3 m de ancho.
E. BECKER, 2012. SEMINARIO SOBRE PISOS INDUSTRIALES



En las figuras 2 y 3 se indican la evolución y comportamiento del diagrama de momentos en función de la capacidad de la losa para plastificarse o no.

Por otro lado, la figura 4 muestra un ejemplo con la distribución de momentos producidos por las cargas transmitidas por estantes selectivos, colocados en una losa sin juntas en un esquema típico de una bodega logística. Como se observa, en los pasillos se producen momentos positivos que, en general, tienden a reducir las tensiones generadas por el paso de los equipos montacargas cuando las ruedas se encuentran alejadas de los apoyos aunque, por el contrario, los momentos positivos tienden a aumentar cuando las ruedas pasan cerca de los apoyos de los estantes. Este estado combinado de cargas, con algunos otros, suele ser utilizado en el diseño de los pisos de bodegas de almacenamiento.

Dependiendo del caso, es posible realizar diseños que admitan cierto grado de plastificación del concreto en algunas zonas específicas cuando se usan macrofibras estructurales dosificadas en la mezcla de concreto, o admitiendo alguna falla localizada del concreto que deberá ser reparada siguiendo una estrategia de mantenimiento preestablecida en el diseño.

Diseño del layout de juntas

Una vez diseñado el paquete estructural necesario para soportar los esfuerzos, se deberá definir el layout de juntas teniendo en cuenta las particularidades del proyecto, donde se precisan los tamaños de losa. Luego, con estos datos, se determinan los esfuerzos por restricción a la contracción por secado y por alabeo. Con estos nuevos esfuerzos se verifica otra vez el paquete estructural y se aplican los ajustes necesarios a través de un proceso iterativo hasta obtener el mejor paquete estructural y layout de juntas para el proyecto.

Como ya se dijo, la tendencia actual es diseñar pisos con pocas juntas o, de ser posible, sin juntas. En ese sentido, hoy en día existe una serie de tecnologías entre las que se destacan el CRC (Concreto de Retracción Compensada), CBCRF (Concreto de Baja Contracción Reforzado con Fibras) y, por supuesto, el concreto postensado, que permiten hacer pisos “sin juntas” y que, cuando se construyen con técnicas especializadas, pueden lograr inicialmente altos estándares de planicidad y en condiciones de diseño adecuadas pueden mantenerse en el tiempo, lo que permite obtener altos niveles de servicio durante la vida útil prevista para el proyecto sin grandes necesidades de mantenimiento.

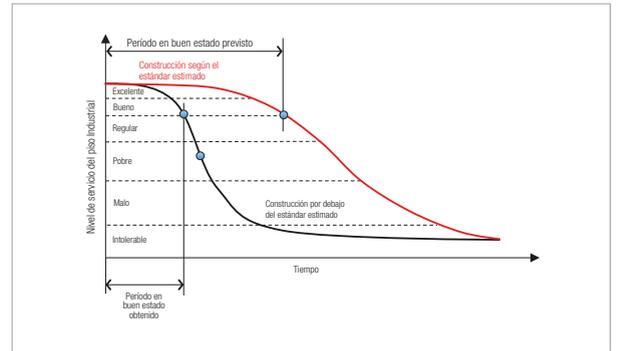
Vida útil y nivel de servicio

Hoy en día es inconcebible que un proyecto no contemple la vida útil del piso y el nivel de servicio esperado durante ese período. En consecuencia, será necesario establecer parámetros bien definidos y exigibles que brinden información al constructor acerca del nivel de servicio inicial esperado, fundamentalmente con especificaciones de planicidad, uso de juntas constructivas industrializadas y otras características relacionadas con el acabado superficial. Por otro lado, debe informarse al cliente que la misma operación desarrollada sobre el piso va a causar un deterioro progresivo que exigirá mantenimiento rutinario permanente e intervenciones relativamente importantes pasados algunos años cada vez que el piso tienda a caer por debajo de un nivel de servicio aceptable previamente definido. Un buen proyecto de piso de uso intensivo debe considerar conceptualmente este aspecto, que es uno de los parámetros técnicos más importantes del piso.

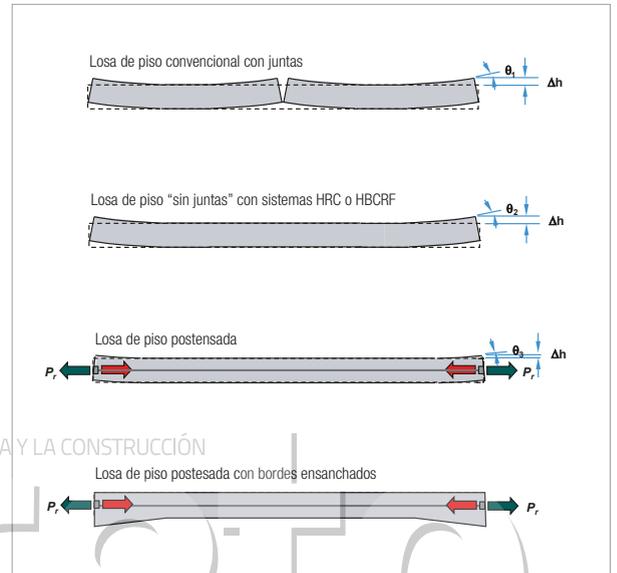
Análisis de costos

Una vez definidos los parámetros fundamentales del diseño –como son el paquete estructural, el layout de juntas, los niveles de servicio inicial y mínimo admisibles y la tasa de deterioro prevista en función del nivel de uso del piso en relación con su capacidad– será posible hacer, junto con el operador del piso, un análisis de costos y previsión de flujo de fondos que permitirá evaluar profesionalmente el retorno de la inversión y optimizar el proyecto “evaluando varias alternativas.

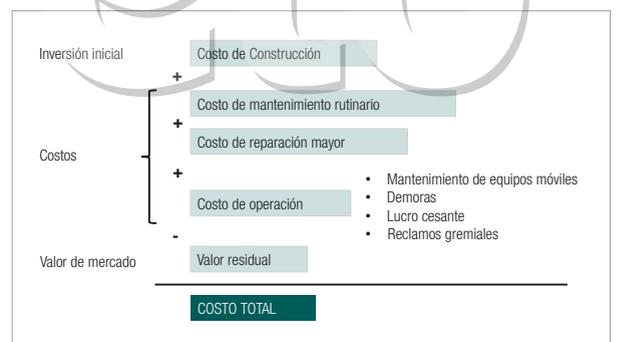
→ Figura 5. Curva típica de deterioro de un piso industrial. INSPIRADO EN LA FIGURA 5 SOBRE SOLUCIONES DE PRESERVACIÓN ADECUADAS PARA DIFERENTES ETAPAS DE LA VIDA DE SERVICIO DEL PAVIMENTO DEL DOCUMENTO “GUÍA PARA CAPAS DE REFUERZO DE HORMIGÓN” DEL ACPA.



→ Figura 6. Conceptualización de los alabeos típicos que muestran los diferentes sistemas constructivos. E. BECKER, 2012. SEMINARIO SOBRE PISOS INDUSTRIALES



→ Figura 7. Costos asociados a la vida en servicio de un piso industrial. E. BECKER, 2012. SEMINARIO SOBRE PISOS INDUSTRIALES



Consideraciones finales

Aunque se busca atender los intereses de las partes, en ocasiones no se terminan de entender aspectos técnicos relevantes relativos al caso. Uno de ellos es la importancia del piso, que es uno de los aspectos técnicos más significativos a la hora de operar una bodega de almacenamiento o de realizar un proceso productivo, pues una falla podría afectar no solo la calidad del proceso sino también los costos de mantenimiento y de la disponibilidad real prevista de la superficie de almacenamiento o del proceso que se realice.

El diseño de un piso realizado por un profesional calificado, más el trabajo en conjunto con el cliente comprometido en el proceso de decisión, y que tenga en cuenta el proceso constructivo a través de un contratista especializado, permitirá determinar la inversión con la rentabilidad óptima, sin descuidar la sostenibilidad de la solución para el proyecto requerido.



Instituto del Concreto

Impulsa a nivel nacional e internacional la formación y capacitación, relacionada con la tecnología del concreto, su manejo, control y nuevos desarrollos a todas las personas que forman parte del sector de la construcción, por medio de seminarios, jornadas y visitas técnicas, así como cursos dirigidos a entidades, Gremios y Universidades.

CAPACITACIONES A LA MEDIDA

En los últimos **2 años** hemos llegado a mas de **30.000** profesionales del sector de la construcción en Colombia. Profesionales que se han formado en todos los temas de actualidad de la industria del concreto, a través de charlas y capacitaciones con el **Instituto del Concreto.**

El Instituto del Concreto organiza cursos, talleres, conferencias dirigidas a clientes y capacitaciones a grupos empresariales, con exclusividad de marca, para lo cual ofrece toda la operación.



Sede



Divulgación



Publicidad



Equipos



Telemarketing



Desarrollo de imagen



Material técnico

Estas empresas han confiado en nosotros:



Más información en:

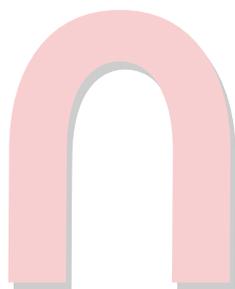
Instituto del Concreto - Asocreto Dirección: Calle 103 # 15-80 - Bogotá, Colombia

Teléfono: (57 1) 618 0018 Ext. 127 Correo: instituto@asocreto.org.co

Grandes superficies de planta libre

Consideraciones para el diseño estructural en concreto

Ing. Jaime Eliseo Buitrago Nova. Jaime Buitrago Diseño Estructural & Ingeniería S.A.S.



→ Gran superficie Felicidad Fontanar del Río.
CONSORCIO FONTANAR - CNI
INGENIEROS

Existen edificios especiales con grandes áreas para cubrir sin apoyos intermedios, con alturas importantes (dobles o triples) y con cerramiento perimetral. Entre ellas se pueden mencionar las bodegas para producción fabril y almacenamiento de materiales, las tiendas de grandes superficies, los complejos industriales y escenarios de diversa índole como polideportivos, piscinas y auditorios, entre otras.

Cuando el cerramiento perimetral está asociado a la utilización de mampostería de arcilla o concreto y/o a paneles de concreto prefabricados o fundidos en sitio, es común que la solución estructural contemple columnas y vigas de concreto reforzado, con “arreglos” como los indicados más adelante en las figuras 1 y 2.

Enumeramos enseguida algunas consideraciones importantes a tener en cuenta para el diseño estructural de este tipo de construcciones en concreto.

Sistema estructural y coeficiente de disipación de energía Ro

Según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, se trata de la combinación de dos sistemas estructurales en planta, pórticos resistentes a momento de concreto reforzado DMO y estructura de péndulo invertido de concreto DES. Lo anterior, según lo especifica el numeral A.3.2.5, no implica calificar la estructura como irregular. Para el sistema de pórticos, la categorización del grado de disipación de energía dependerá de la ubicación del proyecto según la zona de amenaza sísmica y la tabla A.3.3 del Reglamento NSR-10.

Para los pórticos, el valor de R_o sería de 5,0 para DMO y de 7,0 para DES, mientras que para péndulo invertido su valor sería de 2,5. Según el numeral A.3.2.5(d), “Cuando la estructura tiene sistemas diferentes al de muros de carga en ambas direcciones, para el sistema que tiene un mayor valor de R , el valor a emplear no puede ser mayor que 1.25 veces el valor de R del sistema con el menor valor de R .”

De acuerdo con lo anterior, el máximo valor permitido para el Coeficiente R_o , con independencia de que sea un caso de DMO o DES, para los pórticos se debe tener un valor de $2,5 \times 1,25$, es decir, un máximo valor de 3,1.

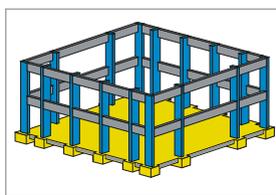
Según NSR-10 en el numeral A.3.2.6 sobre Elementos comunes a varios sistemas estructurales, “Los elementos estructurales comunes a diferentes sistemas estructurales deben diseñarse y detallarse siguiendo los requisitos más restrictivos dentro de los sistemas para los cuales son comunes”. Lo anterior, en este caso, haría referencia exclusiva a las columnas, por lo que adicionalmente al coeficiente R_o , se debe utilizar un valor de 2 para el coeficiente de sobre-resistencia (Ω).

Si la configuración de la edificación es como la que indica la figura 2, es factible incluir en un solo análisis los dos valores del coeficiente R_o en las combinaciones de carga, mientras que si es como la de la figura 1 sería necesario realizar varios análisis, toda vez que los programas de análisis más utilizados en la actualidad solo permiten asociar el coeficiente R_o a las direcciones principales de la edificación, y no al tipo de elemento. Por ello lo usual es diseñar toda la estructura para un valor del coeficiente R_o de 2,5 que, a pesar de ser una opción conservadora, no implica sobredimensionamiento ni refuerzo excesivo en las vigas.

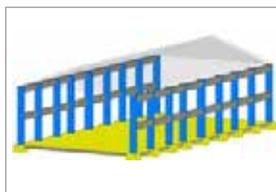
Dimensionamiento

Cuando se contemplan grandes alturas en la edificación, es conveniente revisar la carga máxima por pandeo, más conocida como el “P crítico” para la sección transversal a utilizar en las columnas, recordando que la altura efectiva para las columnas en voladizo es el doble de la altura sin soporte lateral. La separación entre los ejes de columnas está, generalmente, condicionada a la solución de la estructura de la cubierta, para lograr la mayor eficiencia de los elementos de apoyo de la teja cuando se trata de cubiertas livianas. El dimensionamiento de las vigas intermedias y de cubierta en los pórticos está condicionado por el peso del cerramiento y por las luces entre columnas.

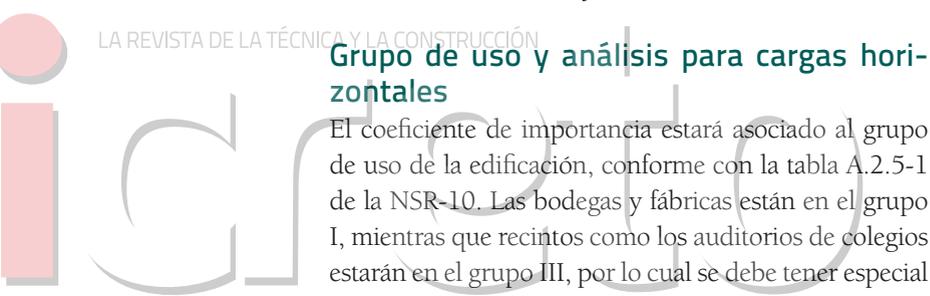
En naves industriales cobran especial importancia las cargas que incluyen la presencia de puente-grúas o monorraíles, para lo cual se deben contemplar las especificaciones del fabricante y el diseño de ménsulas adicionales para su apoyo. En ocasiones no menos importantes, las dimensiones de la estructura principal deben contemplar las relaciones de aspecto fijadas por el diseño arquitectónico.



↑ Figura 1. Esquemas estructurales para cerramiento en grandes superficies. JAIME BUITRAGO DISEÑO ESTRUCTURAL & INGENIERÍA S.A.S.



↑ Figura 2. Esquemas estructurales para cerramiento en grandes superficies. JAIME BUITRAGO DISEÑO ESTRUCTURAL & INGENIERÍA S.A.S.

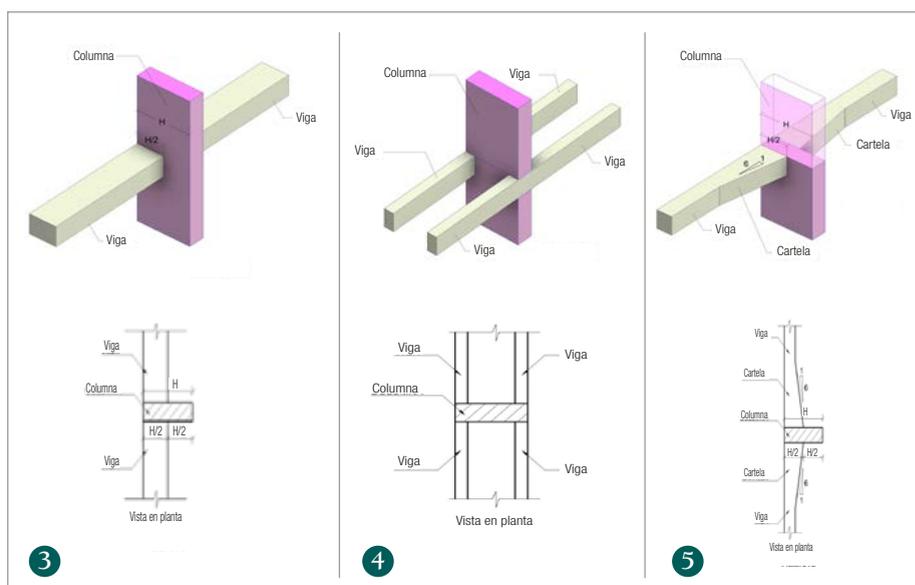


Grupo de uso y análisis para cargas horizontales

El coeficiente de importancia estará asociado al grupo de uso de la edificación, conforme con la tabla A.2.5-1 de la NSR-10. Las bodegas y fábricas están en el grupo I, mientras que recintos como los auditorios de colegios estarán en el grupo III, por lo cual se debe tener especial cuidado al escoger esta clasificación.

Para este tipo de edificaciones, el análisis sísmico se puede realizar por el método de Fuerza Horizontal Equivalente o, si el diseñador lo prefiere, por el de análisis dinámico. Como en toda edificación, la evaluación juiciosa de las cargas, la selección de los correctos parámetros para el espectro elástico de aceleraciones y las características de los materiales a utilizar van a garantizar un diseño eficiente.

↓ Diseños de vigas.
Figura 3. Ancho de viga = $\frac{1}{2}$ de la dimensión de la columna.
Figura 4. Colocar doble viga dispuestas en los extremos de la columna.
Figura 5. Conformar cartelas.
JAIME BUITRAGO DISEÑO ESTRUCTURAL & INGENIERÍA S.A.S.



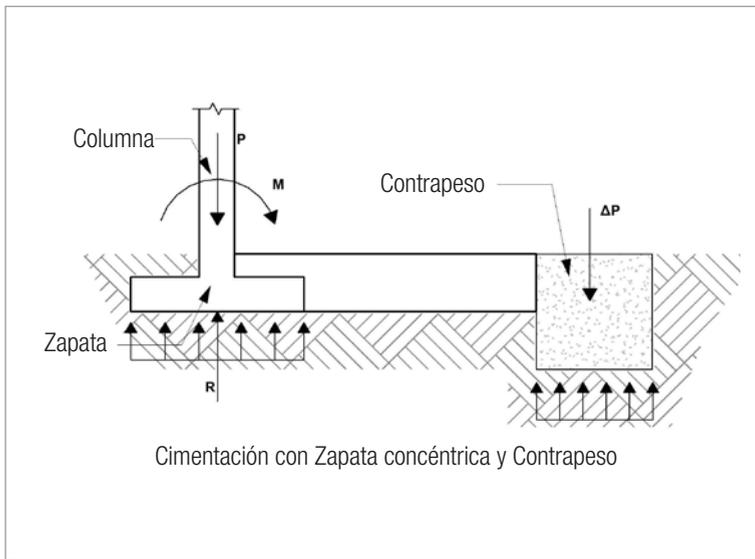


Figura 6. Cimentación con zapata concéntrica y contrapeso.
JAIME BUITRAGO DISEÑO ESTRUCTURAL & INGENIERÍA S.A.S.

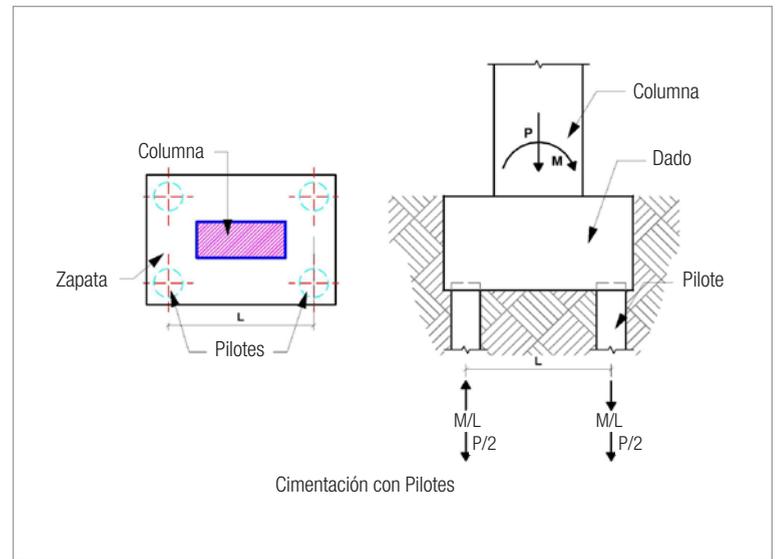


Figura 7. Cimentación con pilotes.
JAIME BUITRAGO DISEÑO ESTRUCTURAL & INGENIERÍA S.A.S.

Dependiendo de la ubicación del proyecto, y ante las grandes superficies de exposición, es posible que para fuerzas horizontales la condición que prevalezca y domine el diseño sean las cargas de viento y no las de sismo, por lo cual siempre se deberá hacer la respectiva verificación.

Diseño de elementos

El diseño de las vigas deberá contemplar los requisitos del capítulo C.21 de la NSR-10, según correspondan a pórticos DMO o DES. Como se mencionó al comienzo, en las columnas se deberá usar un coeficiente de sobre-resistencia (Ω) de 2. En cuanto a los nudos, por tratarse de pórticos se debe cumplir con la restricción de la máxima excentricidad entre el eje de la columna y el eje de la viga, la cual no debe exceder el 25% de la dimensión de la columna perpendicular a la viga. La necesidad de hacer coincidir las caras exteriores de vigas y columnas por el cerramiento condicionan, entre otras, a las opciones de diseños de vigas 3, 4 y 5 representadas anteriormente.

Diseño de cimentación

Para el diseño de la cimentación, en la dirección del sistema de péndulo invertido, sea que se trate de una cimentación superficial con zapatas o una profunda con pilotes o caissons, es necesario cumplir con el equilibrio del nudo en la base de la columna y la estabilización del momento de volcamiento generado por fuerzas horizontales ante cargas de sismo o de viento. Este momento puede verse incrementado por condiciones como:

- Restricciones para centrar el cimiento con el eje de la columna que obliguen a arreglos excéntricos
- Existencia de cargas excéntricas como las generadas por puentes-grúa
- Aplicación excéntrica respecto al eje de la columna de las reacciones de cargas muertas y vivas de las cerchas de cubierta

En el caso de cimentación con zapatas –a menos que el suelo portante ofrezca muy buena capacidad portante y se logre cumplir con que la resultante de fuerzas se ubique en el tercio central del cimiento para que no existan esfuerzos de tracción en la fundación– el diseñador tendrá que apelar, generalmente, al uso de contrapesos o “muertos” de concreto simple o concreto ciclópeo conforme a lo que indica la figura 6. Debido a que el momento por sismo puede ir en sentido horario o antihorario, el equilibrio se logrará gracias al peso del ciclópeo o a la reacción del suelo bajo el mismo.

Cuando la cimentación es con pilotes, la solución de cimiento debe generar un par resistente que equilibre el momento de volcamiento; la separación escogida entre pilotes será la que alcance la mayor eficiencia de cantidades de estos (longitudes y diámetros) y tamaños de dado o “cabezal” (figura 7). Cuando la magnitud del momento sea muy grande es posible que algunos pilotes resulten a tracción, por lo que su refuerzo deberá colocarse en toda su longitud y calcularse para tal condición.

En aquellos casos para los que el ingeniero de suelos recomiende cimentar con caissons, el equilibrio y el control del momento de volcamiento se lograrán con el empotramiento de la columna en el fuste del caisson y todas las fuerzas serán resistidas por la fricción entre fuste y suelo, capacidad por punta y la resistencia pasiva del suelo.

Referencias:

- República de Colombia, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Bogotá 2012.

