



CONGRESO NACIONAL
DE **INGENIERÍA**

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

Durabilidad del Hormigón Romano Avances del concreto actual

Es famoso por su durabilidad se
ha mantenido por más de 2000
años: Coliseo Romano
Construido año 80



Durabilidad de las Obras



- Tiene que ver esta presentación sobre la supervivencia del País, de sus obras y proyectos.
- Estaríamos felices que siquiera fueran 150 años, lo cual podrá lograrse, por supuesto con buenos materiales, buen diseño: es decir una buena Ingeniería.
- Ingeniería integral que supone gran responsabilidad y estudio. Y debemos estar atentos a las nuevas tecnologías.
- Todo fracaso de una obra nos trae , graves pérdidas, y subdesarrollo.
- Esta presentación analizará un tema fundamental, referente a los concretos de 2.000 años que hicieron los romanos, y a algunas referencias al tema.



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Investigaciones sobre el hormigón romano

Mausoleo de Cecilia Metela en la vía Apia, de la cual se han tomado muestras para examinar la composición química y física de sus materiales

Publicaciones de la Revista AAAS y Journal of American Ceramic Society, dan cuenta de ello.



Estudios sobre durabilidad del Hormigón sus avances



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



- Análisis de la composición química del monumento de Cecilia Metela en la Vía Apia, en Roma. Realizados mediante avanzadas técnicas
 - El microscopio electrónico de barrido, que muestra la microestructura a escalas de micras (milésimas de 1 mm)
 - Espectrometría de rayos X , que permite identificar y cuantificar y cualificar los elementos que componen una muestra.
 - El hormigón era rico en leucita, (silicatos de la formula $\underline{K}(\text{Si}_2\text{Al})\text{O}_6$) que al descomponerse por la humedad producen potasio que hace la mezcla más resistente.
 - Se encontraron “Clastos de Cal” por el uso de cal viva en la mezcla, los cuales sellaban fisuras del concreto, evitando paso de agua, causa del deterioro del hormigón.

Conclusión de los Investigadores



- A raíz de esos análisis de investigadores de la Universidad de Harvard, del MIT, y varios Laboratorios suizos e italianos acababan de informar sobre el misterio de la resistencia del hormigón romano.,
- El Artículo en la Revista Science Advances, dice que los romanos utilizaron estrategias de fabricación con las que consiguieron hacer una masa o “concreto”, que dotó a sus construcciones de un vigor realmente admirable gracias a un proceso de “autocuración”.

El gran secreto romano



- La “autocuración del concreto”, es en realidad lo que protege el hormigón del deterioro que el agua y los contaminantes del medio ambiente, le causan, al penetrar dentro de la estructura, e iniciar su proceso de detrimento, debido a las reacciones químicas con éste material.

Conclusión de los Investigadores



- Los romanos intuyeron que el secreto había que introducirlo dentro del mismo Hormigón Romano, con ese criterio avanzaron en lo que hoy se llama el Diseño de Materiales o la química de los materiales.
- Los efectos que ciertos compuestos introducidos en el Hormigón Romano, producían reacciones con éste, sellándolo.
- Eso es lo que la tecnología actual llama la “impermeabilización del concreto por cristalización” o “Concrete Waterproofing and Protection by Crystallization”



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Daños conocidos en las estructuras de concreto: la corrosion de acero de refuerzo



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARBANOQUILLA, 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



MUELLE DE CONCRETO FUERA DE USO POR CORROSIÓN, SANTA MARTA, COLOMBIA



La NACE, National Association of Corrosion Engineer, dice que las pérdidas por corrosión a nivel mundial equivalen aproximadamente al 3.4 % del PIB. En el caso de estructuras cercanas al mar se produce por la acción de los cloruros disueltos en la brisa marítima y el contacto directo del agua de mar que al penetrar dentro de las estructuras de concreto, inicia la oxidación del refuerzo metálico, produciendo óxidos ferrosos que aumentan de volumen y harán presiones de adentro hacia afuera quebrando el concreto. La permeabilidad natural excesiva del concreto, su carbonatación o el agrietamiento de las secciones, por la acción de la corrosión y el incremento de diámetro de las varillas causan por sí mismas agrietamiento en el recubrimiento del concreto, lo que facilita en gran