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

Visítanos en:
www.asocem.org.pe

Biblioteca Virtual

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



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.



Información de la Industria

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



Brindamos servicios de búsqueda especializada

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



Ensayos interlaboratorios

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

Fabricación de tubos de concreto para emisario submarino

↓ Foto 1. Proceso de fabricación de tubos.

Rodrigo Ortega Masías
Coordinador de Prefabricados Industriales
Cementos Pacasmayo

Fotos: Cortesía Distribuidora Norte Pacasmayo



Luego de **rigurosos estudios**, sustentos técnicos, pruebas de calidad y cambios en la especificación técnica original; como por ejemplo **el cambio de cemento Tipo V** por un cemento especial para ambiente marino MS (MH), a mediados del 2019 se dio inicio a la producción de un **emisario submarino de 1.500 mL** para el proyecto de modernización de la Refinería de Talara.

¿Qué es un emisario submarino?

Los emisarios submarinos son el conjunto o unión de tuberías que sirven para recoger agua marina (conducto inmisario) hacia una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y además para conducir agua tratada (conductor emisario) desde la PTAR hacia el mar, en este caso la Refinería de Talara. El emisario submarino está conformado por una línea de conducción terrestre en un tramo y marítima en su mayoría, hasta llegar a un punto de vertido lo suficientemente alejado de la costa para no afectar a las zonas cercanas.

↓ Foto 2. Inicio del curado intermedio con malla geotextil.



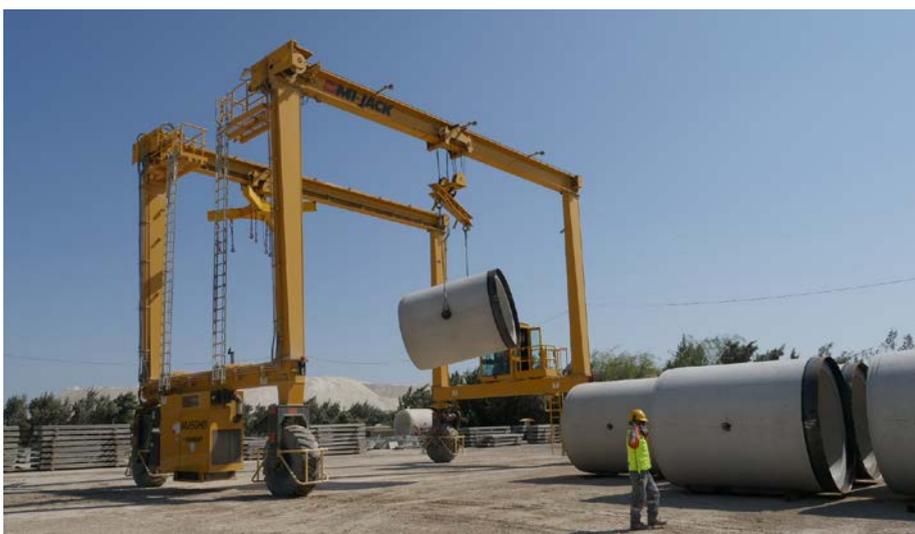
El proyecto

La producción de este proyecto, ha sido un gran reto por la complejidad de todo el proceso constructivo; desde el diseño ad-hoc del concreto, fabricación de armaduras con máquinas especializadas, encofrado y desencofrado del elemento, el curado de las piezas y almacenaje de las mismas. Por ello, se considera que con este proyecto se marca un hito importante, de cara a la nueva visión 2030.

El proyecto constó de la fabricación de 489 tubos de hinca, con longitudes variables entre 2,0 m y 2,4 m de diámetro interno, que luego se unen para formar 1,5 km de emisario submarino, el cual estará a 30 m debajo del lecho marino.

El ritmo productivo se mantuvo en 4 tubos por día utilizando un concreto MS (MH) 450 kg/cm², que obtenía su resistencia teórica a las 4 horas.

Estos tubos de hinca, que oscilan entre 14 y 19 t, se instalan sin la necesidad de realizar zanjas a cielo abierto o dragados de suelos marítimos.



↑ Foto 3. Traslado a zona de almacenaje.

El proceso constructivo

1. Trabajos preliminares

Se inicia con la habilitación de las bases de los moldes (estructuras metálicas que se encuentran fijadas en la zona de fabricación) que incluye la limpieza, engrase, impermeabilización y aplicación de desmoldante. Para luego colocar la virola (banda metálica perimetral en la zona inferior del tubo hinca que permitirá la conexión entre ellos) sobre la base ya habilitada. Puesta la virola, se procede a fijar de manera homogénea en la base y aplicar un sellador que impermeabilizara el conjunto molde – virola.

2. Moldeo y Colocación de armaduras

El encofrado usado para los tubos hincas está conformado por dos partes:

- Molde interior / Noyo: cilindro concéntrico para moldeo de menor diámetro, con sistema hidráulico.
- Molde exterior: superficie de mayor diámetro que permite dar la forma final a los tubos hinca con sistema hidráulico.

Adicionalmente sus accesorios dan soporte durante el proceso de colocación de concreto ya que cuenta con una escalera y pasarela con baranda que permite el acceso del personal, así como, una batería de 9 vibradores de pared que se encuentran homogénea y estratégicamente distribuidos en la superficie del molde.

→ Foto 4. Colocación de molde externo.



Por medio de grúa se traslada el molde interior (noyo) habilitado, es decir, limpio y con desmoldante a la parte interna de la base. A través del sistema hidráulico el noyo se “expande” y toma su posición final en la base. Luego se realizan los ajustes mecánicos requeridos por el diseño del molde garantizando la fijación y la estabilidad del mismo.

La armadura tipo cilíndrica con doble malla de acero en forma de espiral, es fabricada en una máquina diseñada para los tubos hinca, habilitada con los siguientes accesorios de acuerdo a los planos y especificaciones:

- Inyectores
- Bulones de volteo
- Bulones de izaje
- Capuchones de inyectores
- Capuchones de bulones
- Separadores
- Protectores

↓ Foto 5. Fabricación de armaduras.



La habilitación de las armaduras, con los accesorios antes descritos, se realiza solo en las estructuras que cuenten con la revisión y aceptación del área de calidad. Posterior a la habilitación, el área de calidad termina la revisión de los parámetros determinados para las armaduras, las cuales son identificadas con un precinto color verde. Una vez lista la armadura se traslada e introduce en el noyo (molde interior) ya antes fijado en la base, donde se realiza un ajuste final de la posición de la estructura por parte de producción (y validado por calidad) donde se verifican principalmente los recubrimientos.

Teniendo el visto bueno del área de calidad, se traslada el molde exterior que se encuentra ya habilitado (limpio y con desmoldante) en la zona de maniobras, hacia el conjunto noyo-armadura y se procede a cubrirlo, asegurándose de evitar el menor contacto posible con la armadura descansando sobre los soportes de la base. A través del sistema hidráulico el molde exterior se “contrae” y toma su posición final en la base. Se realizan los ajustes mecánicos requeridos por el diseño del molde garantizando la fijación y estabilidad del mismo.

La verificación de los diámetros y espesores requeridos en los planos y especificaciones, se realizan mediante una prueba “Pasa-NoPasa”, que se realiza en la parte superior del tubo hinca.

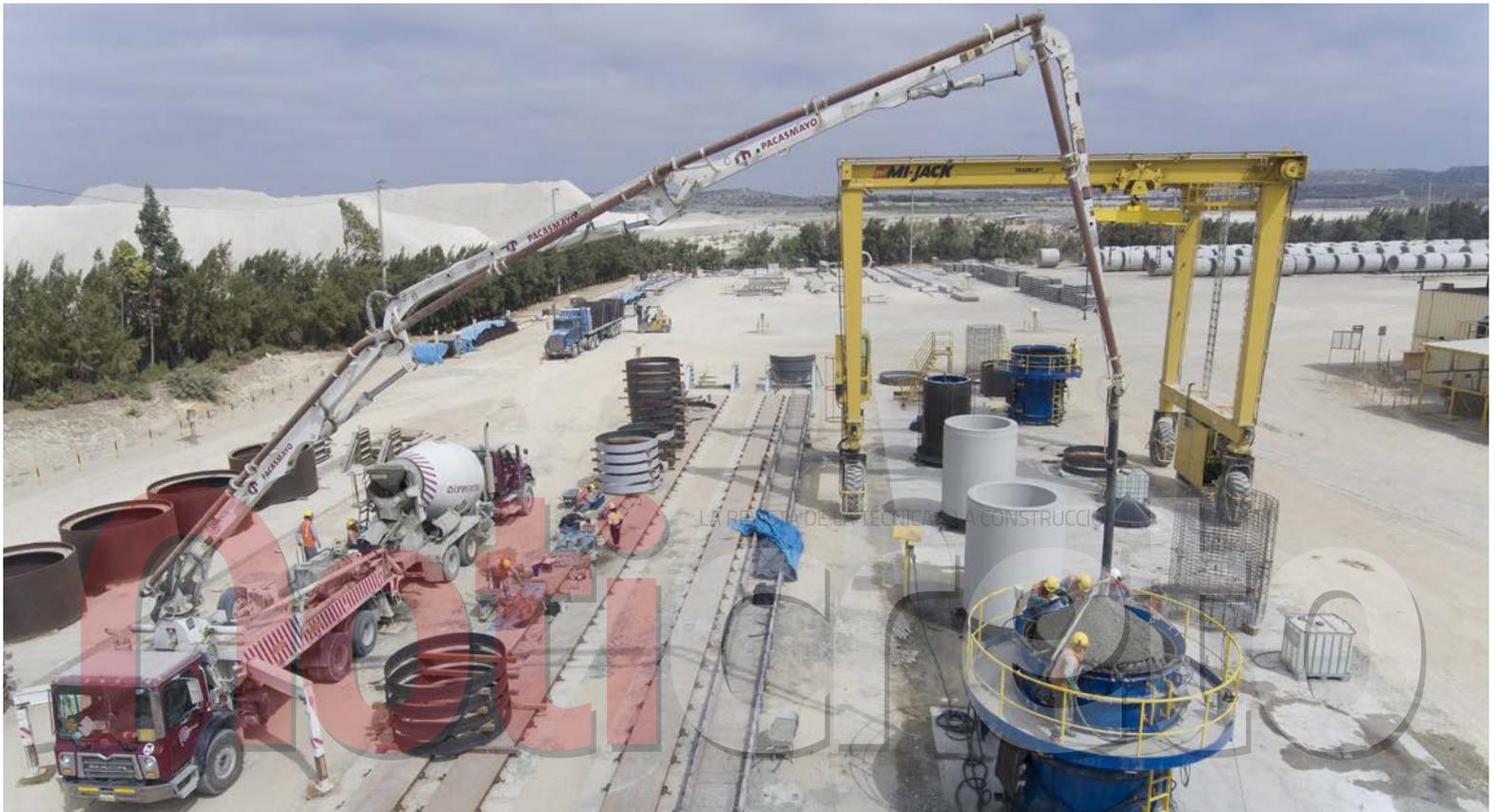
3. Colocación de concreto

Como parte del proceso constructivo se dispone de un elemento de forma cónica que se ubica en la parte superior del conjunto soportado en el borde del noyo interior, lo que permitirá:

- Distribuir de manera uniforme el concreto.
- Reducir las pérdidas de concreto durante el proceso.
- Fijar la manguera de la bomba, evitando movimientos bruscos.

El concreto es habilitado por la planta de premezclados, de acuerdo a las características requeridas en los planos y especificaciones y a las necesidades del proceso y flujo productivo. El vaciado se realiza en 3 capas de vibrado, utilizando el sistema Mixer-Bomba, donde se realizan breves paradas para asegurar el vibrado final de cada transición

↓ Foto 6. Vaciado de concreto.



4. Desmoldeo y extracción del producto

En esta parte del proceso constructivo se liberan los ajustes del molde interior y exterior. Con la ayuda del travelift se procede a retirar los moldes, primero el interior y luego el exterior. Ambas maniobras se realizan empleando la cruceta de izaje. Posteriormente se cura cada elemento con el uso de agua.

Se retiran los cauchos protectores de los bulones del tubo y se retira el tubo de la base del molde izándolo desde los bulones de volteo. El tubo debe ser manipulado empleando la viga de izaje y los aparejos correspondientes.

5. Acopio del producto

Por medio del uso del travelift se trasladan los tubos izándolos desde los bulones de volteo hacia el acopio de tubos hinca, los mismos que llevan un orden de correlación según el diámetro de cada tubo y codificación respectiva. Es aquí donde se proceden a resanar y prepararlos para su posterior despacho: pintado de virolas, marcado del producto, etc.

Este proyecto es un claro ejemplo de la necesidad de generar procesos disruptivos e innovadores en la industria de la construcción. La brecha de infraestructura en el Perú se puede reducir implementando nuevas soluciones constructivas que permitan reducir tiempo y costos en los procesos de una obra.



↑ Foto 7. Almacenaje de tubos.

Ventajas de los prefabricados estructurales en las construcciones industriales

Albert Navarrete, Preansa S.A.S
 Juan Francisco Correal, Universidad de los Andes

Fotos cortesía de Preansa S.A.S



↑ Foto 1. Expocenter.

La construcción a partir de elementos prefabricados de concreto, se conoce y se aplica en Latinoamérica con éxito desde hace varios años en países como México, Chile y Perú, entre otros, donde Colombia no ha sido ajena al proceso. El sistema ha ganado su prestigio gracias al resultado positivo en su desempeño ante sismos de alta magnitud. Dicho lo anterior, las estructuras de concreto prefabricado hoy forman parte de un sistema constructivo ágil y confiable, que desde la etapa de diseño es estructurado bajo procesos controlados con altos estándares de calidad de materiales, moldes, equipos y tecnología de pretensado (cuando es requerido). Las conexiones estructurales, se construyen bajo especificaciones de tal manera que garantizan su comportamiento en el tiempo y ante los factores sísmicos y gravitacionales más exigentes.

El uso de sistemas de elementos prefabricados en la construcción de instalaciones industriales, ofrece importantes ventajas frente a otros sistemas convencionales, en aspectos tan sensibles como plazo, costo, calidad, durabilidad, sostenibilidad, mantenimiento, seguridad industrial, entre otros.

Plazo de ejecución de la obra total

- Reducción de tiempos en todas las actividades, lo que significa economía de gastos administrativos, de personal y costos indirectos; permite, además, poner en marcha anticipada el proyecto, lo que es un punto esencial en construcciones industriales
- Fabricación de elementos paralelamente al desarrollo de actividades en obra como excavaciones, rellenos, instalaciones subterráneas, cimentaciones, etc.
- Elementos autoportantes con poca necesidad de apuntalamientos, lo cual permite mantener zonas despejadas y libres para el desarrollo de otras actividades
- El avance del montaje, además de tener zonas despejadas, permite realizar otras actividades como mampostería, instalaciones MEP, acabados, carpintería, etc.

Presupuestos cerrados

- Una vez definidos los diseños, procedimientos de transporte, montaje y plazos, y salvo cambios posteriores, el presupuesto entregado puede considerarse cerrado; de tal manera que el cliente no encontrará



↑ Foto 2. Talleres de mantenimiento para el Metro de Lima en prefabricado de concreto.

desviaciones económicas, lo que hace posible mantener la inversión bajo control.

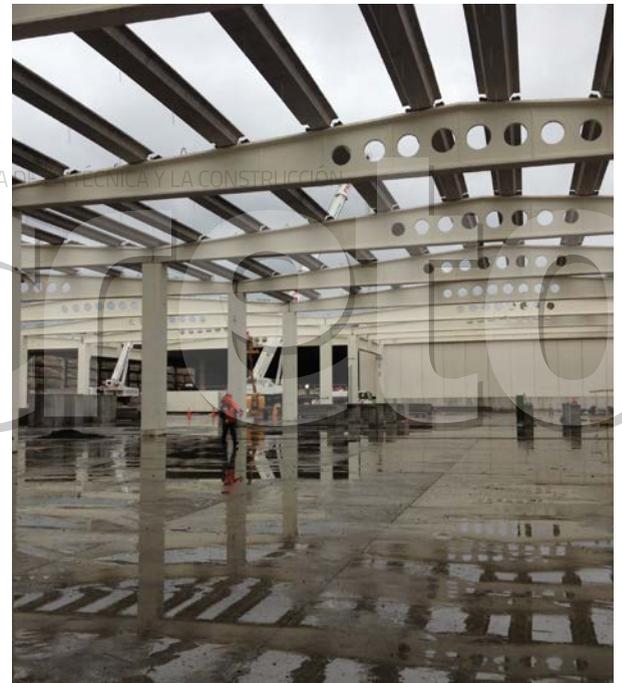
Calidad

- El proceso en planta sigue patrones de calidad ya fijados y bajo controles permanentes en toda la cadena de fabricación
- Los concretos utilizados se desarrollan con mezclas de altas prestaciones que, desde el punto de vista económico. Para conseguir la misma calidad y resistencia en construcciones tradicionales los costos se incrementarían considerablemente.
- La estética y el acabado final de los elementos prefabricados es sensiblemente mejor que en una edificación construida con métodos tradicionales.

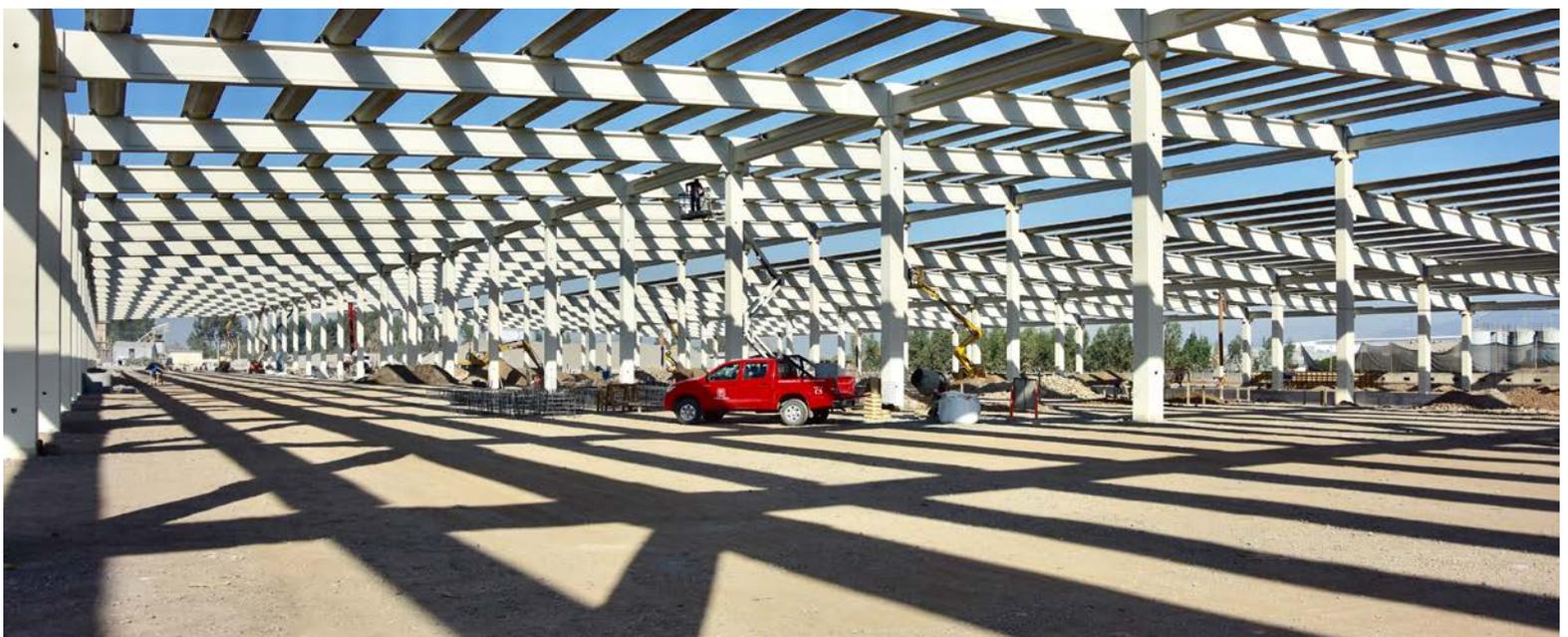
Estabilidad al fuego

- La alta estabilidad estructural de la construcción en caso de incendio es un factor de gran importancia en instalaciones industriales donde se realizarán procesos de producción o de fabricación.
- Las primas de seguros contra incendios en construcciones prefabricadas resultan más económicas.

→ Foto 3. Proyecto Nueva Aldea.



↓ Foto 4. Nave Maigas.



Durabilidad y mantenimiento

- Los materiales empleados permiten pensar en hasta 100 años de vida útil de una construcción prefabricada, con nulo mantenimiento, lo cual representa para los proyectos industriales un gran valor en términos de ahorro en gastos de esta índole. Lo anterior significa un costo diferido en el tiempo que, en el caso de otros sistemas constructivos y materiales, se debe presupuestar permanentemente para asegurar el funcionamiento y calidad de la obra.

Sostenibilidad

- Proceso de producción sostenible con estricto control de desperdicios, que no es agresivo con el medio ambiente
- Obras sin residuos, con menor contaminación auditiva y menor nivel de emisiones de CO₂



← Foto 5. Edificación industrial con prefabricados de concreto.

Seguridad Industrial

- Reducción de riesgos por caída de materiales desde altura
- Procedimientos estrictos de montaje, concebidos principalmente para garantizar la seguridad del trabajador.
- Disminución de la cantidad de trabajadores, respecto a una construcción tradicional, lo que mejora la gestión de seguridad y salud en el trabajo

De acuerdo con las ventajas expuestas, el uso de prefabricados para la construcción de diferentes tipos de instalaciones industriales no solo permite una construcción rápida para su puesta en marcha, sino que ofrece alta calidad y seguridad, así como disminución de costos en términos de durabilidad y mantenimiento y representa sostenibilidad en este tipo de construcciones como bodegas, naves industriales, grandes superficies, fábricas, etc.

Aunque ya cuenta con una trayectoria bien reconocida, este sistema constructivo, en muchas oportunidades, se comprueba a través de ensayos a escala real con el objetivo de demostrar el comportamiento cotidiano y en condiciones extremas, dando soporte suficiente a los diseños.

Conexiones estructurales - desarrollo de ensayos

Como parte de los procesos de Investigación Desarrollo e Innovación de estas tecnologías, se ha visto necesario desarrollar investigaciones que busquen validar, implementar y mejorar las conexiones entre elementos prefabricados. El objetivo es garantizar la seguridad y el correcto desempeño de este sistema frente a las acciones sísmicas (cargas laterales). Esto hace de la construcción con sistemas prefabricados un sistema de más eficiencia económica y técnica.

↓ Foto 6. Centro logístico Albertis.



En la actualidad se desarrolla una investigación analítica y experimental en Colombia cuyo objetivo es agrupar las conexiones más típicas y críticas con que se elaboran los prototipos para llevarlos a ensayo en laboratorios pertinentes en el país. Para validar su comportamiento de diseño se realizan los cálculos bajo los mismos criterios de una construcción tradicional de concreto.

La investigación se desarrolla bajo los lineamientos del ACI 374.1 *Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing*. Este documento forma parte del Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente NSR-10, capítulo C.3.8.7.

El uso de estructuras prefabricadas en construcciones industriales presenta grandes ventajas competitivas pero en su implementación es importante que los sistemas estén respaldados por una ingeniería de elaboración del diseño de los elementos, que soporte y asesore el proyecto, asegurando el correcto uso y ensamblaje de las piezas prefabricadas.

REFERENCIAS:

- American Concrete Institute, *Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary*. ACI 374.1, 2005.
- Sanabria Riaño, B., & Monroy Vargas. P.E., *Diferencias cuantitativas entre sistemas constructivos in situ y prefabricados para losas de entrepiso como soporte para la toma de decisiones*. INVENTUM, 13 (25), 61-72. 20/8.

¿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 CO₂ 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 3

Determinar el potencial de reducción de CO₂ por país y planta, basado en la eficiencia energética e innovación para la producción de Clinker y Cemento en Latinoamérica.