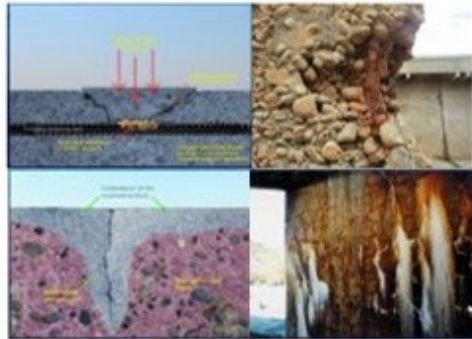
Ataque químico y problemas en la construcción



PRINCIPALES PROBLEMAS

Ataque químico

Ataque por sulfatos
Ciclos congelación-descongelación
Corrosión
Carbonatación
Reacciones ASR/AAR



Defectos del concreto

- Grietas
- Juntas frías
- Juntas constructivas
- Problemas de consolidación



Dos ejemplos del deterioro que sufre el concreto al estar expuesto a sustancias como el **azúcar**, lúpulo, agua y levadura. A la izquierda planta de tratamiento de las aguas utilizadas para lavar botellas de cerveza y a la derecha aspectos de un tanque donde se produce una conocida bebida gaseosa.



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Recordemos la química del
cemento base de la preparación
del concreto



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Recordemos la composición química del clinker y del cemento.

CLINKER

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CLÍNKER (% EN MASA)

Fase	Fórmula	Abreviatura	Rango	Valor medio
Silicato tricálcico	3CaO SiO_2	C_3S	46-79	61
Silicato bicálcico	2CaO SiO_2	C_2S	5-30	15
Ferritoaluminato tetracálcico	$4\text{CaO (Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3)$	$\text{C}_4(\text{A},\text{F})$	4-16	8
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$	C_3A	6-18	12
Cal libre	CaO	C	0,1-4	1
Óxido de magnesio libre	MgO	M	0,7-1,5	1,5

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS CEMENTOS (% EN MASA)

Parámetro	Rango aproximado
Residuo insoluble	0,1 – 1,4
Óxido de calcio (CaO)	58.2 – 65.6
Silice (SiO_2)	19.8 – 26.45
Alúmina (Al_2O_3)	4.1 – 9.5
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	2.1 – 4.5
Magnesia (MgO)	trazas – 2,9
Álcalis ($\text{K}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O}$)	0,1 – 2,8
Sulfatos (SO_3)	0,1 – 2,2
Pérdida por calcinación	0,2 – 2,8

Estudio U de Alicante



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

El estudio realizado en 2015 en la U de Alicante, España por los profesores SanJuan Barbudo y Chinchón Yepes, presenta unas tablas que muestran la composición química del Clinker y de los cementos, con sus rangos aceptables por cada uno de los componentes químicos que lo componen. Son temas que debe conocer un ingeniero diseñador o constructor para obtener un buen material para sus concretos. Piénsese también las reacciones químicas que pueden darse entre todos esos componentes como el magnesio, los sulfatos, silicatos, cal libre, cloruros, CO₂ (dióxido de carbono), etc., en presencia del agua (H₂O), cuando se pone en contacto con el concreto. El agua puede traer disueltas sustancias reactivas o simplemente servir de vehículo de transporte de ellos. El agua y el medio ambiente realizarán su tarea y penetrarán al concreto por los diversos orificios que tiene este. Y mediante el proceso químico de difusión (D), y la alta concentración de iones en el exterior, penetrarán a las áreas de baja concentración, al igual que el humo de un cigarrillo se difunde para llenar una habitación. Caso muy crítico, la difusión de cloruros en el concreto, causa principal de la corrosión del acero de refuerzo, y preocupación mundial de las estructuras de concreto. Igual sucede con CO₂, anhídrido carbónico atmosférico, que causa carbonatación, al entrar al concreto, y es causante del efecto invernadero, etc. Además, las estructuras sufren agrietamientos por varias causas y permiten la entrada o salida del agua de una estructura, así: en áreas de bajas temperaturas, el agua dentro de los poros se congela y quiebra el concreto; por presión hidrostática negativa, las estructuras bajo tierra permiten la entrada de agua; el vapor de agua puede penetrar al concreto aprovechando las diferencias de temperaturas en las dos caras de una estructura.

La Corrosión



La NACE, National Association of Corrosion Engineer afirma que las pérdidas por corrosión a nivel mundial equivalen aproximadamente al 3.4 % del PIB. En el caso de estructuras cercanas al mar se produce por la acción de los cloruros disueltos en la brisa marítima y el contacto directo del agua de mar que al penetrar dentro de las estructuras de concreto, inicia la oxidación del refuerzo metálico, produciendo óxidos ferrosos que aumentan de volumen y harán presiones de adentro hacia afuera quebrando el concreto. La permeabilidad natural excesiva del concreto, su carbonatación o el agrietamiento de las secciones, por la acción de la corrosión y el incremento de diámetro de las varillas causan por sí mismas agrietamiento en el recubrimiento del concreto, lo que facilita en gran medida el acceso de humedad, aire y cloruros contenidos en el agua, y acelera así el proceso de ataque, llevando las estructuras a daños irreversibles en periodos notablemente cortos..

Todo lo anterior exige al máximo tener una excelente impermeabilización de la estructura, corregir agrietamientos o fisuras que agravarán el problema de corrosión. Los vientos y cambios de temperatura afectan la estructura al producirse expansiones y contracciones dentro de los poros del concreto.

Acordémonos también del Edificio Champlain Towers, de 41 años de construido, dejó 90 muertos y la causa más grave del accidente se debió a fallas de la impermeabilización.



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Veamos resultados de los
exámenes que se practican
hoy mismo.



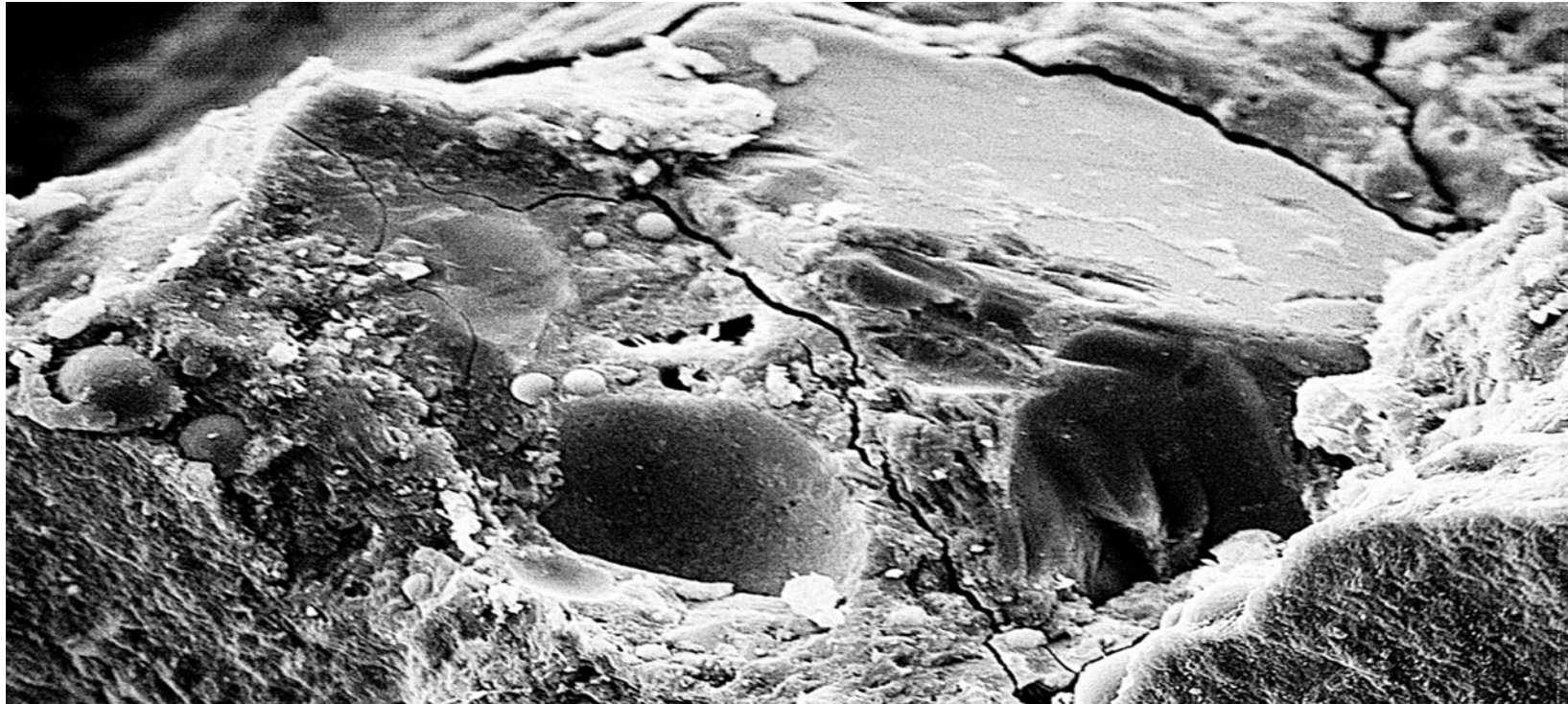
CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Micro Grietas