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 2

Construir la línea base de emisiones de CO₂ 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 4

Identificar las acciones para implementar el potencial de **reducción de CO₂** en nuestro ciclo de vida y **posicionar al cemento** como el material más **resiliente** para las necesidades de **adaptación al cambio climático**.

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

Concreto a la vista en construcciones Industriales

Lavado, protección y mantenimiento de superficies

Laura Pérez, Hidroprotección de Colombia

Fotos: Cortesía de Hidroprotección de Colombia



El concreto posee una protección

ligada a su naturaleza debido a la alcalinidad que lo caracteriza. Sin embargo –y por las condiciones que se presentan en zonas industriales– factores como las lluvias ácidas, sulfuros, emisiones de vehículos y CO₂ del ambiente, entre otros, pueden terminar degradando el concreto y afectando sus características y propiedades físico-químicas y la estética. Ante la presencia de agentes ambientales se debe aumentar la protección al concreto, teniendo en cuenta evitar el uso de productos de limpieza inadecuados en el lavado inicial y en mantenimientos posteriores, que puedan afectar las ventajas naturales del material.

Es de gran importancia proteger el concreto del ingreso de agua, que es el vector que arrastra los contaminantes ambientales en la superficie y hacia el interior del material, manchándolo y deteriorándolo. La durabilidad funcional y estética del concreto es resultado de muchos factores que comienzan por un buen diseño de mezcla, y se mantienen con el manejo y cuidado en la etapa constructiva y con lavado, protección y conservación adecuados.

↑ Foto 1. Antes y después de lavado con rinse.

Dentro de los cuidados que deben considerarse para garantizar el adecuado desempeño y apariencia del concreto en construcciones industriales, están:

- Buenas prácticas constructivas
- Lavado y protección del concreto
- Tratamiento superficial antipolvo
- Mineralización y consolidación superficial
- Realces y protectores con efecto cosmético
- Cuidado y mantenimiento periódico de pisos en grandes superficies
- Restauración y mantenimiento de concreto viejo o deteriorado
- Concretos “autolimpiantes”

Buenas prácticas constructivas

Las buenas prácticas constructivas deben aplicarse en el uso de formaletas, desencofrantes, agentes curadores, mano de obra calificada y protección de estructuras en obra.

Respecto a las formaletas, no deben usarse las que produzcan manchas o patologías en el concreto. Las formaletas de madera contienen taninos, ligninas y otras sustancias orgánicas pigmentantes

que cambian de pH en el proceso de vaciado. Al entrar en contacto con el concreto, estos taninos y ligninas se alcalinizan y cambian su potencial de óxido-reducción, generando manchas de difícil remoción (tanatos, ligninas oxidadas y otros). Algo similar ocurre con las formaletas metálicas oxidadas o que sueltan partículas de metal que van a depositarse en la superficie del concreto dando lugar a oxidación después de quedar expuestas a la luz y el aire. Aun en formaletas no oxidadas, el hierro elemental (no oxidado) de la formaleta se alcaliniza y se oxida sobre la superficie del concreto. Cuando el factor estético es un requisito en instalaciones industriales, deben utilizarse formaletas inertes o previamente curadas o tratadas (o “sazonadas”, si copiamos el término en inglés seasoned). O bien aplicando el proceso de sumergirlas en parafina derretida, que se enfría y se solidifica sobre la formaleta.

El desencofrante no debe ser reactivo; es decir, debe ser de barrera e inerte y no interactuará químicamente con el concreto y no manchará la superficie. De igual forma, deben evitarse los desencofrantes que contengan ácidos grasos o sustancias que reaccionan con la cal libre del concreto, formando manchas que se incorporan al material y son de difícil remoción.

Los agentes curadores no deben formar película ni contener parafinas, ceras o sólidos fundidos pues, a pesar de ser efectivos en el proceso de curado, cuando un producto de esta naturaleza se aplica so-

bre el concreto, el agua o el solvente se evaporan y queda una delgada película de parafina solidificada de difícil retiro. Para removerla habría que invertir el proceso: derretir la parafina de nuevo y volver a disolverla, lo cual es virtualmente imposible en condiciones de obra. En concretos que van a llevar un tratamiento posterior –un recubrimiento, un mineralizante o una protección–, los residuos de parafina o de ceras impedirán la correcta penetración y/o anclaje del tratamiento.

La mano de obra calificada es crucial en los diferentes capítulos de la construcción, para que una actividad posterior no contamine o ensucie las superficies en concreto. En etapa de construcción hay que proteger el concreto acabado de lluvias, inundaciones y del agua en general, para evitar humedades residuales en el interior del material y manchas por lixiviación de sales. Esta lixiviación de sales significa que el agua entra al concreto y, al salir a la superficie en el ciclo de secado arrastra sales del interior, que migran por capilaridad. Estas sales son principalmente carbonatos que manchan la superficie al formar unos depósitos blancos, o pueden ser mezclas de carbonatos con arrastre de óxidos de hierro provenientes del acero de refuerzo, que forman manchas de color café en el exterior del concreto. Así mismo, en el diseño se debe prever un buen manejo del agua mediante sillares, goteros, bajantes, canales, etc., de modo que se minimice la exposición del concreto a escorrentías, desagües o salpicaduras permanentes.

Foto 3. Limpieza superficial de losa en concreto blanco.



Lavado y protección de la superficie del concreto

Cuando en la construcción se han implementado buenas prácticas constructivas, basta un lavado para retirar polvo, material suelto y eventuales eflorescencias superficiales utilizando una hidrolavadora (se recomienda de 1.300 psi y con boquilla tipo cortina o abanico). Si se va a aplicar un hidrófugo o un tratamiento posterior y se ha aplicado un curador, este debe removerse aprovechando que algunos curadores para construcciones industriales se retiran fácilmente con agua y jabón.

Si la construcción también lleva un componente estético en su funcionalidad, se recomienda lavar con un rinse o enjuague selectivo, cuya función sea retirar los contaminantes de la superficie tales como manchas por formaleta y/o desencofrante, o lixiviados del concreto y que adicionalmente puedan afectar la iluminación y reflectividad del exterior del concreto.



↑ Foto 4. Obra terminada con la adecuada protección.

Las superficies exteriores deben protegerse con un hidrófugo para repeler el agua. El hidrófugo no forma película, por lo cual nunca sufrirá descascamiento.

Cuando la superficie del concreto está en una construcción industrial, lo ideal es espaciar los mantenimientos lo máximo posible, se recomienda elegir el hidrófugo que mayor vida útil ofrezca para el caso. Existen hidrófugos con durabilidades que varían entre dos y diez años, e incluso más. Se consiguen desde hidrófugos con base en solventes, que deben aplicarse sobre muros totalmente secos, hasta hidrófugos con base en nanopartículas que pueden aplicarse sobre muros ligeramente húmedos.

En el interior de fábricas de alimentos o en centros de almacenamiento debe evitarse aplicar hidrófugos o protectores con solventes, ya que debe impedirse una contaminación cruzada con los procesos de fabricación o con la mercancía almacenada. En construcciones industriales sostenibles tipo Leed, deberá considerarse el uso de un hidrófugo sin solventes (VOC) y amigable con el medio ambiente. En muelles, pasarelas o estructuras en ambientes marinos y en ambientes corrosivos como bodegas de fabricación y almacenamiento de abonos, vapores ácidos, etc., se debe aplicar un hidrófugo que tenga, además, inhibidores de corrosión en su formulación. Para la hidrofugación de fachadas industriales no se recomienda aplicar lacas, sellantes o cualquier otro producto filmógeno que selle los poros de la superficie e impida la “respirabilidad” del sustrato.

Tratamiento superficial antipolvo

En zonas de alta afluencia y expuestas a polvo, contaminantes y alto tráfico vehicular, como las grandes superficies, se recomienda aplicar un tratamiento antipolvo en pisos y muros interiores que facilite el lavado periódico de la superficie, sin arrastre significativo de contaminantes hacia el interior del muro. Los tratamientos antipolvo contienen nanopartículas cargadas eléctricamente y se basan en el principio físico de que las cargas eléctricas iguales se repelen, dificultando el depósito de polvo sobre la superficie y permitiendo que el polvo que se alcanza a depositar pueda removerse con relativa facilidad.

En el mercado actual existen hidrófugos con doble funcionalidad, es decir, como hidrófugos y como protección antipolvo.

Mineralización y consolidación superficial

En el diseño de los pisos industriales de alto tráfico, la superficie de concreto suele densificarse mediante la adición de un endurecedor con base en arenas sílice, de partículas metálicas o, en casos especiales, de carburo de silicio; o se aplica un coronamiento. Realizando un enfoque en los mineralizantes y consolidantes que se aplican tan pronto se finaliza el afinado del concreto, o después de su curado, ya sea antes o luego de su puesta en servicio.

El mineralizante reacciona con la cal libre del cemento, formando un tercer compuesto que se integra a la superficie del material y que micro-densifica la superficie, proporcionándole mayor resistencia mecánica y menos desprendimiento de polvo. Se recomienda para bodegas o naves industriales y centros de almacenamiento con tráfico intenso de vehículos o de montacargas.

Por otro lado, además de su efecto mineralizante, el consolidante tiene una consecuencia aglomerante y protectora. Cuando se aplica sobre el concreto fresco tiene efecto mineralizante y curador, mientras que si se aplica sobre concreto endurecido lo micro-densifica y disminuye, además, su absorción de agua. Se recomienda para parqueaderos, patios de maniobra o concretos a la intemperie, como también para pisos y pasarelas de bodegas o áreas de almacenamiento de fábricas de alimentos, con el fin de aumentar su umbral de resistencia al desgaste y disminuir la contaminación por micro-organismos que puedan alojarse en superficies húmedas. El consolidante no sustituye las pinturas o recubrimientos industriales que se deben aplicar en las zonas de proceso de alimentos o zonas húmedas, pero sí prepara la superficie para un mejor anclaje químico de algunos recubrimientos.

Los consolidantes se aplican como barrera de condensación en instalaciones industriales especiales como cavas y cuartos fríos, cuando se usan en combinación con un hidrófugo apropiado. En los cuartos

de fermentación o maduración es de especial importancia que no se propicie el crecimiento de hongos, levaduras o mohos no deseados. En consecuencia, este tratamiento brinda una barrera de condensación versátil y económica.

Realces y protectores con efectos cosméticos

En el mercado están tomando fuerza los protectores que tienen a la vez un efecto cosmético que realza la superficie. Contienen nanopartículas multifuncionales que permiten obtener los dos efectos en un solo producto basándose en el principio físico de la refracción de la luz, con lo cual se enmascaran principalmente eflorescencias blancas como carbonatos, sulfatos y silicatos, que son las que le dan aspecto rucio u opaco a la superficie.

Al tener un efecto de realce, minimiza y hasta elimina el proceso de lavado químico, con ahorros significativos en mano de obra. No obstante, sí debe hacerse un lavado previo con agua para eliminar polvo y partículas sueltas que le restarían efectividad al tratamiento, o que podrían aumentar su consumo.

Cuidado y mantenimiento periódico de pisos en grandes superficies

Las grandes superficies enfrentan el reto de ciclos de limpieza rápidos y efectivos. Para el mantenimiento de sus pisos se utilizan máquinas industriales y se recomienda usar jabones neutros o ligeramente alcalinos. Por ningún motivo se deben utilizar productos con pH ácido, ya que terminan degradando superficialmente el concreto.

Para distanciar más los ciclos de lavado y/o aumentar su desempeño, se recomienda utilizar jabones que lleven incorporada la tecnología antipolvo y biocidas de amplio espectro, sin olor marcado, muy recomendables para las zonas secas de alimentos en grandes superficies.

Restauración y mantenimiento de concreto viejo o deteriorado

Como a toda superficie, al concreto también deben dársele mantenimientos periódicos para restablecer su aspecto original y proteger su integridad. El mantenimiento depende de las condiciones de uso del concreto, de su ubicación y funcionalidad y de la durabilidad del protector que se haya aplicado.

En ambientes industriales expuestos a corrosión, como los marinos, el mantenimiento debe efectuarse por lo menos una vez al año; en las fachadas de construcciones industriales podría hacerse un mantenimiento cada 7 o 10 años.

Entre los enjuagues de restauración existen algunos muy selectivos y otros de amplio rango, según los contaminantes que presente la superficie. Es importante determinar si la superficie tiene o no un

hidrófugo residual o lacas o residuos de sellantes. Por eso, antes de intervenir una superficie, deben realizarse pruebas representativas para establecer el producto o productos que deben aplicarse.

Algunos concretos pueden presentar deterioro superficial por exposición a agentes corrosivos o por malas prácticas de lavado anterior. En estos casos se recomienda aplicar un consolidante para endurecerlo superficialmente. Todo proceso de restauración y mantenimiento debe finalizar con la aplicación de un hidrófugo adecuado, siendo válidas todas las recomendaciones del numeral 2, así como los tratamientos complementarios que exijan las condiciones de uso del concreto en particular.

Concretos "autolimpiantes"

Es importante tener en cuenta que existen tecnologías muy novedosas que permiten que el concreto, por su diseño, lleve incorporada una defensa adicional contra los factores ambientales o que facilite la autolimpieza o la protección antipolvo.

Una tecnología de vanguardia que incorpora a la masa del concreto unas siliconas especiales que lo protegen del ensuciamiento se utiliza en países como Alemania, Suiza y Estados Unidos y actualmente en Colombia. Estos aditivos trabajan en dos dimensiones: reducen dramáticamente la absorción de agua en la masa del concreto, lo cual dificulta el arrastre de suciedad hacia el interior del concreto, y tienen cargas eléctricas especiales que repelen el polvo, lo que facilita el proceso de lavado aprovechando la lluvia, o con procesos sencillos de limpieza.

Por tener base de siliconas, se fijan en las paredes de la red intracapilar, al igual que los hidrófugos, y por tanto no afectan las características mecánicas del concreto. Su principal aplicación se encuentra en estructuras de túneles, puentes y construcciones de difícil acceso o mantenimiento. En los túneles de carreteras mejoran la reflectividad, ya que no se depositan tan rápido el hollín, el CO₂ y las emisiones contaminantes de los vehículos. Y si la protección intrínseca se complementa con un tratamiento superficial antipolvo, mayor será la durabilidad de la limpieza sobre la superficie.

En el caso de estructuras marinas o de concretos sometidos a ambientes corrosivos, la protección integral les da una ventaja adicional, al dificultar el arrastre de aguas o vapores agresivos hacia el interior del concreto.

El lavado, protección y mantenimiento de las superficies de concreto a la vista, particularmente en construcciones industriales son factores que marcan diferencia en cuanto a su calidad, durabilidad, funcionalidad e imagen. El cuidado durante la construcción, seleccionar el tratamiento más conveniente y realizar un adecuado mantenimiento son claves para garantizar la calidad y apariencia del concreto a lo largo de su vida útil. 

Soluciones alternativas a retos geológicos en estructuras de cimentación

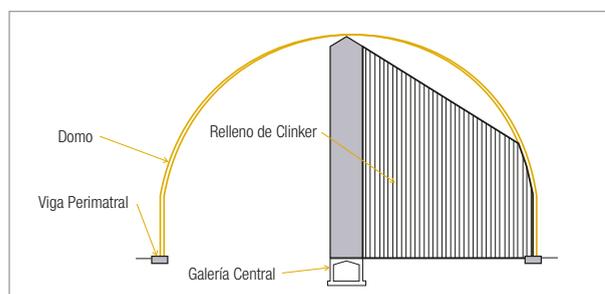
Antoine Charles Verrouil. Soletanche Bachy Cimas y Menard.



→ Foto 1. Domo de almacenamiento de Clinker. ULTRACEM

El sector industrial está en pleno desarrollo en Colombia; la producción aumenta y, en consecuencia, se necesita construir nuevas plantas y/o ampliar las existentes. En su desarrollo, las empresas pueden encontrarse frente a un desafío importante en el momento de construir sus nuevas instalaciones. De hecho, las estructuras comúnmente presentes en el sector industrial combinan dos características que deben estar estrictamente ligadas, son: unas cargas importantes y una alta sensibilidad a las deformaciones. Además, la mayor parte de los suelos en Colombia tiene características muy blandas y reúne los ingredientes para presentar grandes retos ingenieriles. La solución habitual es el sistema de cimentación profunda a través de pilotes de concreto armado la cual, si bien funciona, puede resultar onerosa y afectar en ocasiones la factibilidad económica de todo un proyecto. Ante esta realidad, empresas del sector de la construcción optaron por implementar técnicas de cimentación usadas y comprobadas en contextos similares en Europa y Estados Unidos mediante mejoramiento del suelo. Son técnicas novedosas y, ante todo, más económicas, ya que se adaptan “a la medida” a cada tipo de estructura y de suelo.

Los métodos constructivos que pertenecen a la familia de tecnologías de mejoramiento de suelo apuntan a aumentar ciertos parámetros intrínsecos del terreno existente. Aunque las técnicas aplicadas en la actualidad son de nuestros días, el concepto técnico tiene más de 1.500 años. Las famosas *vías stratas*, por ejemplo, que permitieron la rápida expansión del Imperio Romano, se construyeron gracias a técnicas rudimentarias de mejoramiento de suelos, tales como agregar cal al terreno para mejorar su resistencia. La filosofía general detrás de todas las técnicas de mejoramiento de suelo es la misma: mejorar el terreno en su globalidad y no solamente en zonas específicas. Es por esto que los sistemas de cimentaciones especiales de mejoramiento de suelo funcionan muy bien cuando hay cargas repartidas como tanques, patios de almacenamientos, bodegas y, en general, para construcciones industriales.



↑ Figura 1. Perfil Domo de almacenamiento de Clinker.
ULTRACEM

Sin embargo, ya que existe una gran variedad de metodologías de mejoramiento de suelos, debe escogerse la tecnología óptima para el contexto particular del proyecto, no solo teniendo en cuenta la estructura que se va a construir, su forma y su peso, sino también las características geotécnicas del suelo. Se presentan a continuación dos ejemplos claros de aplicación de metodologías de mejoramiento de suelo novedosas para el país, atendiendo a las desafiantes necesidades estructurales, geotécnicas y económicas de cada obra.

Una estructura exigente en cargas y deformaciones

En el año 2015 se inició la construcción del primer domo de almacenamiento para 90.000 toneladas de clinker en Colombia, una imponente estructura de 60 m de diámetro y 36 m de alto que debía reposar sobre una viga perimetral de 1,15 m de espesor. Por debajo del nivel del suelo debía haber una galería subterránea de servicio de 5 m x 5 m para evacuar el clinker mediante bandas transportadoras. Dentro del domo, el Clinker, con peso de 1,6 t/m³, debía estar almacenado hasta una altura de 35 m, descargando sobre el suelo un peso masivo de 56 t/m² en su centro. Al tener en cuenta la sumatoria de los esfuerzos, se generaba una carga adicional cercana a 62 t/m² en el borde.

La forma de domo de la estructura presentaba muchas ventajas, como un incremento significativo de la capacidad de almacenamiento frente a estructuras de tipo silos. Los asentamientos diferenciales del suelo causados por el peso mismo del domo podían generar, a largo plazo, esfuerzos de torsión, los cuales podrían afectar la estructura con fisuras del revestimiento del domo o de la misma galería subterránea, por ejemplo. Ante este riesgo, el diseño de la cimentación del domo debía contemplar la reducción de asentamientos del suelo, dentro de los rangos admisibles definidos por el constructor.

La solución básica presentada por los diseñadores del proyecto se basó en un sistema de cimentación profunda compuesto por pilotes de concreto armado conectados a una losa maciza, lo cual representaba un costo importante. Sin embargo, mediante el estudio de los diferentes aspectos del proyecto, llegaron a una solución alternativa

→ Foto 2. Cimentación en construcción del Domo.
ULTRACEM



de mejorar el suelo mediante columnas de módulo controlado (CMC), con la óptica de reducir los costos de obra y asegurar la reducción óptima de los asentamientos del suelo.

Las Columnas de Módulo Controlado - CMC

La técnica CMC consiste en incluir en el suelo blando una multitud de elementos de concreto según una malla geométrica. La imagen que podemos usar es la del “tapete” del faquir, quien se levanta indemne luego de recostarse sobre una cama llena de clavos. Las columnas de módulo controlado interpretan el truco en que el prestidigitador reparte el peso de su cuerpo sobre todas las puntas, pero cada esfuerzo es tan pequeño que no lastima la piel. Trasladando este ejemplo al caso del proyecto, los elementos de concreto comparten la esbeltez de los clavos, las columnas tienen un diámetro comprendido entre 20 a 40 cm y pueden llegar a una profundidad de hasta 40 m. Las inclusiones se reparten según una malla geométrica que debe imitar la forma de la estructura en superficie; se puede usar una malla radial en el caso de mejorar el suelo para un elemento de aspecto circular como un tanque, una malla rectangular si las formas son cuadradas como una bodega o, finalmente, mallas triangulares para figuras asimétricas como carreteras. La clave está en respetar una repartición homogénea sobre toda la superficie del tratamiento. Si se llega a tener un contexto geotécnico que presenta esfuerzos cortantes —en las zonas de actividad sísmica, por ejemplo— las columnas pueden ser armadas con acero hasta la profundidad requerida; sin embargo, esas inclusiones de concreto no están conectadas a un sistema de cimentación superficial como puede ser el caso con un pilotaje tradicional, ya que el peso de la estructura se transmite a través de un relleno de material granular llamado “plataforma de transferencia de carga”. Los esfuerzos aplicados al relleno se dirigen naturalmente hacia los elementos del suelo de mayor rigidez, es decir, hacia las CMC de concreto, mediante un fenómeno físico llamado “efecto arco”. Gracias a ello, la carga aplicada en superficie está recuperada en su mayor parte por la malla de inclusiones y el suelo recibe una fracción suficientemente pequeña para no generar asentamientos.

El desafío principal de una estructura tipo domo era el almacenamiento piramidal, lo que implicaba que la carga iba a ser diferente entre el centro y los extremos. La implicación directa era que el suelo podía presentar deformaciones mayores en las zonas más cargadas y menores en las de menor carga. Para evitar esos asentamientos diferenciales, el diseño de mejoramiento de suelos tuvo que adaptarse a esos cambios: las columnas de 40 cm de diámetro y de 22 m de profundidad fueron organizadas según una malla radial con distancia entre ejes desde 1,25 m x 1,25 m en las zonas de mayor carga, hasta 1,45 m x 1,45 m donde la carga estaba más reducida, para un total de 1.700 columnas. De esta manera, la repartición geométrica de las columnas se podría considerar como un espejo de la de los esfuerzos.

Detalles sobre el concreto

El concreto utilizado en la construcción de inclusiones rígidas tipo CMC debe tener las siguientes especificaciones con el fin de garantizar el máximo desempeño en su instalación: tamaño nominal de la grava entre 3/8” y 1/2”, asentamiento de 9” y tolerancia de 1”, viscosidad con tiempo final de extensión de flujo menor a 7 segundos y manejabilidad de 2 horas desde su llegada a obra. Para la comprobación de estas características, antes de iniciar la obra se hace una prueba industrial en la planta de fabricación, con un

volumen mínimo de 3 m³, al que se mide durante 3 h tomando registros de los ensayos de asentamiento, viscosidad y temperatura cada 30 min. Durante la ejecución de la obra, a cada camión mezclador se le deben hacer, en el momento de su llegada a la obra o máximo en un plazo de 15 min, una inspección visual y un ensayo de asentamiento y toma de cilindros, teniendo como muestra representativa un máximo de 40 m³, con el fin de realizar ensayos de compresión por cilindro a diferentes edades.

Control de calidad y ensayos

Como todo proceso, el mejoramiento de suelo responde a un riguroso plan de control de calidad. Además de los parámetros controlados sobre el concreto, se tiene que verificar la buena ubicación topográfica de cada elemento y su profundidad y, además, comprobar que el volumen de concreto usado en obra no sea menor al volumen teórico. Este control se realiza para cada una de las 1.700 columnas en tiempo real. Durante la ejecución de una inclusión, una batería de sensores diversos envía información al operador quien puede monitorear parámetros de producción, entre ellos la profundidad de la punta de la herramienta de perforación, su velocidad de subida, la presión de inyección de concreto en el suelo, etc. Esos registros se compilan y analizan durante toda la obra y se entregan al cliente al finalizar el proyecto.