La composición del concreto se determina por un estudio petrográfico.

Ampliación 5000 X










CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Permeabilidad

<u>Vacío</u>		<i>1,000 μm to 10,000 μm</i>
<u>Grieta</u>		<i>100 μm to 3,000 μm</i>
<u>Microgrieta</u>		<i><0.1 μm to 100 μm</i>
<u>Zona de transición</u>		<i>10 μm to 50 μm</i>
<u>Capilar</u>		<i>0.01 μm to 1 μm</i>

Permeable en diversas y diferentes escalas de tamaño.



CONGRESO NACIONAL
DE **INGENIERÍA**

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Por un momento
póngamonos en el siglo XXI

Estudios de la Ingeniería de Materiales.



- Ejemplo:
- La generación de energía eléctrica por el Sol. Nunca se imaginó que casi a muy bajo costo, pudieramos utilizar una fuente de energía libre para todo el mundo. Los fotones u ondas emitidas por el Sol, impactan unas celdas de Silicio, Si (14 electrons), desprende unos electrones, que tienen carga negative, los cuales se recogen, para producir energía eléctrica.
- Existen ya muchas universidades con carreras dedicadas a este tema.

Cómo los fotones emitidos por el Sol producen energía eléctrica



Paneles Fotovoltaicos en Carineña, España

Los **paneles fotovoltaicos** (placas fotovoltaicas) —llamados comúnmente [paneles solares](#), o [placas solares](#), están formados por un conjunto de [células fotovoltaicas](#) que producen electricidad a partir de los fotones emitidos por el sol que incide sobre ellos. Pueden ser: El costo se ha reducido de forma constante y su coste medio de generación eléctrica ya es competitivo con las fuentes de energía convencionales en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la [paridad de red](#).³



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Fundamentos para el Desarrollo de la “Impermeabilización por Cristalización”

1. Evitar los costosos daños que sufrían las interrupciones en el servicio, las molestias a las áreas afectadas, e igualmente la corta durabilidad de las soluciones aplicadas.
2. Precaver las continuas intervenciones indispensables para mantener en buen estado los proyectos afectados, y sobre todo, los altos costos de reconstrucción.
3. Crear, así como lo hicieron en su tiempo los romanos un sistema confiable, con el uso de la ingeniería de materiales.



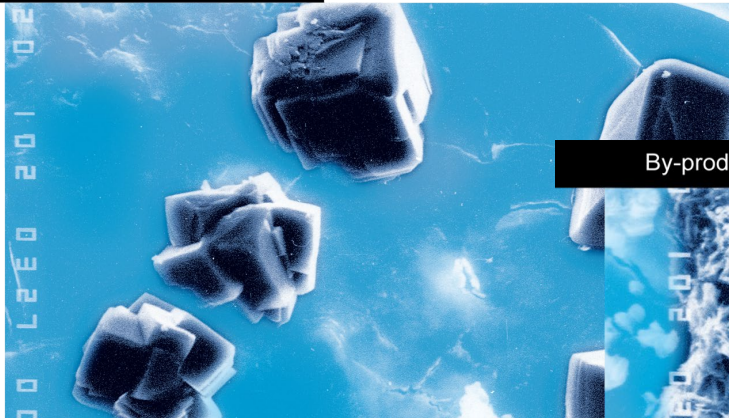
CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA



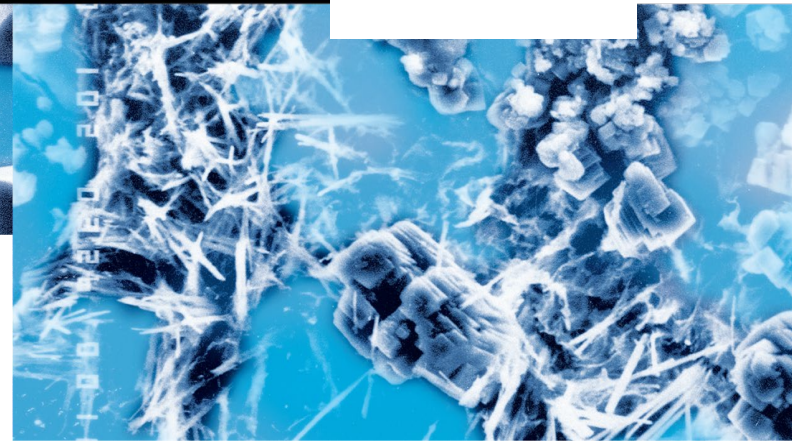
RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA
BARRANQUILLA | 3 DE MARZO DE 2023

El Sistema de “Impermeabilización del concreto por cristalización”

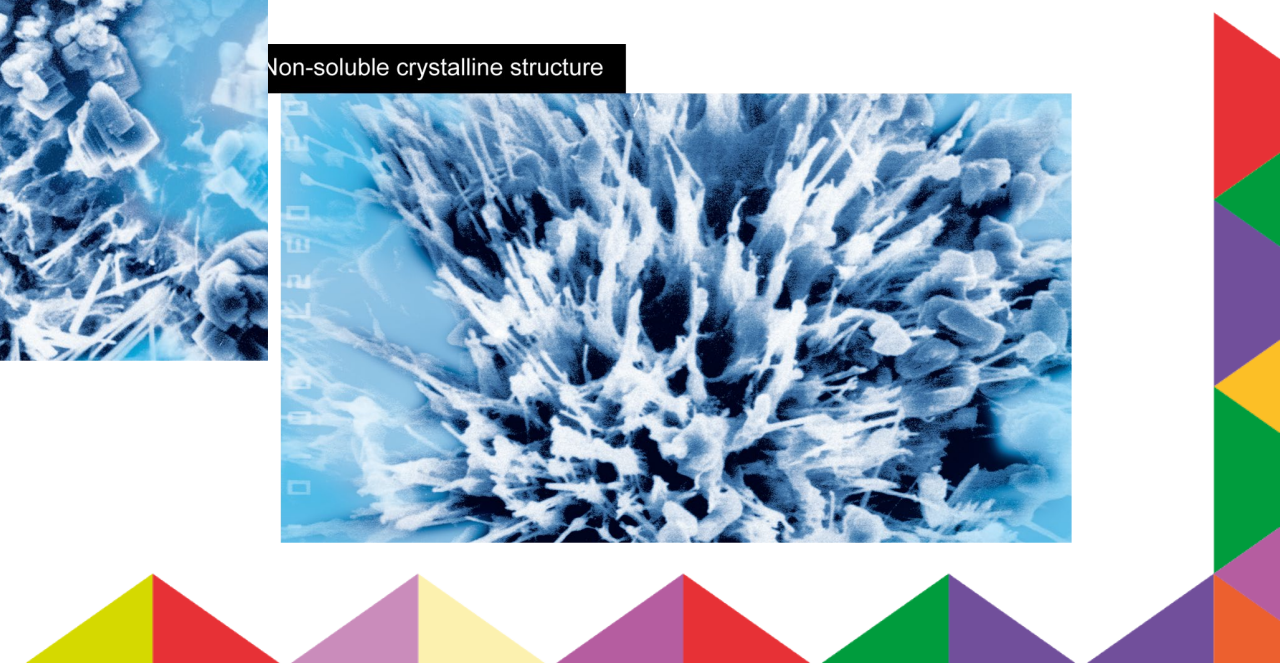
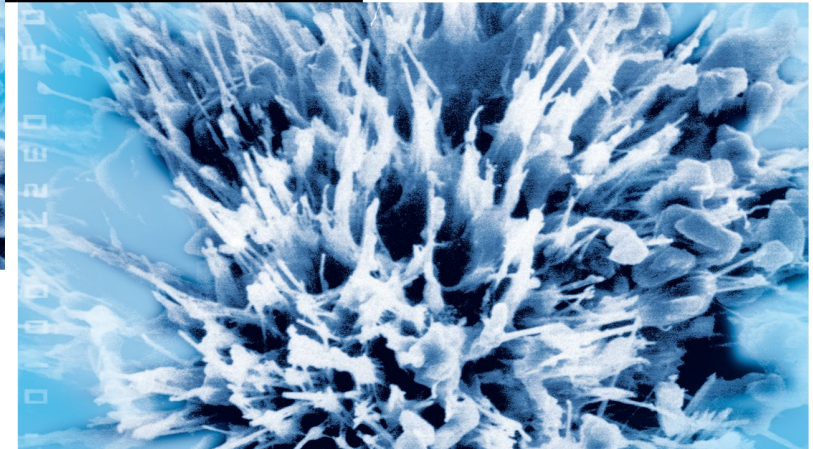
By-products of cement hydrations