El diseño alternativo permitió reducir los volúmenes de concreto y de acero, así como gastos y tiempos de ejecución, ya que las 1.700 columnas fueron instaladas en menos de dos meses de trabajo. Además, el diseño del sistema de cimentación superficial también pudo ser optimizado, ya que se reemplazó la losa de concreto armado con una viga perimetral mucho más liviana y económica. En total, el diseño alternativo propuesto permitió al cliente ahorrar más del 50% sobre el costo total del diseño básico.



↑ Foto 3. Centro de distribución logístico Contecar.
CONTECAR

Una bodega a caballo entre dos tipos de suelo

El terminal marítimo Contecar, parte del grupo puerto de Cartagena, aplica tecnologías de punta para permanecer en la vanguardia y ofrecer a sus clientes servicios de altísima calidad. En 2018, el puerto quiso construir una bodega para un centro de distribución logístico. Al contrario de nuestro primer ejemplo, la bodega de 22.000 m² iba a generar cargas moderadas sobre el terreno. El peso del relleno de puesta a la cota arquitectónica, al cual se le debía agregar el peso de la bodega, sumaba 7 t/m² que se aplicarían al suelo existente.

En este caso particular, el reto provino más de la geotecnia del sitio que de los esfuerzos: la presencia de un canal ocasionó una variación de la estratigrafía debajo de la huella del futuro edificio, dividiendo el suelo en dos áreas con características geológicas opuestas. Los sondeos más cercanos al canal reportaban la presencia de depósitos aluviales de arcillas arenosas muy blandas que poco a poco dejaban lugar a unas capas de arcillas más compactas, a medida que se iban alejando. El desafío del proyecto fue adaptar el mejoramiento de suelo a la variación de dureza del suelo.

Drenes verticales tipo mecha

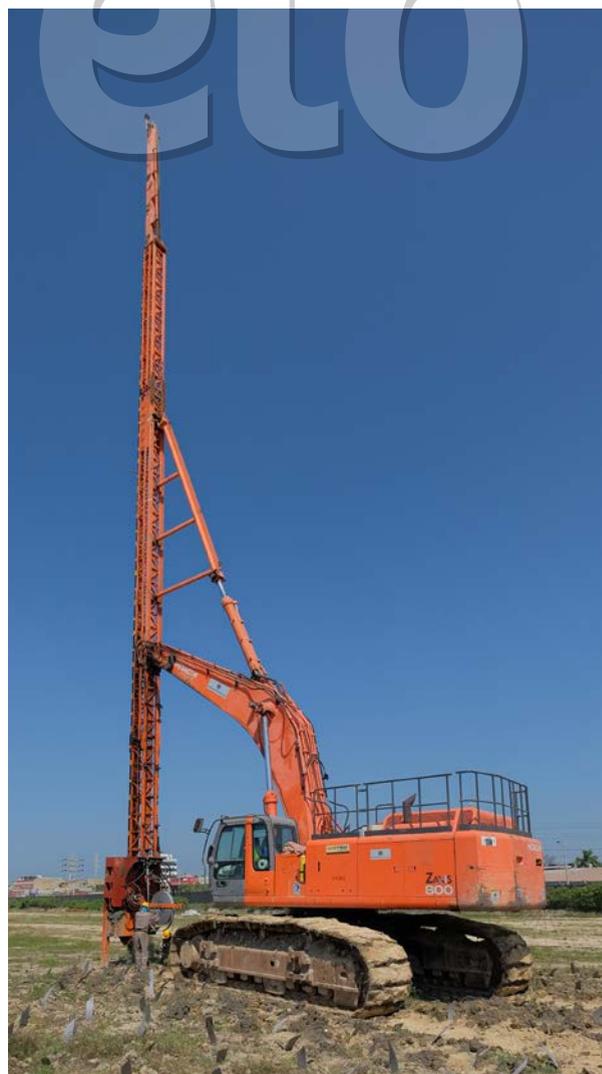
Para esta obra, el mejoramiento de suelo se realizó en dos etapas y aplicando dos técnicas distintas:

En primer lugar, se instalaron drenes verticales tipo mecha (*Wick Drains*) y un relleno para precargar el suelo durante la etapa temprana del proyecto. El método de

mejoramiento de suelo mediante la instalación de drenes verticales tipo mecha se aplica en suelos cohesivos poco permeables como arcillas finas consiste en la introducción de cintas drenantes sintéticas en el suelo para aumentar su permeabilidad. Cada mecha está compuesta de un núcleo central en polietileno de alta densidad que forma pequeñas canaletas por las cuales se conduce el agua, esos canales están protegidos por un sobre en geotextil que deja pasar el agua pero no las partículas finas del suelo para evitar el taponamiento del dren.

Las mechas están instaladas en el suelo mediante una camisa metálica que baja hasta la profundidad recomendada en el diseño, generalmente los drenes se instalan sobre todo el espesor de la capa compresible (la profundidad de instalación máxima alcanzada en el mundo es de 40 m). Una vez la cinta anclada, la camisa sube hasta el nivel de la superficie donde se corta el dren y se repite la operación en otro punto. Esta operación se demora en promedio 1 minuto por punto, lo que permite tener rendimientos de instalación muy altos del orden 5.000 metros lineales a 10.000 metros lineales por día de trabajo dependiendo de la dureza del suelo.

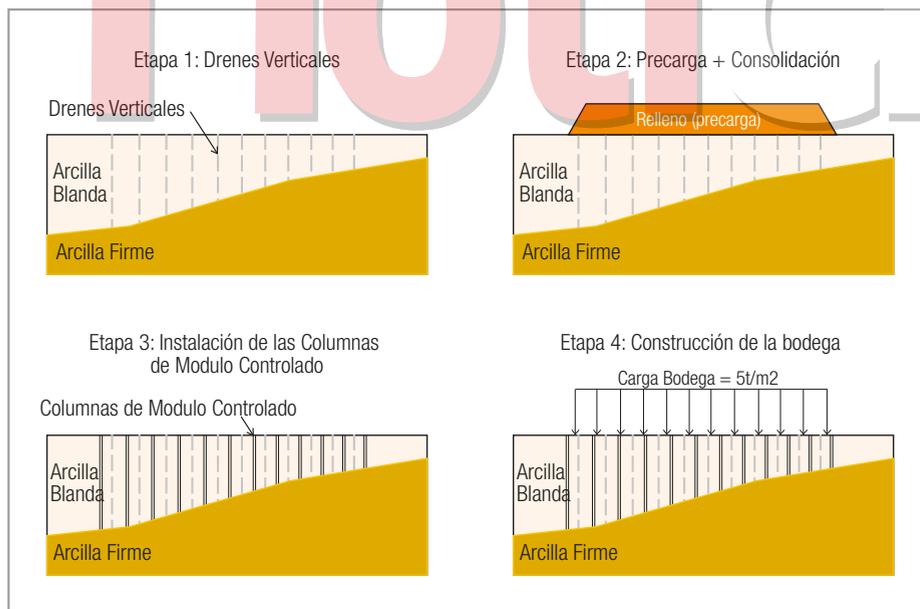
↓ Foto 4. Instalación de drenes verticales tipo mecha.
SOLETANCHE BACHY CIMAS Y MENARD





← Foto 5. Dren vertical tipo mecha instalado.
SOLETANCHE BACHY CIMAS Y MENARD

Siempre se usa combinado con un relleno de precarga, que tiene el papel de simular la carga final que se va a aplicar al terreno. Una vez cargado, el suelo va a empezar el proceso de consolidación. Con el tiempo, el agua se escapa del terreno ocasionando deformaciones verticales en el proceso y las mechas drenantes instaladas permiten mejorar la permeabilidad vertical del suelo y acelerar el tiempo de consolidación. Durante el proceso se debe realizar un monitoreo topográfico para medir los asentamientos del suelo y de esta manera garantizar que se llevó a cabo el tratamiento del suelo en su totalidad. Adicionalmente, se pueden adjuntar instrumentos como piezómetros para medir el nivel del agua e inclinómetros para hacer un seguimiento de las deformaciones horizontales del suelo. Terminada la consolidación se puede remover el relleno de precarga. Esta fase permite reducir los asentamientos residuales del suelo y reducir de manera importante los costos del sistema de cimentación.



↑ Figura 2. Perfil de la Bodega.
SOLETANCHE BACHY CIMAS Y MENARD

En la segunda etapa se instaló una red de columnas de módulo controlado (CMC): las inclusiones, de 30 cm de diámetro, se instalaron según una malla rectangular de 2,4 m x 2,4 m con una profundidad de instalación de 13 a 17 metros adaptada a la variabilidad del suelo: es decir, más larga cuando el suelo era más blando y más corta cuando el suelo era más duro.

Otra característica importante de la técnica de instalación de las columnas de módulo controlado es el uso de un tornillo que posee una forma especial para desplazar lateralmente el suelo. Esto permite evitar la extracción del material durante la penetración de la herramienta en el terreno, lo que minimiza la generación de escombros y los costos del manejo de los mismos. Adicionalmente, el empuje lateral del tornillo compacta el material de suelo entre las columnas, mejorando sus parámetros geotécnicos. Se puede considerar esta mejora en los cálculos al nivel de diseño, lo que ofrece la posibilidad de reducir las cantidades de concreto usado. Finalmente el uso del tornillo de desplazamiento lateral de suelo reduce de manera significativa la expansión del concreto en el momento de la inyección, ya que el suelo en los bordes de la excavación es más compacto y por lo tanto menos permeable. Esto reduce los riesgos de fugas y pérdidas de concreto durante la ejecución, permitiendo que en promedio se reduzca el porcentaje del sobreconsumo dependiendo de la geología del suelo.

Para garantizar la calidad del trabajo ejecutado se pueden realizar ensayos a escala real sobre las columnas de modulo controlado, el ensayo de carga estática rápida se aplica sobre columnas hechas a propósito. El ensayo consiste en aplicar gradualmente a la cabeza de la inclusión una carga similar a la que va a recibir el elemento y medir las deformaciones del suelo para confirmar que se respectaron los requisitos del diseño.

Con el diseño alternativo propuesto, se pudieron optimizar las cantidades de concreto y de acero usados en la obra y reducir significativamente los gastos del proyecto.

Conclusión

Los grandes desafíos que presentan los parámetros del suelo en Colombia, acompañados de los altos costos que representan las técnicas tradicionales de cimentación, incentivan constantemente a empresas del sector de la construcción a implementar técnicas de mejoramiento de suelo, novedosas para el país y menos onerosas. Los ejemplos presentados, mediante el uso de CMC con una repartición geométrica que reflejara el peso diferencial del domo, y la combinación de drenes verticales tipo mecha y de una red de CMC adaptados a las condiciones cambiantes de dureza del suelo, muestran que cada obra es única y que no se puede aplicar siempre la misma solución. Es importante adaptarse a las necesidades del suelo y de las estructuras, pensar más allá de las técnicas comunes y proponer metodologías “a la medida” como única solución para brindar ingeniería de valor que responda a las necesidades de cada proyecto y de cada cliente.



Concreto de contracción compensada para pisos de gran formato

Liliana María Arias O., Toxement S.A.

↑ Foto 1. Proyecto las Brisas con piso de gran formato, Centro América.
CORTESÍA TOXEMENT S.A

La guía ACI 302 - Construcción de pisos en concreto, menciona que “la calidad de una losa o piso de concreto depende altamente de lograr una superficie dura y durable que es plana, relativamente libre de grietas y con adecuada pendiente y elevación. Las propiedades de la superficie están determinadas por el proporcionamiento de las mezclas y la calidad de las operaciones de concreto y diseño de juntas”.

El desempeño óptimo de los pisos industriales en el tiempo se refiere al control de fisuramiento, de tal manera que reducir el número de juntas en la losa será un factor determinante de durabilidad, sumado a otros principios establecidos durante la etapa de diseño, de operaciones de nivelación de la base, así como de construcción y, finalmente, de puesta en uso de la losa de concreto.

La contracción por secado constituye una de las principales causas de agrietamiento en el concreto e incluye el movimiento y la pérdida de agua dentro de los poros extremadamente pequeños de la pasta hidratada y desde el interior del gel (silicato cálcico hidratado, CSH). A medida que el concreto se seca, se pierde humedad desde estos poros muy pequeños y se forman meniscos. La tensión superficial del agua asociada a estos meniscos atrae los poros unos a otros y da como resultado una *pérdida de volumen* en el concreto.

En la concepción de un piso de gran formato se busca minimizar este fenómeno de contracción en el concreto, por lo cual se deben tener en cuenta de manera general las siguientes condiciones que llevan a proyectos exitosos:

- Uso de tecnología
- Estudios específicos de los materiales a emplear en el proyecto
- Trabajo en conjunto del diseñador, el productor de concreto, el proveedor de tecnología, el dueño del proyecto y el constructor

Existen diferentes tecnologías, con experiencias internacionales exitosas, que permiten aumentar el espaciamiento de juntas, entendiendo que el principal objetivo es minimizar la contracción por secado y así mismo el potencial agrietamiento de las losas. La guía ACI 223R-10 en el capítulo 4.¹ sobre Cemento expansivo y Sistemas de componentes expansivos suministra los lineamientos para desarrollar concretos de contracción compensada y concretos especiales usados por más de 40 años, probados de manera eficiente para minimizar el fisuramiento debido a la contracción por secado. Esta guía hace referencia a aplicaciones del concreto de contracción compensada no solo en la configuración de pisos industriales, sino también en autopistas, pavimentos, aeropuertos, estructuras hidráulicas, plantas de tratamiento de aguas residuales, parqueaderos y losas sobre terreno, entre otras estructuras.

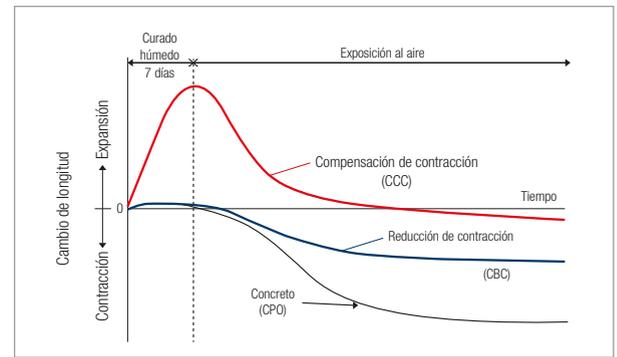
Además del concreto de contracción compensada se ha propuesto para la solución de estos pisos de gran formato, la aplicación de macro-refuerzo metálico y/o sintético, de uso estructural con aporte a esfuerzos por fatiga y post-fisuración. El beneficio de usar macrofibras estructurales redundante en la durabilidad de estos concretos.

Una de las posibilidades para la construcción de pisos con concreto de contracción compensada (CCC) puede ser el uso de aditivo tipo G (componente expansivo) definido en la guía ACI 223 como una mezcla de dióxido de calcio y dióxido de aluminio que produce plaquetas de cristales de hidróxido de calcio cuando se mezclan con el cemento portland y agua; a su vez se requiere el uso de aditivos retardantes y súper-plastificantes que le otorgan fluidez, manejabilidad y facilidad de colocación. El efecto expansivo tanto en estado fresco como en estado endurecido en el concreto, reduce los problemas de agrietamiento que se presentan en la contracción por secado de las losas.

En la figura 1 se puede apreciar una comparación del cambio volumétrico experimentado por cada uno de los casos que se describen a continuación: contracción por secado de un concreto elaborado con cemento portland ordinario (CPO), contracción por secado de un concreto diseñado con baja contracción (CBC) el cual prevé generalmente el uso de aditivos reductores de alto rango y aditivos reductores de contracción, y de un concreto de contracción compensada adicionados con compensadores de contracción (CCC); la expansión generada es compensada por la contracción del concreto para luego presentar resultados de contracción mínima cercana a cero.

La contracción compensada del cemento se constituye y se proporciona de tal manera que el concreto incrementará el volumen después del fraguado y durante su endurecimiento. Mediante el uso de componentes como el tipo G ya descrito, la expansión se ve favorecida por el curado con agua.

➔ Figura 1. Reducción vs Compensación de Contracción. ACI COMMITTEE 223, 2010



La restricción interna derivada del refuerzo se requiere para compensar la contracción; en este sentido la expansión inducirá tensión en el refuerzo y compresión en el concreto. Mientras que la contracción producida por el subsecuente secado reducirá o mitigará la tensión causada por la expansión inicial, en lugar de los esfuerzos de tensión que podrían resultar en fisuramiento de la estructura.

En la figura 2 se presentan dos losas: en la losa 1 (izquierda) se muestra una losa de concreto sin refuerzo de 15 cm de espesor con 100 metros lineales de juntas de control y 144 tableros independientes, y la losa 2 (derecha) presenta la misma losa de concreto de contracción compensada de 15 cm de espesor sin juntas de control. Mientras que la losa 1 presentará alabeo y deterioro en las juntas, en la losa 2 no existirá movimiento de la losa debido a que las juntas de control han sido eliminadas.

Cada proyecto en particular debe ser **evaluado** en términos de **contracción desde los materiales** particulares a emplear en el **diseño de mezcla**, se requieren estudios previos y bajo condiciones normalizadas, que **aseguren uniformidad y control** en los resultados esperados en campo.

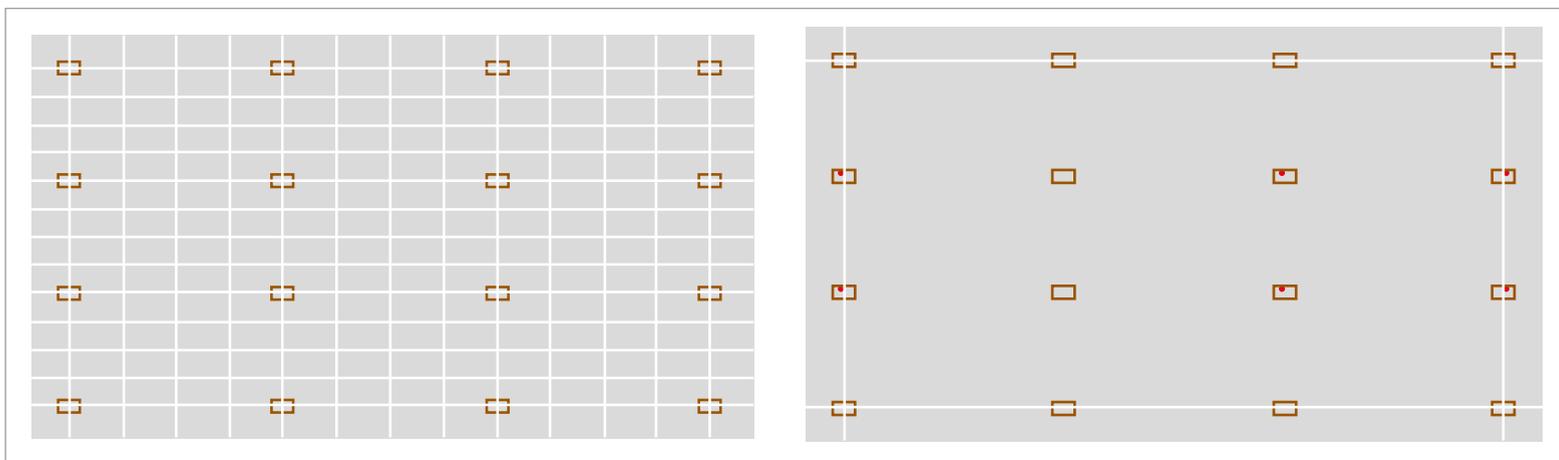


↑ Foto 2. Centro de distribución Colgate-Palmolive, San José Ituride, Guanajuato. Área de 54.000 m² con 8.000 m³ de concreto de contracción compensada. EUCOMEX

Para minimizar presencia de fisuras y alabeo debido a la contracción por secado y lograr diseños eficientes en juntas, se recomienda, en general, un diseño de mezcla con las siguientes características:

- Bajo contenido de pasta
- Baja cantidad de agua
- Aumento de contenido de agregado grueso
- Evitar agregados con materiales deletéreos
- Uso de aditivos especializados

1: ACI 223R-10, Cap. 4.1 – Expansive Cement and Expansive Component Systems



↑ Figura 2. Comparativo de juntas en tableros de concreto convencional vs concreto de contracción compensada. Simulación de losa de 2.025 m² (45 m x 45 m).
CORTESÍA TOXEMENT S.A

Según los criterios establecidos en la guía ACI 223, y con base en experiencias en el diseño y construcción de pisos industriales sobre terreno, se configura una aplicación de pisos de gran formato con uso de CCC, concreto reforzado con macro-fibra metálica estructural y/o macro-fibra sintética con módulos de rotura entre 4,0 y 5,5 MPa; diseñado con los objetivos de extender el espaciamiento de juntas, reducir el alabeo y mejorar la vida útil de pisos industriales y comerciales interiores construidos de acuerdo con la guía técnica ACI 302 y ACI 360.

El piso de gran formato se compone, entre otros, de los siguientes factores claves:

1. Establecimiento claro de requerimiento de contracción por secado, el cual se establece en el proceso de especificación, produciendo conceptos técnicos enmarcados en las normas: ASTM C157² (NTC 5640)³: Método estándar para evaluar cambio de longitud en concreto y mortero elaborado con cemento hidráulico; ASTM C157 modificada, ASTM C878⁴: Método estándar para expansión restringida de contracción compensada y ASTM C878 modificada.
2. Cumplimiento de resistencia residual de macro-fibras; las macro-fibras sintéticas deben ser preferiblemente de poliolefina y cumplir con la normativa ASTM C 1116⁵, tipo III y ASTM D 7508⁶. Deben estar diseñadas para su uso en concreto y exhibir un valor de resistencia residual post-agrietamiento (fe3) equivalente al mínimo acero de refuerzo requerido y evaluado de acuerdo con ASTM C 1609⁷.
3. Requerimientos mínimos de resistencia de la sub-base en el momento de colocar el concreto. Módulo de reacción de sub-rasante.

2: ASTM C157M-17 Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete: Método de prueba estándar para cambio de longitud de mortero de cemento hidráulico endurecido y concreto.

3: NTC 5640-08: Cambio longitudinal del mortero y el concreto de cemento hidráulico endurecido.

4: ASTM C878M-14a: Standard Test Method for Restrained Expansion of Shrinkage-Compensating Concrete: Método de prueba estándar para la expansión restringida de hormigón compensador por contracción.

5: ASTM C 1116: Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete: Especificación estándar para concreto reforzado con fibras.

6: ASTM D7508M-10: Standard Specification for Polyolefin Chopped Strands for Use in Concrete: especificación estándar para hilos cortados de poliolefina para uso en concreto.

7: ASTM C1609M-19: Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)

4. Seguimiento de guía de curado con base en los lineamientos establecidos en la guía ACI 223 y/o por el proveedor de tecnología de que permite compensar la contracción.
5. Establecimiento de las Juntas de aislamiento.
6. Seguimiento de prácticas constructivas claras durante los procesos de preparación de la superficie, colocación del concreto de contracción compensada para piso industrial, operación especial de curado con agua preferible y más indicado cuando se adiciona componente tipo G, corte de juntas en el momento indicado, entre otros. Un paso a paso del proyecto debe discutirse previamente entre los que intervienen en la ejecución en obra
7. Uso de láminas de aislamiento como las láminas deslizantes de mínimo 10 mil de espesor de polietileno, entre la base granular y la losa de concreto sobre terreno en toda ubicación que no tendrá barrera de vapor para reducir la fricción entre los dos elementos de construcción.

↓ Foto 3. Espaciamiento de juntas en pisos de concreto.
CORTESÍA TOXEMENT S.A.





↑ Foto 4. Colegio Marymount, Bogotá, Colombia. Losa de gran formato (e=15 cm; dimensiones 30 cm x 18 cm).
CORTESÍA TOXEMENT S.A

Las mejores prácticas de diseño y construcción enseñan que los proyectos de amplia magnitud requieren enfoque y procesos claros de administración, diseño y especificación y, finalmente, las mejores prácticas de construcción e ingeniería.