By-products + Xypex



Non-soluble crystalline structure



Que nos Brinda la Impermeabilización por Cristalización



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



1. Obviamente, extender la vida útil del concreto es nuestra principal credencial ecológica, los análisis de expertos de estructuras construidas con “Impermeabilización por Cristalización” han demostrado que la vida útil prevista se extendió a más de 150 años. Hay una serie de otras características de la “Impermeabilización por Cristalización” que lo convierten en un producto sostenible. La fórmula exclusiva de la “Impermeabilización por Cristalización” es ecológica a diferencia de muchas soluciones impermeabilizantes a base de petróleo. No libera VOC, no tiene productos químicos de la lista roja y es tan limpio que puede usarse en aplicaciones de agua potable
2. Como la “Impermeabilización por Cristalización” se agrega al concreto antes de que llegue al sitio de construcción, esto significa que no requiere instalación de equipos en el sitio y acelera el ciclo de construcción, lo que reduce la interrupción de la vida diaria y reduce la huella de carbono de la actividad de construcción. En el futuro, los investigadores e ingenieros de industrias tan variadas como la aeronáutica y las turbinas eólicas encontrarán formas de permitir que los materiales se curen solos cuando aparezcan grietas. La “Impermeabilización por Cristalización” lleva más de 50 años haciendo esto en el Concreto y lo seguirá haciendo en el futuro.

TUNEL DOS QUEBRADAS. CRISTALIZACIÓN SUPERFICIAL. PEREIRA, COLOMBIA



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023





CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA
BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