En relación con el enfoque y proceso de administración se sugiere la creación de un comité antes de la construcción de obra. En el mismo se evalúan todos los criterios desde fabricación de concreto, transporte, colocación, operaciones de acabado, curado y modelación de juntas de expansión.

Los criterios de diseño y especificación deben ser validados con resultados de estudios previos y ensayos industriales piloto. Deben seguirse todos los criterios para el control de calidad del concreto, incluyendo los específicos para concretos de contracción compensada y reforzados con fibras.

Debe contarse con un contratista ejecutor de obras de pisos de gran formato con amplia experiencia, y con suficiente cantidad de personal que permita el buen manejo del concreto. Este personal debe tener

certificación ACI como instaladores de pisos planos industriales de concreto. Se requiere experiencia en instalación de pisos industriales y entrenamiento previo en procedimientos constructivos siguiendo las indicaciones establecidas en la guía ACI 223 para concreto de contracción compensada.

Existen múltiples experiencias documentadas de pisos de gran formato en diferentes aplicaciones típicas de pisos industriales de losas sobre terreno, construidas para bodegas, centros de distribución, plantas de manufactura y grandes superficies. Por tratarse de un sistema especializado, el éxito de este tipo de proyectos radica en un acompañamiento detallado del paso a paso de la obra, el establecimiento de documentos que permitan validar el proceso de diseño, la especificación y configuración del diseño de mezcla de concreto, el proceso constructivo y la selección de los mejores materiales. Se tiene, además, el respaldo normativo que ha sido modificado siguiendo las condiciones propias de aplicación o exigidas por proyecto. 

Avances tecnológicos de materiales para refuerzo

Placas estructurales reforzadas con fibras de acero

Ing. Marco Javier Suárez, Ingeniería Estructural S.A.S.
Ing. Liliana Cardona Vale, Dramix Colombia Bekaert

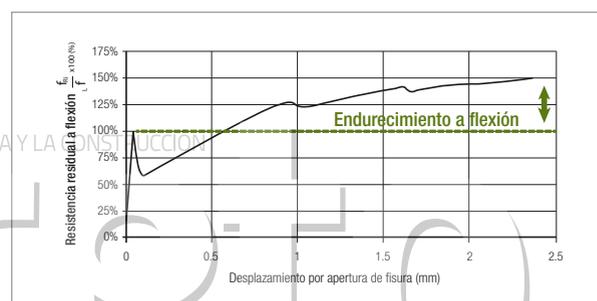


↑ Foto 1. Zona de producción.
ING. MARCO JAVIER SUÁREZ
INGENIERÍA ESTRUCTURAL S.A.S.

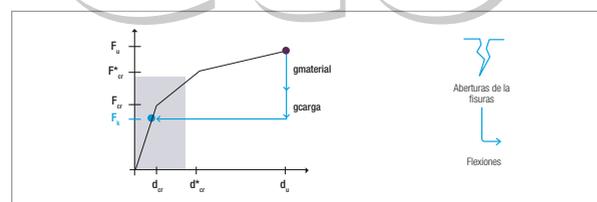
Cuando se habla de fibras de acero, se piensa ante todo en una placa apoyada sobre terreno, en un elemento prefabricado, o en un concreto lanzado para revestimiento primario de un túnel, o una mina. Sin embargo, los avances tecnológicos y de fabricación hacen de las fibras de acero el principal refuerzo actual en aplicaciones estructurales para placas de cimentación de estanterías autoportantes, placas apoyadas sobre pilotes, pasillos sin juntas o pisos infinitos sin junta alguna.

La evolución se concentra en dos puntos importantes: primero, en las características de la fabricación de la fibra y segundo, en la filosofía de diseño.

En el caso particular de las placas apoyadas sobre pilotes, el reforzamiento puede llegar a ser 100% de fibras de acero o una combinación con el acero convencional. La principal ventaja de las fibras de acero ya conocidas en Colombia para la construcción de pisos industriales, es que el refuerzo se integra directamente en la mezcla del concreto. Esto se refleja de forma importante en el proceso de instalación y en la calidad



↑ Figura 1. Resistencia a la flexión con respecto al desplazamiento de fisura.
BEKAERT BUILDING PRODUCTS. FIBRAS DRAMIX

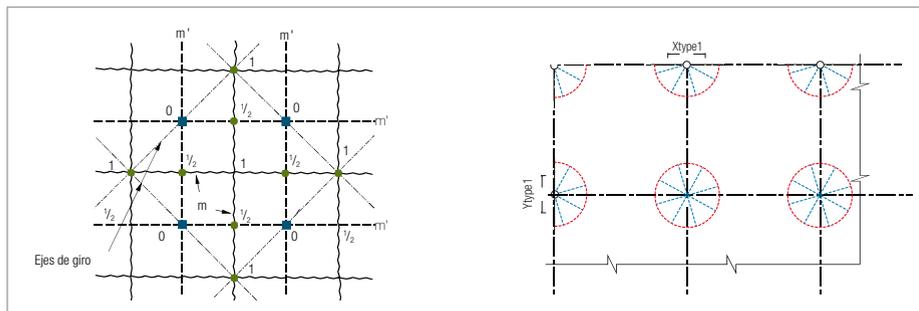


↑ Figura 2. Principios básicos de diseño para placas apoyadas sobre pilotes.
BEKAERT BUILDING PRODUCTS. FIBRAS DRAMIX

de la placa con diferentes ventajas, entre ellas: facilidad, logística, manipulación rápida, seguridad de trabajadores en obra, reducción en los tiempos de ejecución del proyecto y la presencia de acero en todo el espesor de la placa trabajando en 3 dimensiones.

Características de la fabricación de fibra

A diferencia de las fibras metálicas usadas en placas apoyadas sobre terreno, las fibras utilizadas en placas apoyadas sobre pilotes, deben tener gran resistencia elástica (superior a 2.200 N/mm²), compuestas por alambre de gran ductilidad con una importante capacidad de elongación (mayor al 6%) y contar con propiedades perfectas de anclaje. Estas características redundan en un material de construcción de altas presiones: un concreto con fibra de acero endurecido por flexión con volúmenes de dosificación controlados.



↑ Figura 3. Equilibrio de trabajo realizado. BEKAERT BUILDING PRODUCTS. FIBRAS DRAMIX

El diseño de placas estructurales apoyadas sobre pilotes reforzados con fibras de acero, se realiza con base en la teoría de la línea de elasticidad, la cual proviene del Eurocódigo¹, que analiza y establece la capacidad de carga o el estado de límite definitivo de una estructura.

La capacidad del momento de flexión necesaria se calcula a partir de la teoría de línea de elasticidad (cf. publicación de Kennedy y Goodchild, 2004).

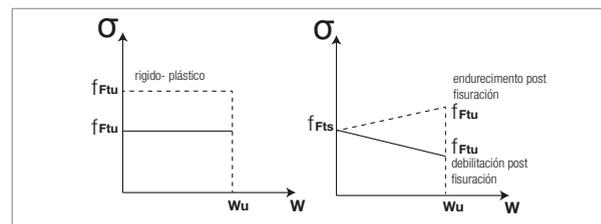
La teoría de línea de elasticidad es la manera más fácil y más utilizada de aplicar a través del método de trabajo virtual. El análisis de la línea de fluencia se basa en el equilibrio del trabajo realizado por una fuerza externa que recorre una distancia y las rotaciones alrededor de rotulas plásticas que resisten esa fuerza externa.

→ Figura 4. Fuerzas de resistencia. BEKAERT BUILDING PRODUCTS. FIBRAS DRAMIX

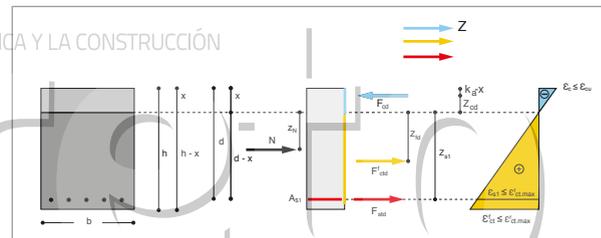
El diseño de las fuerzas de resistencia, las cuales son todas las fuerzas que se generan por las cargas que se transmiten a los pilotes, se basa en directrices aprobadas internacionalmente y en estándares como Modelcode 2010² y la directriz DAfStb³ para el concreto con fibra de acero.

60 cm de diámetro y 30 m de longitud trabajando por fricción y por punta, y una dosificación de fibra metálica de triple anclaje, de 30 kg/m³, con una parrilla superior adicional en varilla de 1/2" de acuerdo con el diseño establecido.

Desde la etapa de diseño se consideró el uso de fibras de acero de alto desempeño estructural como refuerzo principal de la losa, buscando un mejor comportamiento de la misma, debido a la alta sollicitación de carga por metro cuadrado y considerando entre otros factores que al utilizar refuerzo convencional, las dimensiones de los elementos y la cuantía de refuerzo resultante hacía complejo el armado y fundida del concreto masivo sin prever juntas de dilatación.



→ Figura 5. Leyes FIB 2010. BEKAERT BUILDING PRODUCTS. FIBRAS DRAMIX



Experiencia en Colombia

En cercanías al municipio de Tocancipa, localizado aproximadamente a 30 km del norte de Bogotá, se construyó en el segundo semestre de 2018 una fábrica de envases de aluminio para una compañía cervecera con un área de construcción cercana a 42.000 m². En el proyecto se utilizaron fibras metálicas tanto en la zona de Almacenamiento como en la zona de Producción.

En la zona de Producción específicamente, se construyeron placas de piso en dos áreas con cargas especiales. Una placa maciza con un área en planta de 2.040 m² con 60 cm de espesor y una capacidad de almacenamiento de 25 T/m², apoyada sobre pilotes de 80 cm de diámetro y 30 m de longitud trabajando por fricción y por punta, y con una dosificación de fibra metálica de triple anclaje, de 30 kg/m³, con una parrilla superior adicional en varilla de 1/2" de acuerdo con el diseño establecido.

Y una segunda placa maciza con un área en planta de 565 m² con 50 cm de espesor y una capacidad de almacenamiento de 10 T/m², apoyada sobre pilotes de

Así mismo, al utilizar la fibra metálica se logra una mayor durabilidad, un mejor control de fisuración del concreto, agilidad y facilidad en el armado y fundida del mismo. Conociendo las ventajas del desempeño de las fibras de acero y con base en experiencias de proyectos similares con resultados satisfactorios en Colombia, Panamá, México, Estados Unidos y Europa, se optó por utilizar en este proyecto este tipo de tecnología. La reducción de costo de esta alternativa versus la especificación con placa reforzada convencionalmente, se estima que estuvo entre el 25 % y 30%.

Además de las conocidas ventajas del concreto reforzado con fibras, se eliminó la capa adicional de recebo o material granular, una vez densificado el terreno con los pilotes y se obtuvo una reducción en los tiempos de ejecución mayores al 30%, ya que solo tomo una semana la preparación y construcción de la placa después de construidos los pilotes. La colocación del concreto se realizó con autobomba, fundiendo la placa en su totalidad durante dos días consecutivos, sin que se presentara ningún inconveniente ni con los equipos ni con el manejo del concreto.

El concreto reforzado con fibras de acero utilizado en placas estructurales o cimentaciones, ofrece, además de un óptimo desempeño, una mayor durabilidad del concreto, la disminución de costos y una reducción de tiempos de ejecución.

1: Eurocódigo: conjunto de normas europeas para la ingeniería de carácter voluntario, redactadas por el Comité Europeo de Normalización (CEN) y que unifican criterios y normativas en las materias de diseño, cálculo y dimensionado de estructuras y elementos prefabricados para edificación.
 2: Model Code for Concrete Structures 2010 – FIB Fédération internationale du béton: El Código Modelo de Fibra para Estructuras de Concreto 2010 - Federación Internacional para el Hormigón Estructural
 3: Herzlich willkommen beim Deutschen Ausschuss für Stahlbeton: Comité alemán para concreto armado.



PLANTA PARA TRATAMIENTO DE RESIDUOS. VALENCIA

Lugar: Valencia, España

Año: 2012

La Planta para Tratamiento de Residuos (PTR) ubicada en los límites de la ciudad de Valencia, es concebida como un equipamiento público y no como una instalación molesta, incorporando un centro de visitantes y un área educativa para hacer visibles las posibilidades energéticas y medioambientales de la planta y concienciar a los ciudadanos, también implicados en la gestión de las basuras. El proyecto construye un fragmento de ciudad a través de una pequeña plaza de acceso, un lugar público de encuentro y de reunión para trabajadores y visitantes, donde el agua y la vegetación, adquieren gran importancia.

La Planta de Tratamiento trabaja a favor de la gravedad, a partir del óptimo aprovechamiento de las condiciones topográficas y del acceso al emplazamiento elegido; maneja un total de 450.000 toneladas anuales de todo tipo residuos urbanos para lo cual se dispone de cuatro bandas longitudinales que responden a la logística interna del proceso de tratamiento como a la necesidad de disponer de luz natural para las labores internas de trabajo. Junto con el concreto, materiales como vidrio, policarbonato, membranas impermeabilizantes y materiales metálicos, componen la estructura y fachada arquitectónica de la planta.



© ISRAEL ALBA

© ISRAEL ALBA

Concreto arquitectónico para usos industriales: Aportes funcionales

Arquitecto Luis Guillermo Peláez B., Cementos Argos Colombia.



↑ Foto 1. Concreto a la vista en construcciones industriales.
FLICKR - KECKO

Hoy la pregunta **no** es si el **concreto arquitectónico** va a ser **más estético**, sino **cuánto ahorro se va a tener durante la vida útil de la obra** por el uso del **concreto blanco o claro**.

Introducción

En nuestros días, los alcances del concreto arquitectónico van mucho más allá de lo estético por ser un material que permite aplicaciones de carácter netamente funcional, que aportan interesantes aspectos a la sostenibilidad de los proyectos, tanto en el proceso constructivo como durante la vida útil de las obras: por ejemplo, mayor velocidad constructiva por reducción de actividades de acabado pasando por las mejoras en eficiencias térmicas y lumínicas, incremento de factores de seguridad, mayor asepsia, bajos costos de mantenimiento, entre otros. Estos factores funcionales han permitido potenciar las aplicaciones de los concretos arquitectónicos con beneficios económicos evidentes y con condiciones perdurables en el tiempo.

Antecedentes

Las innovaciones en la producción y usos del concreto, con gran evolución en las mezclas de agregados, aditivos y acabados, consiguen definir una estética deseable, asequible, duradera, y llena de alternativas, especialmente en comparación con otros materiales de construcción más costosos. El concreto no solo ha cambiado desde el propio material y sus procesos de construcción, sino también a partir de nuevas prestaciones y de la expansión de beneficios en su comportamiento; ha incursionado en mundos nuevos y extraños más allá de los materiales para

la construcción porque se convierte en un material de creatividad, por lo cual es abordado por una serie de nuevos profesionales (incluyendo a artistas y diseñadores), que lo han sometido a exigencias plásticas, funcionales y estéticas nunca antes contempladas. Frente a los retos, el concreto ofrece una excelente respuesta a nuevas aplicaciones y cambia la tradicional percepción cultural del material.

Basta con visualizar algunas aplicaciones a partir de la tecnología del concreto, pasando por la química de sus componentes (principalmente los aditivos y adiciones), complementado con la evolución en los materiales de moldes con alto nivel de reproducibilidad y exactitud formal, y por el desarrollo de los equipos y herramientas complementarias. Con ellas el material ha migrado satisfactoriamente a campos donde recobra con creces su concepción de material noble –negada en sus inicios históricos– e incluso incursionando en la gama de materiales de alta tecnología por su conocimiento, difusión y comportamiento frente a exigencias modernas.

Según el Instituto Americano del Concreto (ACI), el concreto arquitectónico es aquel cuya superficie es visible con una función estética predeterminada y cuya masa atiende requisitos físicos, mecánicos y de durabilidad. Dicho de otro modo, es todo aquel concreto que, además de cumplir sus características de resistencia y durabilidad (propias del uso ingenieril del material), aporta unos factores estéticos o de apariencia (propios del aspecto arquitectónico del concreto) y que, por dicha razón, permite una finalidad estética adicional en su aplicación. Dentro de este concepto aparecen las variables de concretos arquitectónicos blancos o claros, en cuya elaboración se utiliza cemento blanco y/o agregados claros o de color.

Recursividad del concreto arquitectónico blanco o claro

El concreto arquitectónico es la máxima expresión de los componentes del concreto, utilizados para brindar variaciones en forma, color y texturas. El color y la textura pueden convertirse en elementos de diseño sostenible que aportan valores que van más allá de la estética. En ese mundo de posibilidades surge el cemento blanco que añade ventajas y beneficios al concreto, basado principalmente en su menor tamaño de partícula y mejor color.

Por el menor tamaño de partícula, el concreto elaborado con cemento blanco logra, en general, mejoras en el proceso constructivo y en el manejo de moldes o formaletas. Gracias al mejor color que aporta el cemento blanco se pueden alcanzar la mayoría de las ventajas en términos de sostenibilidad y vida útil de los proyectos.

Durante su historia el concreto ha sido llamado **piedra artificial, piedra líquida, o piedra moldeable. Actualmente, y con base en los desarrollos y prestaciones del material y sus múltiples aplicaciones, es considerado un recurso de alta tecnología, la piedra del futuro.**

Funcionalidad más allá de la estética

Para detallar el análisis de los factores funcionales del concreto blanco o claro, se clasifican sus aportes bajo las premisas que suceden durante el proceso constructivo y las que hacen parte de la vida útil del proyecto.

Aportes durante el proceso constructivo

a. Mayor velocidad en el proceso de construcción.

Dados los valores de resistencias superiores del concreto arquitectónico elaborado con cemento blanco, en casi todas las edades se obtienen ahorros muy significativos en tiempos de ejecución y costos de actividades; los menores tiempos de fraguado del cemento blanco también permiten acelerar la velocidad en el proceso constructivo. El concreto blanco presenta un desarrollo alto y rápido de resistencias iniciales, permitiendo mayor rotación de moldes y formaletas, más velocidad de obra y pronta apertura al servicio de las estructuras, mayor rendimiento de la mezcla con mejores características de manejabilidad y adherencia (en el caso de los morteros), mejor apariencia de las superficies y menor permeabilidad por acomodación de partículas, entre otras.

b. **Disminución de actividades de obra.** Con el concreto blanco/claro se eliminan una cantidad de actividades constructivas en obra, debido a la no necesidad de realizar revoques (repellos, pañetes), estucos y actividades de pintura. Se obtienen ahorros de tiempo, materiales y mano de obra. Esto es válido para morteros, prefabricados y concretos. De igual manera, debido a la mencionada resistencia mayor de este concreto, se pueden redimensionar elementos estructurales con menos consumos de materiales e insumos, reduciendo cuantías de acero de refuerzo, menores áreas de formaletas y volúmenes del concreto, con verificación del ingeniero calculista.

c. **Múltiples acabados y texturas.** Los concretos blancos /claros resaltan las condiciones arquitectónicas con base en procesos de acabados directos o indirectos que, por su alta uniformidad en el color, homogeneidad y plasticidad en el concreto, logra superficies más tersas y de mejor acabado. Esta característica se puede ver reflejada en usos que requieran altos niveles de asepsia como hospitales, centros de salud e industrias alimenticias, entre

Los **procesos de industrialización** en la construcción y las mejoras en el conocimiento de la química del concreto han significado **grandes avances en los resultados del material**, lo cual permite gran cantidad de **nuevas aplicaciones del concreto**, algunas de ellas nunca antes pensadas.

otras, que a su vez garanticen condiciones para fácil limpieza y mantenimiento.

En el campo de aplicaciones para espacios públicos, plazuelas, grandes parques temáticos, grandes superficies, etc., el concreto decorativo y sus múltiples acabados, colores y texturas, son una alternativa económica a lo natural, pues imita y reemplaza materiales como piedra, madera, arcilla, etc., que en la mayoría de los casos son más caros por metro cuadrado y porque siempre tienen procesos de mantenimiento o reposición más frecuentes y costosos para el proyecto o para la ciudad.

La mejor acomodación de partículas del concreto blanco garantiza una buena densidad superficial y un buen comportamiento frente a la intemperie, lo que se traduce en mejor apariencia y estabilidad de la obra con menor costo de mantenimiento.

Aportes durante la vida útil de los proyectos

El concreto es un material sostenible en diferentes temas como mitigación del efecto isla calor, ciclo de vida, múltiples opciones de reciclaje, etc. En este campo destaca el aporte bioclimático del concreto blanco/claro por sus altos valores favorables, a saber:

a. Mayor nivel de reflectancia lumínica. El color genera sensación de espacios más amplios, seguros y confortables, logrando ahorros energéticos por las superficies más luminosas y reflectivas que brinda. Entre más clara sea la superficie, más elevado será el nivel de reflectancia de la luz, ofreciendo al mismo tiempo mejor iluminación y adicionalmente un ambiente más fresco por la poca absorción térmica.

Con el uso de concretos base cemento blanco se logran superficies blancas o más claras que resaltan los detalles arquitectónicos y reducen al mismo tiempo muchas actividades de acabado, integrando color y textura en el proceso de producción del concreto. Cuando se buscan colores aplicando aditivos colorantes, es posible lograr colores más intensos con menores consumos de pigmentos; en el caso del concreto blanco se utilizan dosificaciones menores de pigmento respecto al peso del cemento, del orden del 3% para obtener colores vivos.

Al comparar los colores de concretos se obtuvo que los niveles de reflexión de luz del concreto gris son del orden del 23,6%, mientras que la reflexión

de un concreto blanco es de 57,4% (datos de la PCA aplicados para estudio de barreras de seguridad), reduciendo la necesidad de luminarias y logrando ahorros en consumos de energía durante la vida útil de la obra.

b. Control térmico, reducción del efecto isla calor. Las zonas urbanas concentran el calor y pueden tener temperaturas hasta 5,5 °C mayores que las áreas suburbanas; lo mismo ocurre con los diversos colores de los materiales, debido a que las estructuras oscuras absorben mayor energía y la liberan como calor. El concreto claro, dado su color, permite reducir el efecto isla calor al tener superficies con temperatura más baja, lo cual es una gran ventaja para instalaciones industriales donde se trabaja con procesos o maquinaria.

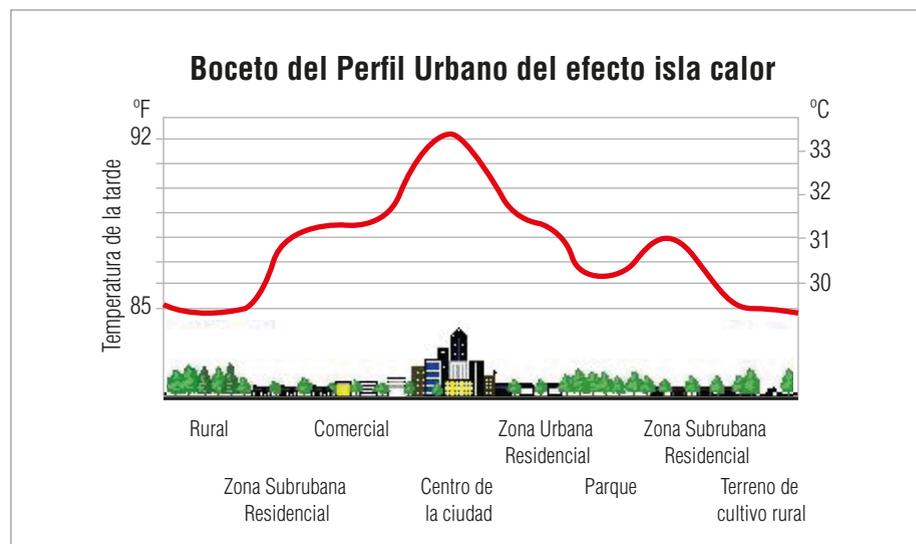
Índice de Reflectancia Solar

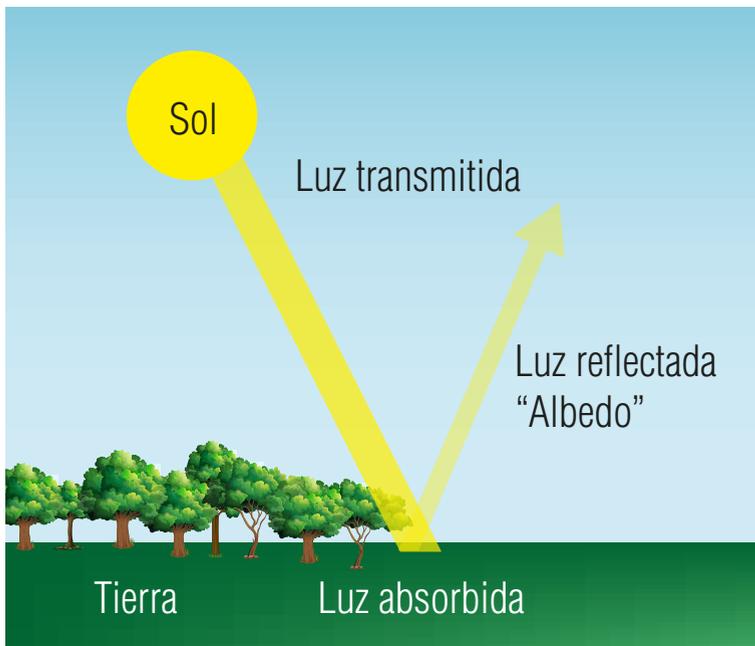
Mediante este índice (SRI) se evalúa la reflectancia de un material, utilizado por los códigos de construcción sostenible para estimar la temperatura de la superficie cuando se expone al sol. El SRI determina el efecto de la reflectancia y emisividad en la temperatura de la superficie y varía de 100 para una superficie blanca estándar a 0 para una superficie de color negro estándar, lo que indica que todos los materiales tienen la propiedad de reflejar la luz solar en mayor o menor cuantía y de absorber poco o mucho calor.

Este índice incorpora la reflectancia solar, que indica la capacidad de reflejar la radiación solar reduciendo la transmisión de calor hacia el interior del edificio y la emisividad, que indica la capacidad de radiación de la energía solar absorbida.

El concreto claro a la vista proporciona superficies reflectantes que reducen al mínimo el efecto isla de calor urbana, siendo utilizado principalmente en las superficies horizontales. Los materiales con alta reflectancia solar, como el concreto elaborado con cemento blanco brindan, un desempeño óptimo en términos de energía por su alta eficiencia lumínica,

↓ Figura 1. Perfil urbano del efecto isla calor.
NATIONAL READY MIX CONCRETE ASSOCIATION





↑ Figura 2. SRI – Índice de reflectancia lumínica.
THE SUSTAINABLE CONCRETE GUIDE. U.S GREEN CONCRETE COUNCIL, 2010

mayor confort térmico y seguridad en diferentes espacios, siento esto un factor importante en construcciones industriales.

c. **Seguridad vial.** Es inobjetable que el blanco es el mejor color para alcanzar la máxima reflectancia de la luz en cualquier lugar, especialmente allí donde sea importante la seguridad vial. Las barreras de seguridad en concreto de color blanco crean un entorno de conducción más seguro, lo que es común en zonas industriales con movimiento de tráfico pesado. Pruebas realizadas en barreras de seguridad demuestran de manera concluyente que el concreto blanco es más visible para los conductores; disminuye sombras, llama la atención visual en las zonas de cruce, incluso desde la distancia. Una comparación entre las lecturas promedio muestra que el concreto blanco es más del doble de reflectivo, incrementando todos los factores de seguridad del proyecto.

Muchas aplicaciones como senderos peatonales, bordillos, túneles, barreras de seguridad, señalética, demarcaciones, pisos en granos pulidos, cruce de circulaciones, optimizan factores de seguridad debido al uso del concreto blanco/claro. Un beneficio real del concreto blanco es que hace carreteras y calles más seguras, mejorando las condiciones para el peatón y para el conductor, a la vez que también puede embellecer el paisaje urbano. Las superficies pintadas son a menudo resbaladizas cuando están mojadas; el concreto coloreado proporciona tracción en condiciones húmedas o secas y no presenta riesgo de caídas. A diferencia de la pintura, el concreto blanco brinda color permanente y reduce la necesidad de mantenimiento, lo cual se traduce en factores de seguridad en la vida útil de la obra, ahorra dinero y reduce la interrupción del tráfico, satisfaciendo a los usuarios y dueños de los proyectos en general.

d. **Menores costos de mantenimiento.** El concreto hecho con cemento blanco tiene las mismas prestaciones que el elaborado con cemento gris bajo todas las condiciones climáticas, pero con menores costos de mantenimiento, ya que se mantiene con un sencillo proceso de limpieza con agua, pues su color es integral y no es producto de películas o aplicaciones como las

pinturas, lo que reduce costos por mantenimiento del orden del 50% frente a superficies pintadas. En el caso de las barreras de seguridad, la PCA estima que el mantenimiento anual de las barreras metálicas resulta 8 veces más costoso comparado con el mantenimiento de las barreras realizadas en concreto blanco.

Existen algunas aplicaciones especiales, entre ellas los pisos elaborados en grano pulido con concretos blancos, que son ampliamente utilizados en infraestructura aeroportuaria, hospitalaria, alimenticia y grandes superficies gracias a sus bajos costos de mantenimiento, excelente vida útil y apariencia. Es el único tipo de piso que con el tiempo y mientras más tráfico tenga, mejora su apariencia y sus condiciones de brillo.

Conclusiones y recomendaciones

Los factores que determinan el uso de los concretos arquitectónicos claros y blancos han cambiado radicalmente y ya no dependen de percepciones o gustos, sino que cada día obedecen más a la evaluación y análisis económico de nuevos modelos de negocio, que incluyen factores de sostenibilidad, bioclimática, vida útil, etc. Como se dijo al principio, está claro que ya no se pregunta si algo es “más bonito” por ser en concreto arquitectónico, sino “Qué beneficio económico” tengo en determinado proyecto, por escoger materiales sostenibles y ecológicos acordes con los tiempos modernos.

Beneficios como la disminución de costos de mantenimiento, ahorro y aprovechamiento de iluminación, control térmico y en múltiples aspectos de seguridad industrial, permiten que el uso de concretos arquitectónicos de colores claros o blancos representen una gran opción para las construcciones de uso industrial con ahorros importantes de dinero.

Bibliografía

- Departamento Técnico Argos. Concretos Claros Argos, Un aporte a la sostenibilidad. En: Folleto institucional, páginas 1 y 2.
- Departamento Técnico Argos. Cemento blanco concretero. En Ficha Técnica, Folleto Institucional, versión xx, Octubre 2017; p. 1-2
- PELAEZ, Luis. G. El concreto blanco-ocre. En: folleto de Concreto Blanco de Grupo Argos
- Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala ICCG. Concreto Verde. En: Boletín Técnico 01 ICCG. Febrero 2018. Guatemala.
- Brian Kilingsworth, Lionel Lemay, Tien Peng de la National Ready Mix Concrete Association NRMCA. Concrete’s Role in Reducing Urban Heat Islands, En: Concrete Sustainability Report, CSR09. Julio 2014 P. 1.
- Portland Cement Association PCA. White Surfaces Reflect Light Better than Darker Surfaces!. En: Concrete Report. 2000
- Portland Cement Association PCA. White Concrete: New Avenues of Safety. En: Concrete Information.
- Roads and Bridges Magazine. Concretos claros y la seguridad vial en túneles. En: Revista Noticreto #98, enero/febrero 2010. P. 8-9
- Cementos Argos, Universidad Nacional de Colombia UNAL. Módulos de ensayo. En: Folleto técnico: Evaluación Bioclimática.

BIM* digitalizando el conocimiento en proyectos industriales

Cesar Rodríguez. Constructora Concreto.

Fotos: Cortesía de Diseño IDD, Constructora Concreto.



Modelo BIM vs Proyecto real. Ecocementos.

Introducción

Es necesario cerrar la brecha que hoy existe en la productividad respecto a otras industrias, razón por la cual han empezado a surgir tendencias globales de inyección de tecnología, entre ellas la implementación de metodologías digitales como el modelado de información para la construcción, BIM (*Building Information Modeling*), “un conjunto de procesos, metodologías y estándares que permiten generar en un entorno virtual y de forma colaborativa e integrada, un modelo tridimensional de una edificación o infraestructura, con información que permita su diseño, construcción y operación”.¹ Es una herramienta que se debe articular con el conocimiento y el trabajo colaborativo.

Los índices de productividad en el sector de la construcción están por debajo de los de otras industrias. Algunos informes muestran datos como: “La productividad en el sector ha permanecido plana en los últimos 50 años”², “La industria podría aumentar su valor agregado en 1,6 billones de dólares por año”³, “Desde 1945, la industria de la manufactura, el retail y la agricultura han incrementado sus índices de productividad en 1.500%, mientras que en construcción estos apenas se han movido”.⁴

Las cifras anteriores son válidas para el sector de la construcción en general. Sin embargo, si las aplicamos al desarrollo de proyectos industriales –que incluye edificaciones donde priman la eficiencia, la optimización del espacio y la funcionalidad del diseño por encima de la estética, la formalidad y otros criterios más propios de otro tipo de proyectos– los números en cuestión son aún más críticos y, en ocasiones, inaceptables. Entendiendo que los proyectos de industria están concebidos para funcionar con maquinaria o como centros de producción, es de gran importancia que su desarrollo esté alineado con el tipo de industria que se aloje en su interior.

Industria, digitalización y adaptabilidad

Los proyectos industriales tienen la particularidad de ser construcciones que se diseñan para albergar una función específica, que puede cambiar rápidamente en el tiempo, por lo que son edificaciones que deben poder adaptarse a un nuevo uso, sin perder eficiencia.

Desarrollar este tipo de proyectos plantea el reto enorme de diseñar pensando en el presente y en el futuro, lo que implica considerar el escenario actual y otros posibles, así como todos los criterios de diseño revisados bajo términos de flexibilidad, para permitir que estas construcciones se adapten eficazmente a clientes o negocios que cambian de forma rápida y constante.

1: Definición personal construida a partir de la definición dada por el PlanBIM de Chile

2: Shaping the Future of Construction. World Economic Forum. 2016

3: Reinventing Construction: A route to higher Productivity. McKinsey & Company, 2017

4: Reinventing Construction: A route to higher Productivity. McKinsey & Company, 2017

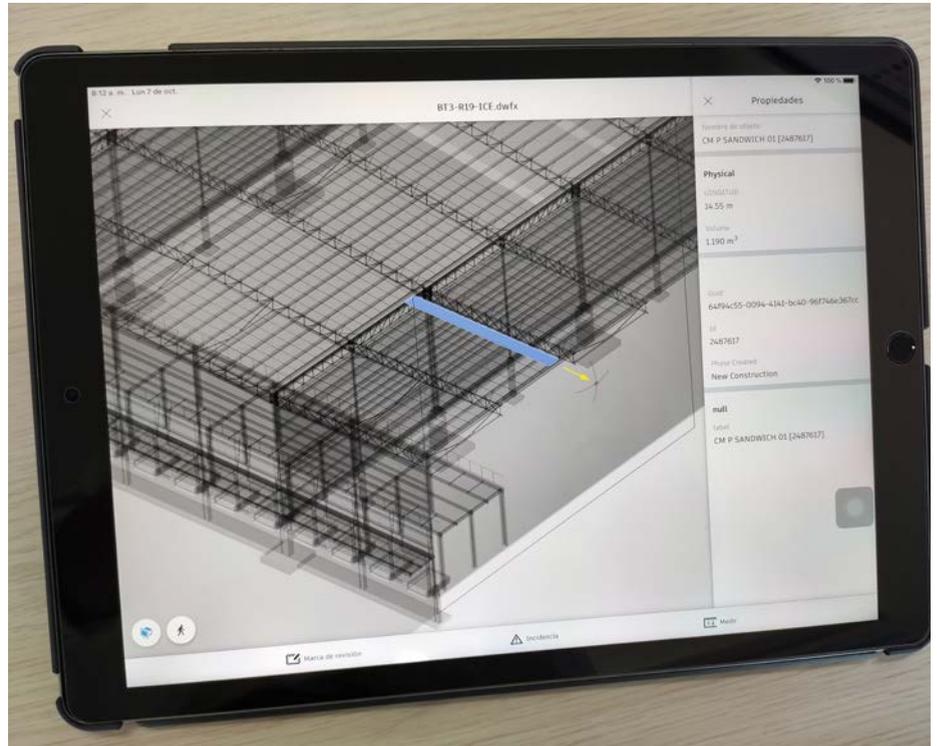
Más que un **gestor de información**, BIM debe ser un gestor de conocimiento.

En la adaptabilidad que se espera de un proyecto industrial es donde juegan un rol fundamental las metodologías digitales como BIM, que permiten simular y revisar alternativas, integrar y coordinar múltiples disciplinas y especialidades, y comunicar y gestionar con eficiencia grandes y complejos volúmenes de información.

Beneficios

La aplicación de metodologías BIM al desarrollo de proyectos de industria puede arrojar algunos beneficios como:

- Tener una representación tridimensional del proyecto permite alinear de forma oportuna entre todo el equipo de trabajo, el entendimiento sobre el producto a desarrollar, dando mucha claridad sobre los objetivos que se deben lograr.
- La interacción temprana entre los diferentes actores y la vinculación de la información de las diferentes disciplinas, permitiendo detectar oportunidades de mejora de forma anticipada.
- Al generarse toda la información de una única base de datos, ajustes a los diseños son más eficientes y se reflejan de forma más oportuna sobre las demás disciplinas y sobre los costos del proyecto.
- Detectar de forma virtual y anticipada inconsistencias entre los diseños, que de haber sido detectadas ya en el momento de la construcción podrían representar afectaciones graves en el tiempo y el costo del proyecto.
- Gestionar costos a través de modelos BIM permite tener cantidades más precisas y reales, adicionalmente, el que estas se actualicen en tiempo real por posibles ajustes a los diseños, se puede alertar posibles desviaciones en los presupuestos.
- Vincular los cronogramas de ejecución a los modelos BIM, permiten al equipo del proyecto tener una visión más clara de los tiempos y así poder tomar decisiones más oportunas en beneficio del mismo, adicional a esto, si a este proceso se vinculan los costos, los modelos BIM pueden pasar a ser verdaderos centros de control del proyecto.
- Contar con herramientas digitales para gestión de proyectos permite un mejor control de la información: tener trazabilidad de los documentos, claridad de últimas versiones para evitar ejecutar con planimetría desactualizada o errada, acceso a toda la información a través de dispositivos móviles, controlar acceso a la información, realizar comentarios o solicitar información en tiempo real, garantizar que todo el equipo del proyecto tenga acceso y pueda interactuar con modelos BIM.



Revisión modelo Revit en tablet a través de BIM 360 (Autodesk), Parque Industrial Logika, Via 40, Barranquilla - Atlántico.

LA REVISTA DE LA TÉCNICA

En general, implementar metodologías BIM, no simplemente como herramientas de visualización, sino como verdaderas bases de datos y de gestión del proyecto, permite no solo que estos puedan ser ejecutados de forma efectiva dentro de los tiempos y los costos estimados, sino más importante aún, que todos los beneficios, eficiencias, optimizaciones y aprendizajes puedan ser replicados en nuevos proyectos.

¿Digitalizando información o conocimiento?

Hablar de digitalización es hablar de tecnología y de su capacidad para manejar importantes cantidades de datos comunicados y gestionados de manera integrada, en tiempo real, desde la nube, a través de dispositivos móviles, desde diferentes países, entre otros, un sinnúmero de beneficios clave. La tecnología permite disponer de más información para la toma de decisiones. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la exposición a grandes volúmenes de información puede dificultar identificar lo que es verdaderamente útil sobre lo que no es relevante para el proyecto.

Surge entonces la pregunta: ¿Es suficiente limitarse a digitalizar la información?

Aquí es donde aparece un concepto clave: la información debe cambiar o complementar el conocimiento de la persona que la recibe, pues los datos por sí solos no generan valor; este aparece en la medida en que estos datos conversen con las necesidades de las personas. Sólo así se produce la información de valor que, a su vez, genera conocimiento.



Pensando en proyectos, no en entregables

Las construcciones industriales, por las características de funcionalidad y adaptabilidad que exige su desarrollo, deben ser abordadas de manera más integral por parte de los equipos de trabajo, para que las herramientas digitales o metodologías como BIM agreguen valor real. Lo anterior implica un cambio de esquema del trabajo individual a uno colectivo, grupal y multidisciplinario, con el fin de que los equipos de desarrollo comprendan su rol dentro de un proyecto de manera integral, interactuando entre diferentes especialidades y disciplinas para lograr incluir datos clave que –aún cuando no están dentro su alcance directo– aportan a la información que generan los demás. En ese punto se pasa de producir información a generar conocimiento, dando valor agregado al proyecto.

BIM, de la *M* del modelado a la *I* de la información

Una de las grandes apuestas del sector constructor para mejorar los índices de productividad es la implementación de la metodología BIM como habilitador tecnológico que permite, a través de una base de datos virtual del proyecto, diseñar, integrar, comunicar, simular y en general gestionar de forma eficiente y articulada toda su información y todos los actores.

La metodología BIM permite articular esos conceptos, que son los que agregan valor al desarrollo de proyectos.

*“La continua transformación de la industria de la construcción dependerá cada vez más de BIM y otras herramientas digitales. El potencial está ahí, tanto para coordinar a todos los interesados del proyecto de construcción como para facilitar los procesos de construcción en el sitio”.*⁵

*“Para apoyar el crecimiento de la productividad, los entes reguladores pueden exigir el uso de BIM para crear transparencia y colaboración en toda la industria”.*⁶

↑ Modelo BIM Colaborativo en la Plataforma BIM360® de Autodesk, Bodega Logika. Madrid, Cundinamarca.

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Aunque desde hace más de 30 años se viene hablando de BIM (es, incluso, un método prestado del sector de la manufactura, que lleva más años aplicándolo con éxito), solo en los últimos años se viene entendiendo y capitalizando su verdadero valor. Durante muchos años la construcción solo tomó de BIM el aspecto del modelado, considerándolo una herramienta de visualización para entender mejor las intenciones de diseño, así como para la simple generación de imágenes y videos. Se entendió, incluso, como una herramienta de arquitectura totalmente alejada de las oficinas de técnicas.

Ante los retos y necesidades del mercado se está pasando aceleradamente del enfoque exclusivo en la *M* a dar prioridad a la *I* (*Information* - Información) de BIM, permitiendo generar verdaderas bases de datos para la gestión de un proyecto.

Una forma diferente de desarrollar proyectos de industria

La metodología BIM ha obligado a repensar la forma de abordar los proyectos, desde la tecnología y las personas hasta en los mismos procesos. BIM ha impulsado y potencializado, además, nuevas dinámicas de contratación colaborativa como el esquema IPD (*Integrated Project Delivery* - Entrega de Proyectos Integrados) entendiendo por esto la gestión integral de proyectos en procesos colectivos y llevando al máximo la eficiencia en todas las fases de la construcción.

Este tipo de contrato multiparte integra desde el inicio los principales agentes del proyecto, lo que permite definir que, desde etapas muy tempranas, el producto esté coordinado y alineado a los costos y tiempos objetivos y la identificación oportuna de optimizaciones para el proyecto. Esta integración IPD-BIM está llevando de forma acelerada a que en los proyectos se implementen

5: Shaping the Future of Construction. World Economic Forum. 2016

6: Reinventing Construction: A route to higher Productivity. McKinsey & Company, 2017

cada vez más, metodologías de gestión como PMI, Prince, entre otras, y a que los equipos de desarrollo se familiaricen con estas prácticas y las adopten.

Digitalizando a los proveedores

BIM es una simulación del proceso constructivo de un proyecto. Así como en una construcción real se deben adquirir insumos para ejecutarlo, un modelo BIM también parte de una serie de insumos digitales, y de ahí la importancia de empezar a trabajar con los proveedores para la digitalización de sus portafolios de productos y servicios.

Como aliados estratégicos en el desarrollo del proyecto, los proveedores contribuyen a que estos modelos BIM cuenten con información suficiente y precisa, no solo para la construcción, sino para la operación misma. En proyectos industriales, parte del valor de la información, está en la posibilidad de contar con especificaciones precisas de forma oportuna.

“En proyectos industriales, el arquitecto hace un ejercicio de integración entre lo comercial y lo logístico, para filtrar la información antes de llegar a las ingenierías”⁷

En el caso de proyectos de industria, más que en otras líneas de negocio, el rigor en el desarrollo de los modelos BIM debe ser muy alto, tanto en la especificación de los componentes como en reflejar correctamente los procesos constructivos.

Simulando el conocimiento

Quizás una de las capacidades más importantes de la metodología BIM es la oportunidad de simular de manera virtual procesos, comportamientos, condiciones, etc. Para los proyectos industriales, que deben operar como máquinas sincronizadas, tiene gran importancia la implementación de estas metodologías, ya que estas simulaciones arrojan datos que permiten tomar decisiones estratégicas de forma oportuna, acá el valor BIM crece exponencialmente ya que es información que genera conocimiento.

Entre algunas tendencias o simplemente ideas sobre la manera como la simulación a través de información BIM hace aportes a los proyectos industriales se encuentran:

Logística industrial

El tema logístico asociado a las operaciones propias de las construcciones industriales es una de las variables más importantes a considerar en la etapa del diseño. En un proyecto industrial, los modelos BIM permiten a los consultores logísticos mejor entendimiento del proyecto, incluso vincular estos modelos a sus propias herramientas de análisis para obtener mejores resultados en función de la operación final.

La unión de ambas disciplinas –logística y diseño– aporta enormes posibilidades al cliente, dejándole como herramienta de gran valor y con datos

importantes un modelo BIM consolidado, con toda la información necesaria para las fases de operación, mantenimiento y gestión del activo.

Movilidad

La movilidad es un punto clave para los procesos de diseño en proyectos industriales y la tecnología BIM brinda cada vez con más herramientas para simular y obtener mejor información en este campo como, por ejemplo, maniobras de vehículos en grandes centros industriales.

Diseño generativo

Las herramientas BIM cada vez funcionan más como co-diseñadores dentro de los equipos de desarrollo, esto gracias a las nuevas herramientas de diseño generativo, las cuales permiten, a través del ingreso de datos, parámetros y variables, la generación automática de múltiples alternativas de diseño, que a su vez pueden ser evaluados a través de procesos automatizados para encontrar opciones más eficientes. El diseño generativo para proyectos industriales tiene un potencial enorme puesto que es en este tipo de construcción donde las variables de diseño responden más a criterios de eficiencia que formales. En estas metodologías hay una oportunidad enorme de enlazar diferentes tipos de información, como la logística, la técnica, la de proveedores, etc. y obtener los mejores diseños a partir de un análisis conjunto y automatizado de múltiples variables.

Objetos más inteligentes

Los modelos BIM se alimentan de objetos BIM, es decir, objetos inteligentes y paramétricos son una representación virtual del objeto real, tanto en su forma tridimensional como en su información técnica. Estos objetos pueden adaptarse a diferentes situaciones, generar alertas, detectar optimizaciones, y en general, contribuir a los procesos de diseño y gestión.

Esta inteligencia adicional de los objetos BIM tiene gran valor para los procesos de diseño en proyectos industriales: un objeto de puerta que alerte si cabe una estiba, una báscula para camiones que informa al modelo BIM si en los laterales hay espacio suficiente para que baje el conductor, objetos inteligentes de racks que alertan si la altura es excesiva, entre otras infinitas posibilidades; una cantidad de información asociada por la cual estos objetos BIM son mucho más que representación volumétrica. En este punto juegan un rol muy importante los proveedores y fabricantes, pues son los encargados

7: Francisco Restrepo. Coordinador de Arquitectura para proyectos de industria. Área de Ingeniería y Diseño Digital (IDD) de Constructora Concreto.

8: Level of development: 6 niveles, LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 350, LOD 400, LOD 500.

9: Construction stage.



← Impresora de Concreto.

de entender las necesidades del mercado, de los proyectos y del diseño como tal, para crear objetos BIM de sus productos que agreguen conocimiento a los equipos de desarrollo.