IMPERMEABILIZACIÓN LOSAS Y PLINTO PRESA DE LA HIDROELÉCTRICA PORCE 3. ANTIOQUIA, COLOMBIA



Richland Creek, Atlanta, GA PTAP Tratamiento con aditivo al concreto



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



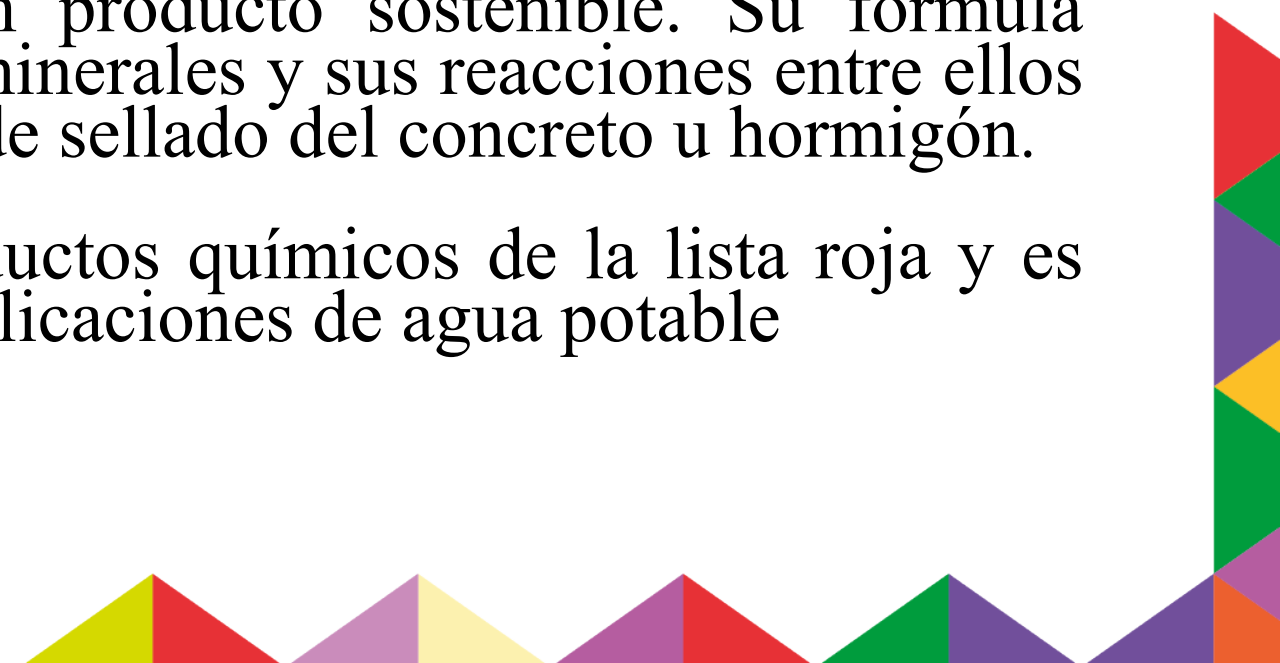
ek PTAP, Atlanta, GA. 2019



Futuro de la vida útil del concreto



1. Extender la vida útil del concreto es nuestra principal credencial ecológica. Análisis de expertos de estructuras construidas con este sistema han demostrado una extensión a más de 150 años.
2. Hay otra característica importante, esta tecnología de la ingeniería de materiales la convierte en un producto sostenible. Su fórmula exclusiva es ecológica, solo usa minerales y sus reacciones entre ellos para lograr el efecto permanente de sellado del concreto u hormigón.
3. No libera VOC, ni contiene productos químicos de la lista roja y es tan limpio que puede usarse en aplicaciones de agua potable



Futuro de tecnología por cristalización



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



1. Como este sistema se puede aplicar al concreto antes de que llegue al sitio de construcción, eso significa que no requiere instalación de equipos en el sitio de obra. Acelera el ciclo de construcción, reduciendo la interrupción de la vida diaria y reduce la huella de carbono de la actividad de construcción.
2. En el futuro, investigadores e ingenieros de industrias tan variadas como la aeronáutica y las turbinas eólicas encontrarán formas de permitir que los materiales se curen solos cuando aparezcan grietas.
3. La “Impermeabilización por Cristalización” lleva más de 50 años haciendo esto en el Concreto y lo seguirá haciendo en el futuro.



CONGRESO NACIONAL
DE **INGENIERÍA**

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Gracias por su atención.

Ingeniero Jorge Ladrón de Guevara Orozco
Gerente CIP SA - Ingeniería para el Concreto -

jldgcip@cipsa.com.co

Cel: 313 377 5146; 601 2258055

Carrera 53 No. 79-27, Bogotá DC