Planificando el BIM

Esta nueva manera de abordar y ver los proyectos de manera integral está exigiendo implementar metodologías en temas de gestión y planificación, por lo que aumentan día a día las empresas que están formando a sus profesionales en PMI, Prince, etc. La metodología BIM igualmente se puede considerar un sistema de gestión de proyectos, por lo que también requiere una planificación rigurosa que debe ser seguida por todo el equipo de desarrollo, de lo contrario, esta información BIM en vez de contribuir a una ejecución más eficiente del proyecto, podría generar procesos innecesarios, consumir más tiempo y recursos, arrojar datos irrelevantes y hasta convertirse en un modelo de gestión que está lejos de generar información de valor y por consiguiente conocimiento.

Para implementar BIM en un proyecto de carácter industrial es necesario tener claros algunos conceptos clave, entre ellos:

- **Desarrollo de BEP:** un Plan de Ejecución BIM (*BIM Execution Plan, BEP*), es uno de los documentos más importantes en la metodología BIM, ya que define ¿Para qué se va a usar BIM? y ¿Cómo se va a aplicar en el proyecto? (Usos BIM, formatos, códigos, entregables, procesos de comunicación, roles y responsabilidades, almacenamiento de la información, etc.). El BEP es la hoja de ruta BIM para todo el equipo de desarrollo.
- **Usos BIM:** a través de procesos BIM se pueden abordar infinidad de objetivos, especialidades, resultados, etc. Estos alcances están normalmente enmarcados en Usos BIM. Es vital para el proyecto entender e identificar que Usos BIM son los que podrían agregar valor. Algunos Usos BIM pueden ser válidos para un proyecto, pero no para otro;

un proyecto puede tener al comienzo Usos BIM específicos y durante su desarrollo requerir Usos BIM adicionales o eliminar otros.

- **LOD⁸ ¿Cuánto detalle es suficiente?:** el Nivel de Desarrollo LOD (*Level of Development*) es importante porque desde el comienzo debe entenderse cuál será el nivel de geometría y de información de los modelos BIM a desarrollar, buscando el equilibrio entre información de valor y exceso de información. Hay una práctica bastante común, pero equivocada, de hablar de un LOD único para el proyecto, por ejemplo: “La arquitectura se debe desarrollar en el nivel LOD 400⁹ de fase constructiva”. Debemos entender que, según el resultado que esperamos, algunos capítulos se pueden manejar en niveles de detalle muy bajos en comparación con otros, bien sea porque exigen análisis más exhaustivo o porque hay mucha probabilidad de interferencias, o por cualquier otro objetivo. Lo importante es entender dónde se concentran los esfuerzos.
- **Estándares y protocolos:** al ser BIM una metodología que busca un desarrollo colaborativo e integrado, de proyectos donde se articulan diversos actores, con BIM es fundamental definir desde el principio y con precisión las reglas de juego y contar con los documentos necesarios para que ellas sean claras. (Codificación de elementos, códigos de disciplinas, sistemas de dibujo y representación, parametrizaciones de herramientas, etc.)

Aunque el BEP y los Protocolos BIM pueden sonar similares, son documentos separados, con objetivos diferentes y específicos, sin dejar de lado que ambos están estrechamente ligados y son complementarios. El BEP es específico para cada proyecto y debe ser cumplido por todo el equipo de desarrollo, con independencia de la disciplina o del rol. El Protocolo BIM es un estándar de compañía válido para todos los proyectos y que puede ser específico de una especialidad.

Algunas conclusiones

La digitalización es útil y esencial para proyectos industriales, siempre que sirva para generar y gestionar conocimiento que se traduzca en beneficios y optimizaciones para el proyecto.

Metodologías como BIM generan verdaderos beneficios dentro de los proyectos, en la medida en que estos se empiecen a abordar de manera más integral por todos los actores comprometidos en su desarrollo, solo así, se podrán alcanzar esas mejoras en eficiencia, calidad y oportunidad de la información, calidad de los proyectos, integración de las personas, y en construir y gestionar digitalmente información para generar conocimiento, permitiendo subir los niveles de productividad en el sector. 



En todas tus obras, siempre preocúpate por:

- ✓ Tramitar legalmente todos tu permisos y licencias.
- ✓ Contar con proveedores de acero, cemento y concreto formales y que te den respaldo.
- ✓ Estar al día en el pago de impuestos, emitiendo y exigiendo los documentos legales.
- ✓ Contar con profesionales idóneos y experimentados en diseño, construcción y supervisión.
- ✓ Hacer todos los ensayos de control de calidad de los materiales de acuerdo a la NSR-10 y a las Normas Técnicas correspondientes, en laboratorios confiables y acreditados.
- ✓ Verificar el origen legal de los insumos, en especial de arenas y gravas.
- ✓ Contratar personas y empresas con los requisitos de ley en cuanto aportes a la salud y a la seguridad social.
- ✓ En materiales que cuentan con reglamento técnico como acero de refuerzo y malla electrosoldada, asegurarse de pedir el certificado.



Con esto, se protege la vida, se cuida el patrimonio de los colombianos y se impulsa la economía nacional

UNA CAMPAÑA CON EL APOYO DE



Ensayos de laboratorio

¿Cómo asegurar y controlar la calidad en pisos industriales?

Ing. Sandra Reinaguerra, Laboratorio del Concreto, Asocreto

Fotos cortesía de Asocreto.



← Foto 1: Ensayo de cambio de longitud.

El término *pisos industriales* recoge una amplia gama de posibilidades, desde

losas continuas simplemente apoyadas sobre el terreno, pasando por pisos de contracción controlada, contracción compensada, reforzados con macro-fibras, postensados, diseñados con base en la resistencia a la flexión (NTC 2871) o a la compresión (NTC 673). Por tal motivo deben definirse ante todo las ventajas técnicas y económicas de las alternativas disponibles y con base en ellas, determinar los ensayos aplicables a la técnica seleccionada para cada proyecto. Inicialmente, en la etapa de diseño deberá tenerse información acerca del comportamiento del material con el fin de realizar esta actividad con la mayor certeza de contar con el material adecuado para la construcción del piso. Parte de las especificaciones definidas en el diseño se convertirán en los ensayos de control para garantizar el cumplimiento de normativa y diseño durante la obra.

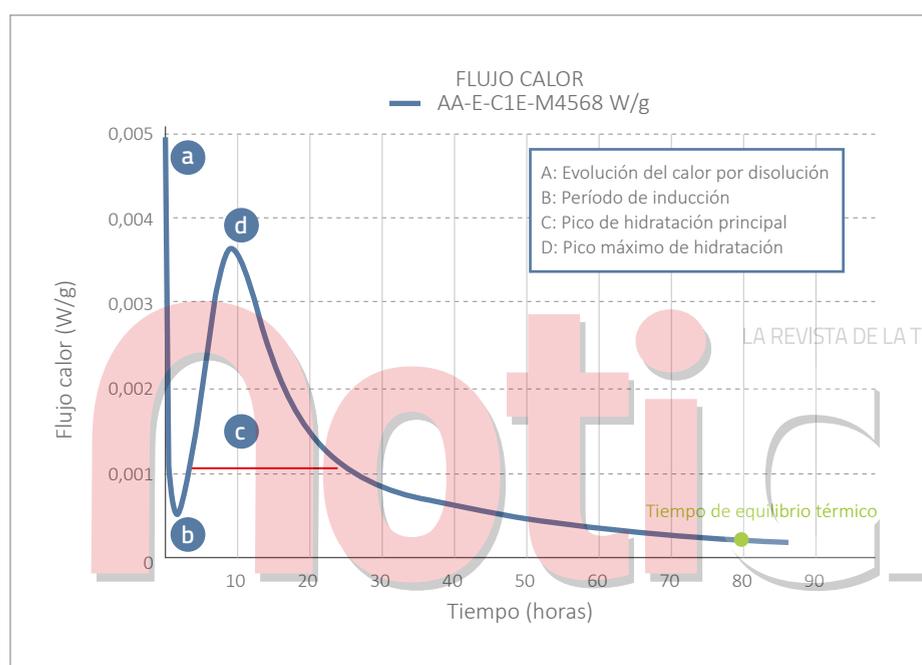
En la etapa de diseño se determinan las especificaciones necesarias para el correcto funcionamiento de los pisos que dependerán del sistema constructivo escogido. Algunas especificaciones definidas por el diseño son: capacidad de soporte de la base, resistencia a compresión o a flexión del concreto, según sea el caso.

Se mencionan a continuación algunas actividades y ensayos que deben incluirse en el plan de calidad de la obra y que resultan particularmente útiles para garantizar un buen diseño y ejecución de los pisos industriales:

- **Diseño de la mezcla:** es de gran importancia contar con una caracterización completa de los materiales con los cuales diseñará la mezcla (cemento, arena, gravas y comportamiento de los aditivos), ya que algunas características de los materiales influyen en la especificación del piso, que en ocasiones

puede ser muy compleja, dependiendo del uso que tendrá y de la técnica constructiva definida para su ejecución. La composición, el calor del cemento a temprana edad, la gradación, el tamaño máximo de los agregados, el impacto de los aditivos en el fraguado de la mezcla y la contracción del material son, entre otras, algunas especificaciones determinantes del diseño de la mezcla.

- **Micro-calorimetría Isotérmica por inducción (ASTM C1679):** permite determinar la cinética de la reacción del cemento o de las mezclas de cementantes a temprana edad (72 horas) para conocer la actividad térmica no solo del cemento y adiciones, sino también de su reacción con los aditivos, permitiendo visualizar las temperaturas máximas de las reacciones y el tiempo en que se dan. Con el fin de evitar la aparición de fisuras por cambios térmicos, este ensayo permite visualizar las reacciones que favorecen o desfavorecen el comportamiento del material instalado con base en su diseño.



↑ Figura 1. Comportamiento térmico a edades tempranas.

- **Plasticidad necesaria para la colocación (NTC 396):** con el ensayo de asentamiento es posible determinar si el concreto está siendo entregado dentro de la especificación, con un grado de uniformidad previamente definido, tiempo de plasticidad con el que se realiza el proceso de instalación y acabado del piso en conjunto con el tiempo de fraguado del concreto (NTC 890) que está directamente relacionado con el tipo de acabado que se dará al piso según el diseño; por ejemplo, el uso de diversos materiales que se incrustan en el concreto para obtener la dureza necesaria y lograr resistencia a la erosión o el método de allanado con equipos que requieren ser soportados por el concreto sin deformarse pero permitiendo su acabado y planicidad, según el diseño.
- **Ensayos de exudación (NTC 1294) y de contenido de aire a través del método de presión (NTC 1032):** son fundamentales para la buena aplicación de los endurecedores, debido a que la exudación del concreto es necesaria para la buena aplicación de este tipo de productos y a que altos contenidos de aire podrían con el tiempo de-laminar la superficie del piso con endurecedor.
- **Ensayo de cambio de longitud del concreto endurecido (NTC 5640):** está directamente relacionado con la contracción de piso y proporciona información complementaria para determinar la longitud de corte y lograr, en el caso de pisos industriales, losas de gran tamaño, evitar un número importante de juntas y facilitar la operación de los equipos de carga.

- **Ensayos de resistencia a la compresión (NTC 673) o a la flexión (NTC 2871):** La resistencia a la compresión tiene gran relevancia cuando la técnica constructiva es el postensado, por la importancia de la curva inicial que representa el desarrollo de la resistencia, la cual debe ser congruente con las operaciones de tensionamiento, que pueden incluso iniciar a 24 horas y que terminan en el plazo definido por el diseño, que muchas veces está relacionado con edades comprendidas entre 3 y 7 días; en estos casos los cuidados en el ensayo y el transporte son fundamentales para determinar resistencias tempranas más precisas.

Cuando la flexión es el parámetro de resistencia definido por el diseño, siempre habrá la posibilidad de realizar un tramo de prueba en el que se definan las correlaciones entre compresión y flexión para que sea la compresión el parámetro de control ya que, por ser este uno de los ensayos de mayor aplicación, la mayoría de laboratorios disponen de técnicos expertos. Sin embargo, cuando se define un control basado en el ensayo de flexión se deben realizar revisiones periódicas de los moldes empleados para la elaboración de la muestra y su capacidad para reproducir prismas con adecuado paralelismo entre sus caras y cumplir con prácticas de ensayos que no descuiden detalle de los parámetros exigidos por la norma, para disminuir el riesgo de altas desviaciones en los resultados obtenidos.

- **Control de la relación del contenido de fibras en el concreto (NTC 6289):** los pisos por diseño pueden contemplar en sus especificaciones el uso de macrofibras, y en ocasiones el constructor tiene dudas sobre la dosificación de las fibras. La NTC 6289 permite estimar, como parte del control del concreto entregado en obra, la relación del contenido de fibras, que puede ser determinado en concreto fresco para fibras poliméricas y de acero o en concreto endurecido para fibras de acero.

Finalmente, una vez se tenga terminada la losa de determinado proyecto, existen métodos como el Geo Radar Utility Scan GPR, que permite además de la identificación de tuberías de servicios y su ubicación con el fin de poder proteger las redes sin causar daños y a su vez planificar sus debidos traslados a futuro, también identifica los espesores de las capas de diferentes materiales en caso de una futura inspección.

- Los ensayos arriba relacionados son los más determinantes para el diseño y control en construcción de los pisos industriales, aunque no son los únicos. Con la evolución y el estado del arte de este tipo de construcciones, se cuenta hoy en día con pisos industriales cada vez mejor diseñados, especificados y construidos, para lo cual los laboratorios han sido vitales en el apoyo para ese crecimiento, desarrollo y aprendizaje.

Rehabilitación en construcciones para industria de hidrocarburos

Ing. Carlos Arcila López, DURALAB S.A.S.

Fotos: Cortesía de Ing. Miguel García Mulford

La infraestructura de un país constituye parte fundamental de su riqueza, de sus ingresos y de su desarrollo. Por dichas razones es de vital importancia generar proyectos integrales donde el diseño estructural y las consideraciones de durabilidad ocupen un lugar preponderante en la etapa inicial de diseño y costeo de la obra.

Existen en la actualidad diversas obras de infraestructura vial que muestran graves problemas externos y preocupantes señales de carencia de una adecuada elaboración de los estudios del proceso constructivo que llegan al extremo de mostrar defectos importantes de la obra antes de entrar en uso.

Los códigos vigentes de diseño de estructuras cubren con suficiencia la mecánica del cálculo estructural. Sin embargo, se debe hacer un enfoque más profundo sobre la durabilidad de las estructuras de concreto teniendo en cuenta las condiciones climáticas particulares y únicas que presenta el territorio colombiano. Por otra parte, mantener en buen estado las obras de infraestructura existentes es vital para evitar costosas intervenciones y parálisis de las actividades productivas, para lo cual es necesaria la evaluación permanente de las estructuras, aunque no presenten síntomas visibles de deterioro, lo cual evitará graves consecuencias una vez se haga visible el daño o que, en su defecto, exista una condición de inseguridad para su servicio.

Ante la importancia que representa la industria de los hidrocarburos para la economía colombiana, es clave mantener en buen estado las estructuras de concreto reforzado que componen estas instalaciones, teniendo en cuenta que algunas de las mayores instalaciones petroleras se sitúan en la costa del Caribe y en el centro del país, en Barrancabermeja, a orillas del Río Magdalena. En estas instalaciones se disputan la preponderancia las estructuras metálicas con las de concreto reforzado, pero ambos tipos de construcciones se ven sometidas a ataques severos permanentes.

Las instalaciones presentes en medio marino, además de estar expuestas a una constante carga salina del mar, están sujetas al ambiente industrial, el cual es rico en CO₂, H₂S y eventualmente cloro gaseoso. Estos procesos físicos y químicos que afectan las estructuras se ven estimulados por la temperatura y la humedad predominantes en el ambiente.

Al evaluar las estructuras de concreto reforzado deben conocerse los agresores presentes en el medio y el tipo de daño que causan, entender cómo penetran al concreto, qué tipo de intercambio químico puede ocurrir, cómo acceden al refuerzo y cuál es el mecanismo de la corrosión, sus componentes, las reacciones que tienen lugar en la estructura y sus efectos; todo esto con el fin de realizar una correcta evaluación y de orientar los ensayos más convenientes para determinar el estado de la estructura.

Al mismo tiempo, mediante ensayos de campo realizados directamente sobre la estructura o a través de los resultados de pruebas de laboratorio sobre las muestras tomadas en ella, se debe determinar la gravedad de la contaminación, el nivel del ataque, la profundidad alcanzada y la concentración del compuesto agresor. Las pruebas electroquímicas miden el potencial de corrosión y la resistividad del concreto, así como la velocidad de corrosión (cuando se cuenta con equipos que la puedan determinar), brindando un panorama adicional muy importante para definir la situación en que se hallan los procesos corrosivos en la estructura.

Surtida la etapa de evaluación viene el diagnóstico en el cual, por supuesto, juegan papeles importantes la experiencia y conocimientos sobre la mecánica del deterioro, pues a partir de esto se podrá determinar un diagnóstico apropiado para generar una estrategia adecuada de rehabilitación, en lugar de empeorar la situación de la estructura o de realizar una intervención inocua. El conocimiento sobre sistemas, productos y técnicas para controlar procesos que están causando deterioro será también fundamental

para llevar a cabo una rehabilitación apropiada desde los puntos de vista técnico y económico. Con el fin de tomar la mejor decisión con base en estas premisas es importante plantear diversas alternativas de rehabilitación con su respectivo costo y durabilidad.

Agentes agresores y daños comunes en instalaciones de hidrocarburos

De acuerdo con lo anterior, los principales contaminantes presentes en la atmósfera industrial son el CO_2 , el H_2S y el cloro gaseoso. Los dos primeros conducen a un ataque ácido al combinarse con la humedad del ambiente y la humedad en los poros del concreto, lo que da lugar al fenómeno conocido como carbonatación del concreto, que a su vez dará pie a la despasivación del acero de refuerzo en las estructuras situadas en estos ambientes, siendo este el primer paso para un proceso corrosivo cuando hay humedad y oxígeno presentes. El cloro gaseoso será responsable del segundo tipo de despasivación del refuerzo, puesto que es un compuesto generador de corrosión por picado, o de corrosión generalizada cuando el concreto es muy poroso.

A los agresores del medio debe agregarse la humedad común en nuestro territorio, particularmente en las costas y en las zonas ribereñas. El agua es el vehículo de entrada de los agresores (sales), o también es un componente de gran importancia en los procesos de deterioro como corrosión, ataque por sulfatos y reactividad álcali-agregado, entre otros. La disponibilidad de oxígeno dependerá de la porosidad del concreto, de los hormigueros producto de mala compactación, de un concreto sin la consistencia adecuada y de la presencia de fisuras.

Ensayos típicos para evaluar plantas industriales

Entre los ensayos mínimos necesarios para obtener un panorama apropiado del estado actual de una estructura en una zona industrial como la descrita se encuentran los siguientes:

Ensayos típicos para evaluar plantas industriales

- 1 Detección de la posición del acero de refuerzo y el espesor del recubrimiento.



- 2 Extracción de núcleos de concreto para determinar resistencia, módulo elástico, densidad y porosidad del concreto. También pueden requerirse para ensayos de sortividad (absorción de agua).



- 3 Apiques de verificación de refuerzo, previos a pruebas de carbonatación y determinación de las variables electroquímicas del refuerzo.



- 4 Prueba para medir la profundidad de carbonatación y el espesor de recubrimiento existente.



- 5 Toma de muestras secas para determinar en laboratorio el contenido de cloruros, sulfatos, cemento y materia orgánica (mínimo a dos profundidades, 0-3 cm y 3-6 cm).



- 6 Medida del potencial de corrosión con la celda de cobre-sulfato (corriente de corrosión).



- 7 Medida de la resistividad eléctrica del concreto (medida indirecta de la densidad del medio y la facilidad con que el concreto deja pasar iones y electrones).



- 8 Medida de la velocidad de corrosión (valores traducibles a pérdida de diámetro de refuerzo por año).



- 9 Medida de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto (para correlacionar con resistencias y determinar zonas fisuradas y su profundidad).



- 10 Medida del ancho de fisuras.



- 11 Levantamiento de lesiones.



- 12 Proyección de vida residual con los datos de carbonatación y la edad de la estructura.



Estado de la estructura

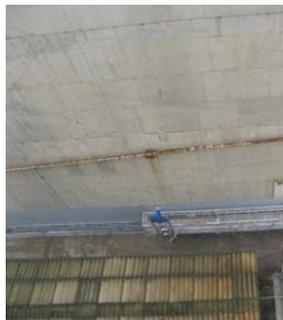
- 13** Daños típicos por corrosión en bafles de la torre enfriadora de agua.



- 14** Corrosión de refuerzo en columnas exteriores debido al bajo espesor de recubrimiento sobre flejes y la carbonatación del concreto.



- 15** Zonas con fisuras del concreto en cercanía a juntas de construcción, lixiviación de hidróxido de calcio y humedades.



- 16** Sectores con corrosión debida al ataque del CO_2 y SO_2 , y a la presencia de humedad en la torre enfriadora de agua.



Diagnóstico

En general, en este tipo de estructuras se encuentra que en las caras exteriores de los elementos evaluados a profundidades altas de carbonatación el acero más expuesto ya está despasivado; hay corrosión localizada en zonas donde hay alta humedad y menores espesores de recubrimiento, existe agrietamiento por contracción de secado en elementos de grandes dimensiones sin juntas de dilatación, y pérdida de recubrimiento superficial debida al ataque ácido y a los ciclos constantes de humedecimiento-secado. En estructuras en medio marino hay presencia de sales en cuantías cercanas o superiores a la concentración crítica, altas corrientes de corrosión en zonas con procesos activos, bajas resistividades en zonas porosas y húmedas o con presencia de sales y, en general, estructuras porosas y permeables al agua y al oxígeno.

Por ejemplo, en el interior de torres enfriadoras de agua y en tanques donde se almacena líquido que no contiene sustancias agresoras, se miden espesores bajos de carbonatación y, usualmente, el acero está en buenas condiciones. Además, la baja disponibilidad de oxígeno (debido a la permanente saturación del concreto) hace que los procesos corrosivos sean muy lentos o no se causen. En las zonas de humedecimiento-secado vuelve a tenerse un cuadro de deterioro incluso más agudo que en el exterior.

Definición de la estrategia de rehabilitación

Alemania y otros países como los nórdicos disponen de metodologías ingenieriles y concisas para la rehabilitación de estructuras de concreto reforzado y técnicas para acometer las obras de rehabilitación, que son muy diferentes a la construcción de obra nueva.

La Norma Europea EN 1504-2005 constituye la guía más completa hasta hoy de *Productos y Sistemas para la Protección y Reparación de Estructuras de Concreto*. Contiene 10 normas que van desde la EN1504-1,

donde se definen todos los términos relativos a esta actividad, pasando por: *Sistemas de protección superficial del concreto, reparación estructural y no estructural, pega estructural, inyección del concreto, anclajes, protección del refuerzo contra la corrosión, control de calidad y evaluación de conformidad, principios generales para el uso de productos y sistemas*, hasta llegar a la EN-1504-10 sobre *Aplicación en campo de productos y sistemas, y Control de calidad de los trabajos*.

En general, cuando se haya definido el alcance de la rehabilitación de la estructura, las especificaciones para cuatro actividades importantes (Sanearo del acero y del concreto, Reparación, Reforzamiento y Protección de la estructura) se conocen como especificaciones S.R.R.P. Por supuesto, habrá casos de rehabilitaciones donde no sea necesaria alguna de estas actividades, pero siempre deben revisarse en conjunto. En particular, a veces se deja de lado la actividad de protección del concreto, de tal manera que se interviene una estructura afectada por los agresores presentes en un ambiente dado, pero al terminar la rehabilitación se olvida protegerla y la historia se repetirá 10 o 15 años después.

Para la rehabilitación de torres enfriadoras de agua en la industria de hidrocarburos se puso en práctica una estrategia similar a la que se promueve en la filosofía europea de rehabilitación. En la serie de fotografías desde la 13 a la 24, se ilustra el estado de deterioro de la estructura y el proceso de rehabilitación al que fue sometida.

Las estructuras industriales deben ser objeto de monitoreo frecuente, pues evaluarlas durante el período de iniciación del ataque (10-15 años) puede significar un ahorro muy grande en costos de rehabilitación y evita paralizar la actividad productiva. Esperar a que la estructura indique por sí misma la necesidad de una intervención es la peor práctica, pues causa grandes traumatismos y dispara los costos. 

Rehabilitación de la estructura

- 17 Saneado del concreto con chorro de agua a 10.000 psi. Aunque es un método silencioso que no causa fisuración en zonas sanas, requiere grandes cantidades de agua y no deja de ser riesgoso su manejo en obra. Los rendimientos tampoco son altos.



- 18 Saneado del concreto (8-12 cm) descubriendo el acero de refuerzo hasta 2-3 cm por debajo para garantizar la adherencia del material de reparación.



- 19 El saneado se extiende hasta encontrar acero sano en una longitud de al menos 15 cm. La demolición tiene bordes rectos en caja para evitar terminaciones de reparación delgadas, que suelen fisurarse.



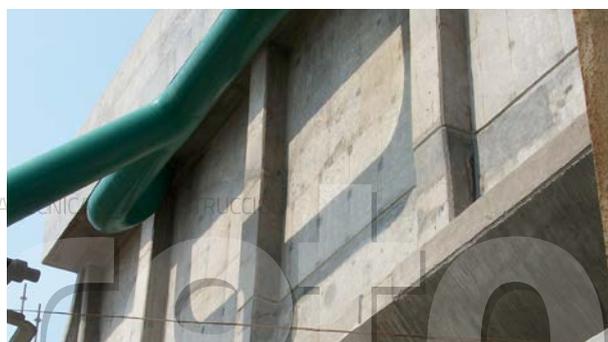
- 20 En algunos sitios la demolición es completa dado el estado de corrosión generalizado del refuerzo. No deben intervenir estructuras afectadas por corrosión haciendo parcheos, cuando toda la cara ya está afectada porque es cuestión de tiempo que el resto del área pierda el recubrimiento.



- 21 Inmediatamente se termina el saneado de concreto empieza el saneado del acero. Puede hacerse con chorro de arena húmedo (*wet-blasting*) o con chorro de agua a alta presión. Una vez se tenga limpio el acero, se recubre con un protector contra la corrosión base cemento, que impide nueva corrosión hasta cuando se repara la sección.



- 22 Zonas de baffles reparadas con concreto de altas prestaciones.



- 23 Una vez terminada la reparación se aplica un mortero de nivelación en toda la superficie como preparación para el recubrimiento protector especificado.



- 24 Aspecto de la estructura terminada la rehabilitación con recubrimiento epoxy-uretano aplicado. Este sistema brinda una protección muy efectiva y se termina con una capa de uretano, que resiste los rayos UV.



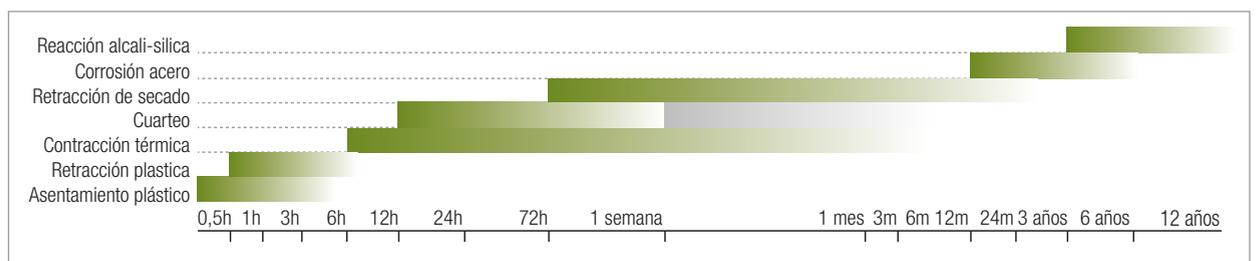
Cómo evitar las principales patologías en pisos de concreto

José Antonio Rodríguez López, Mapei Spain S.A.
Daniel Fernández Montero, Resin & Cementitious Flooring Mapei S.p.A.



↑ Foto 1. Fisuras por asentamiento plástico.
JOSE ANTONIO RODRÍGUEZ

→ Figura 1. Causas y plazos de las fisuras en el concreto.
"TIPOS Y CAUSAS DE FISURAS EN EL CONCRETO" (DAVID BEAL Y COL., QUEENSLAND UNIVERSITY OF TECHNOLOGY)



Eusebio Rey, líder en planimetría y nivelación de pisos, reconocido a nivel mundial a través de premios como el Golden Trowel Awards, expresa la siguiente frase de gran impacto: “Es más fácil hablar de pisos que hacerlos”. Entonces, la ejecución de pisos brinda conocimiento respecto a la dificultad de realizarlos sin que aparezcan patologías a corto, mediano o largo plazo.

La fisuración en los pisos de concreto es una de las mayores preocupaciones en el sector. Es habitual que cuando aparecen fisuras en los pisos se apunte únicamente al concreto, pero no siempre es así.

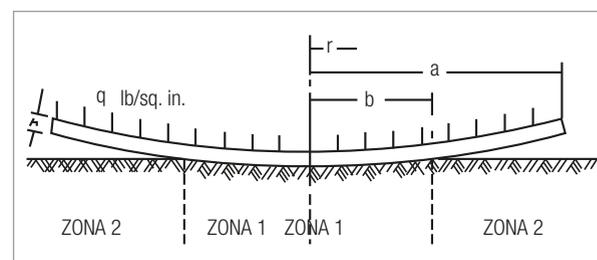
Entre las más importantes causas potenciales de fisuración del concreto están las siguientes:

- Inadecuado diseño estructural: puntos de tensión (ángulos, pasadores, juntas de control, aislamiento perimetral, etc.)
- Inadecuado diseño y/o elaboración de la mezcla del concreto: elevada relación agua/cemento, exceso de cemento, escasez de agregado grueso, etc.
- Inadecuada ejecución de la construcción: puesta en obra, vibrado, compactación y curado.
- Condiciones ambientales: elevada temperatura, baja humedad, intervalos térmicos bruscos en los primeros días, etc.
- Asentamiento de la estructura sobre el suelo
- Sobrecarga de la losa y/o esfuerzo excesivo, vibración e impacto

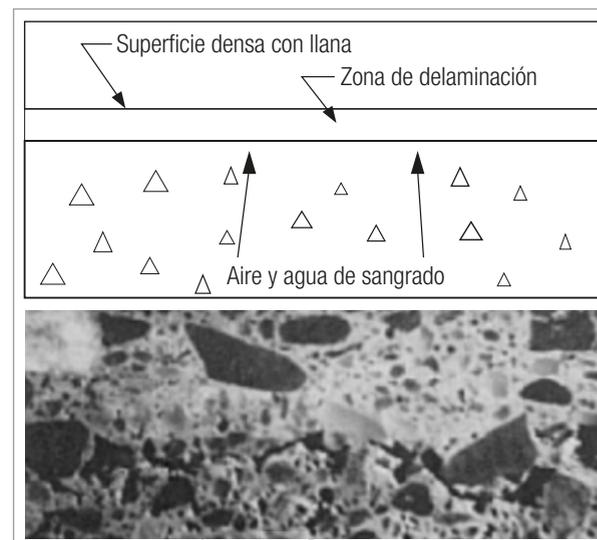
En función del momento en el que se manifiesta la fisuración, se puede tener una idea de su origen. En este sentido, y con base en el trabajo Tipos y causas de fisuras en el concreto (David Beal y col., de *Queensland University of Technology*) en la Figura 1 mostrada anteriormente se presentan los tipos de fisuras más frecuentes en los pisos de concreto y la edad en la que con frecuencia aparecen.

- Fisuras por asentamiento plástico: son causadas por la exudación del agua de amasado, debido a la clasificación de los componentes por densidades. Finalizan tras el endurecimiento del concreto (unas 8-10 horas).
- Fisuras por retracción plástica: son ocasionadas por la pérdida de agua, especialmente en losas y estructuras. Se producen porque la evaporación del agua exudada es más rápida que la llegada de agua interna, debido a la acción capilar de los poros del concreto.
- Fisuras de retracción térmica: ocasionadas por un enfriamiento demasiado rápido y/o temperaturas demasiado altas en el concreto respecto de la temperatura ambiente. Están asociadas normalmente a grandes espesores de concreto y suelen aparecer a partir del día siguiente del vaciado.
- Cuarteo: conocido también como “piel de codrilo”, obedece a varios factores que pueden presentarse de manera conjunta o separada, como una exudación de agua excesiva del concreto, adición de agua excesiva durante la fase de acabado del concreto, acabado temprano del concreto, inadecuada relación agua/cemento para la hidratación del espolvoreo, condiciones ambientales, un curado defectuoso, etc.
- Fisuras de retracción por secado: ocasionadas por la disminución de volumen que experimenta el concreto endurecido cuando está expuesto al aire con humedad no saturada. Se deben simultáneamente a reacciones químicas y a reducción del contenido de humedad, y dependen principalmente de la relación agua/cemento. Para reducir su efecto, dado que la humedad ambiental es un parámetro fuera de nuestro control, es posible aumentar el volumen de la pasta cementicia (mayor tamaño de agregado posible, superplastificantes especiales para concretos de pisos, ajuste de la curva granulométrica buscando mayor compacidad, etc.), sin afectar la relación agua/cemento y la trabajabilidad del concreto, para emplear una química compensadora de la retracción (expansor de calidad contrastada y reductor de retracción), con lo que se logra aumentar la estabilidad dimensional del piso y los beneficios que ello conlleva para evitar patologías, como las que se mencionan a continuación.

→ Figura 2. Vista transversal de un alabeo o *curling* de un piso. ACI 302



→ Figura 3. Delaminación. ACI 302



Otras patologías que, en algunos casos, también pueden derivar en fisuración son:

- Alabeo: también conocido como curling o efecto teja. Deformación del concreto causada por la retracción diferencial (diferente pérdida de volumen entre la superficie de la losa y el fondo, por distintas velocidades de secado, debido a factores ambientales). Esta patología está claramente influida por el factor de sección (esbeltez) espesor/longitud y se intenta minimizar con una cuantía apropiada de fibras y/o armado, así como mediante una química compensadora de la retracción.

Los cálculos de pisos generalmente no toman en consideración este efecto, pero el alabeo tiene más alcance de lo que parece. Según su importancia, se generarán fisuras y/o grietas, con movimiento de losas, desportillado de juntas de corte, ausencia de apoyo sobre la sub-base, y minoración de sus movimientos, disminuyendo su rendimiento.

Entre los factores que afectan al alabeo de las losas se encuentran la retracción de la pasta de cemento, las condiciones ambientales (humedad, temperatura y demás), el contenido de humedad de la losa, su espesor y refuerzo, la resistencia del concreto, así como su rigidez, y la separación de juntas (a mayor distancia, mayor alabeo)

Para reducirlo debe buscarse disminuir la retracción del concreto mediante un buen diseño de mezcla y empleando, si es posible, una química de retracción compensada, curar apropiadamente, aumentar elementos de refuerzo. Otra opción posible es pre- y/o postensar las losas.



↑ Foto 2. Cuarteo del piso de concreto.
DANIEL FERNÁNDEZ



↑ Foto 3. Fisuras de retracción por secado.
JOSE ANTONIO RODRÍGUEZ

- Falta de resistencia superficial: pisos que levantan polvo y/o que manchan al pasar la mano, aparecen en concretos con una exudación excesiva o con alta relación agua/cemento, en pisos con ausencia de espolvoreo, es decir, ausencia de generación de polvo y baja resistencia a la abrasión, con un material de escasa calidad o en baja cuantía por metro cuadrado. También se pueden producir por carbonatación de la superficie cuando el concreto está reciente (CO₂ producido por los equipos en ambientes cerrados).
- Delaminación: separación del espolvoreo del concreto con el que debería estar monolíticamente unido. En algunos casos, en concretos elaborados con arenas inapropiadas podría llegar a producirse sin capa de rodadura.

Como causas que pueden influir para que aparezca este fenómeno tenemos un acabado muy temprano del concreto (tiempos no respetados), las barreras de vapor o láminas de polietileno para aislar de la subbase, retardo excesivo del concreto, cerrar la superficie con herramienta metálica antes de que acabe la exudación, un contenido excesivo de aire incluido en el concreto y alguna incompatibilidad entre ciertos aditivos y algunos tipos de cemento.

Otras patologías conocidas son: la falta de planimetría y/o nivelación de los pisos –con lo que se aminora su funcionalidad–, la aparición de fibras expuestas en superficie (de acero y, sobre todo, fibras poliméricas estructurales semirrígidas), la reacción álcali-agregado, pisos con superficies débiles (marca de neumáticos, fácil absorción de líquidos), corrosión del armado superficial de control de retracción, fisuras por cortes inadecuados o mal diseño de juntas al no respetar los puntos de tensión, entre otras.

Para evitar las principales patologías en pisos de concreto es necesario buscar el compromiso de todos los agentes que intervienen en cada caso (ingeniería, dirección de obra, propiedad, constructora, empresa de pisos, empresa de concreto, laboratorio de control, etc.), de manera que cada uno sea responsable de su parte, y remar todos en la misma dirección. Reparar una patología –que, en función de su importancia, no siempre es posible–, suele suponer un desembolso económico mucho mayor que haber invertido un poco más de esfuerzo (no siempre económico) en intentar hacer de manera adecuada las cosas desde el inicio de obra. Por el contrario, un buen piso de concreto es duradero en el tiempo con mantenimiento mínimo y funcional para el ciclo de vida o finalidad con que se ha diseñado.

Bibliografía

- EN 1504:2004. “Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity”. “Part 2: Concrete protection”, “Part 3: Concrete repair” y “Part 5: Concrete injection”.
- TR 22 “Non-structural Cracks in Concrete” y TR 44 “The relevance of cracking in concrete to corrosion of reinforcement”. The Concrete Society.
- ACI 224R-01 “Control of cracking in Concrete Structures”, ACI 302 1R “Guide for concrete floor and slab construction”, ACI 360R “Design of slabs on ground” y ACI 309R-05 “Guide for Consolidation of Concrete”. American Concrete Institute.
- David Beal, BE, MEngSc, Msc (Lon), DIC, RPEQ, MIE (Aust), CPEng. “Types and causes of cracks in concrete”. Senior Lecturer in Concrete Technology and Design, Queensland University of Technology.
- Bailey Tremper (Consulting Engineer, Riverside, Calif.) y D.L. Spellman (Supervising Materials and Research Engineer). “Shrinkage of Concrete-Comparison of Laboratory and Field Performance”. California Division of Highways, Sacramento.
- “Specification Synthesis and Recommendations for Repairing Uncontrolled Cracks that Occur during Concrete Pavement Construction”. American Concrete Pavement Association.
- Adaptado del publicado originalmente en la revista técnica Cemento y hormigón nº 992, mayo-junio 2019.

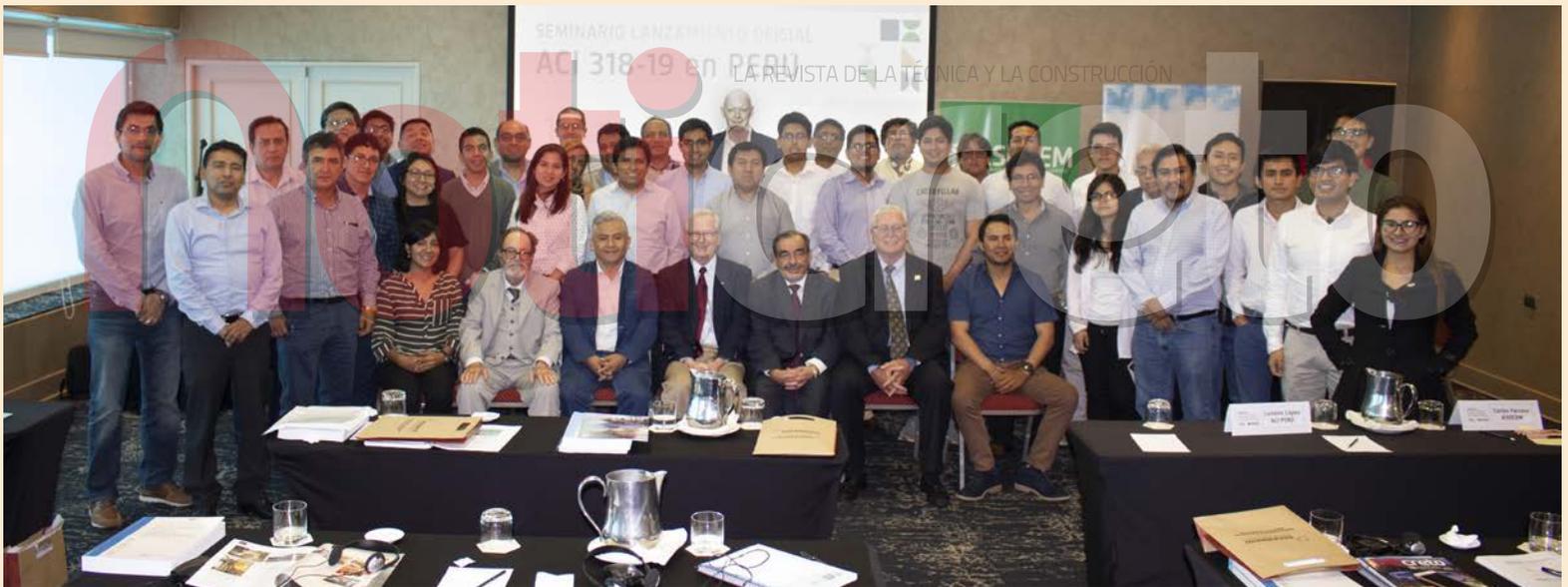


NUEVA GERENCIA GENERAL UNACEM

El Directorio de la empresa UNACEM anunció la sucesión en su gerencia general designando a Pedro Lerner, posición que ejercerá a partir del 01 de julio de 2020. Esta sucesión se da por el próximo paso al retiro del actual gerente general, Carlos Ugás Delgado.

Actualmente, Pedro Lerner es Director Gerente General de la subsidiaria Celepsa y Presidente del Consejo Directivo de Perú 2021. Graduado en Ciencias con mención en Ingeniería Mecánica por la Pontificia Universidad Católica del Perú; tiene dos maestrías, en Tecnología y Estrategia, y en Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación, en el Massachusetts Institute of Technology – MIT.

LANZAMIENTO OFICIAL ACI 318-19 EN EL PERÚ



El pasado 17 de enero se llevó a cabo con mucho éxito el lanzamiento oficial de los cambios en la norma de diseño estructural ACI 318-19. Este seminario fue parte de la gira de ACI GLOBAL que se realizó en Sudamérica en enero 2020. La Asociación de productores de cemento – ASOCEM, en conjunto con ACI Perú, fueron responsables de llevar a cabo el seminario en Lima-Perú.

↑ Participantes del Seminario ACI 318-19: Cambios en la norma de diseño del concreto estructural.

El seminario cubrió los principales cambios en la edición 2019 de ACI 318, "Requisitos del Reglamento para Concreto Estructural" (ACI 318-19) y Comentarios. Esta edición es la primera edición de ACI 318 en 5 años y la primera actualización desde la reorganización del reglamento en la edición de 2014.

Todos los cambios importantes en esta edición del reglamento fueron presentados y discutidos durante la jornada. Entre otros temas, se revisaron los cambios importantes centrados en torno de los temas de mayor resistencia a la fluencia del acero de refuerzo para muchas aplicaciones y los cambios asociados con las disposiciones del diseño; la adición de disposiciones del concreto lanzado; disposiciones de cimentaciones profundas; requisitos sísmicos para cimentaciones profundas y otras aplicaciones; movimientos sísmicos verticales; análisis no lineal para el diseño sísmico; modificación de las ecuaciones de longitud de desarrollo; y disposiciones y ecuaciones de diseño de cortante actualizadas.



NO PASA NADA DOCTOR,
CON NUESTRA
TECNOLOGÍA "RUSA"
¡ESTA MÁQUINA
ENTRA PORQUE ENTRA
EN ESA PUERTA!

ENTRADA

CONSTRUCCIÓN DE PISOS INDUSTRIALES

CONTENIDOS:
ING. MARIO BARBOSA,
MARIO BARBOSA INGENIEROS S.A.S.

ILUSTRACIONES:
LUIS EDUARDO LEÓN

Carolina
en la obra

PERFECTO CAROLINA, UNA VEZ ALISTADO EL ENCOFRADO ¿QUÉ DEBEMOS HACER?

TENIENDO INSTALADA LA FORMALETA, SIGUE EL PROCESO DE VACIADO Y EXTENDIDO DEL CONCRETO.

REALIZADO EL CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO, SE DESCARGA DEL CAMIÓN MEZCLADOR

EXTENDIÉNDOLO CON RASTRILLOS METÁLICOS E INMEDIATAMENTE VIBRANDO PARA CONSOLIDAR LA MASA DE CONCRETO.

LISTO CAROLINA, ¿AHORA SI PUEDE ENTRAR EN FUNCIONAMIENTO EL PISO?

NO JOSÉ, AHORA SE DEBE APLICAR UN ENDURECEDOR DE FORMA ABANICADA SOBRE LA SUPERFICIE DEL CONCRETO DE FORMA HOMOGÉNEA.

AL ALCANZAR LA DUREZA NECESARIA DEL CONCRETO SE DEBE HOMOGENEIZAR ALLANANDO

SI JOSÉ, TERMINADO TODO LO ANTERIOR, SE APLICA UN AGENTE CURADOR YA SEA BASE PARAFINA O BASE AGUA.

AHORA DEBEMOS HACERLE EL CURADO AL CONCRETO, ¿CIERTO?

HOLA JOSÉ, EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE UN PISO INDUSTRIAL TIENE VARIOS PASOS.

LA PRIMERA ACTIVIDAD SE RELACIONA CON EL ENCOFRADO, DONDE, CON EL USO DE EQUIPOS DE TOPOGRAFÍA, SE DEBE GARANTIZAR LA NIVELACIÓN, TANTO VERTICAL COMO HORIZONTAL, DE LA FORMALETA QUE DEMARCARÁ EL ÁREA DE VACIADO.

HOLA CAROLINA, ¿QUÉ DEBEMOS HACER PARA CONSTRUIR UN PISO INDUSTRIAL?

NO JOSÉ, EL TERCER PASO ES EL ENRASADO, DONDE MEDIANTE LA REGLA VIBRATORIA, SE MOLDEA Y NIVELA LA SUPERFICIE Y CON UNA REGLA DE CHEQUEO SE CORRIGEN EMPALMES Y ONDULACIONES

ESTO PARA GARANTIZAR UNA BUENA HORIZONTALIDAD.

YA TENIENDO EL PISO VIBRADO ¿QUEDARÍA TERMINADO?

JOSÉ, SE REALIZA MEDIANTE EL PROCESO DE ALLANADO CON ALLANADORA MECÁNICA.

ESTE PROCESO SE INICIA CUANDO LA HUMEDAD SE REFLEJE EN LA SUPERFICIE.

¿CAROLINA, Y CÓMO SE HACE ESTA HOMOGENEIZACIÓN?

JOSÉ AHORA COMO ÚLTIMO PASO, DEBEMOS REALIZAR EL CORTE DE JUNTAS

ESTE CORTE SE REALIZA ENTRE 4 Y 12 HORAS POSTERIOR AL ACABADO FINAL Y DE ACUERDO CON EL DISEÑO Y CORTE ESPECIFICADO

CAROLINA ¿Y LAS JUNTAS?

TERMINADAS LAS JUNTAS, ¡HEMOS ACABADO LA CONSTRUCCIÓN DEL PISO!

FIN



TRABAJANDO UNIDOS,
CONSTRUIMOS
LOS CIMIENTOS
PARA UN MEJOR PAÍS

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



El futuro se construye con confianza

CAMC  en camiones hormigoneros



Av. El Sol Mz.D-1, Lt.7-A
Villa El Salvador - Lima
T. 717-6868

www.camc.com.pe

San Bartolomé