



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ANÁLISIS EN OBRA DE LAS CARACTERÍSTICAS
CONSTRUCTIVAS DEL SISTEMA DE ENCOFRADO DE LOSA
ATEX, USO DE IMPERMEABILIZANTE POR
CRISTALIZACIÓN KRYSTALINE Y DE PEGA NO
CONVENCIONAL DE MAMPOSTERÍA BRICKAFFIX EN EL
PROYECTO BRICK, MEDELLÍN.**

Autora

Valeria Álvarez Betancur

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ESCUELA AMBIENTAL

MEDELLÍN, COLOMBIA

2020



Análisis en obra de las características constructivas del sistema de encofrado de losa Atex, uso de impermeabilizante por cristalización Krystaline y de pega no convencional de mampostería Brickaffix en el proyecto Brick, Medellín.

Valeria Álvarez Betancur

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniera Civil

Asesores

Alejandro Gómez Villegas, Ingeniero Civil.
Juan Guillermo Jaramillo Gaviria, Ingeniero Civil.

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020.

RESUMEN

El sistema constructivo del proyecto Brick en Medellín, tuvo tendencias a la innovación de los sistemas tradicionales, por lo cual se implementaron otros procesos en actividades de encofrado de losas de concreto (Atex), impermeabilización del hormigón (Krystaline) y pega de muros de mampostería (Brickaffix), que sustentaron una propuesta de mitigación en impacto ambiental donde además hubo recuperación de material desecho de la construcción como madera en cajones perdidos en losa, reducciones de costos de ejecución entre el 3% y el 55% y potenciales costos futuros de postventas, ventajas en logística de la obra por uso de máquinas de elevación y áreas de acopio de material, optimización de tiempos en cada actividad reduciendo por lo menos una jornada de trabajo en cada una con los nuevos sistemas, potencial mejora en los acabados arquitectónicos y consumos dentro de la obra y la calidad en la supervisión técnica del proyecto en las diferentes etapas constructivas. Las evaluaciones globales se realizaron desde el costo/beneficio del producto y el sustento en términos de calidad que se puede manejar, exigir y controlar en una construcción sin necesidad de supervisar constantemente la ejecución cada uno de los procesos en cada una de sus etapas y niveles del edificio, si no en indicaciones anteriores al personal para uso adecuado de sistemas y productos y revisiones técnicas posteriores a la construcción para garantizar la calidad de la obra.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, reconocemos el significativo avance que ha tenido la tecnología durante los últimos años, pero de la misma manera el sector de la construcción en Colombia no ha tenido avances característicos en su forma de ejecución, es decir, hoy día se construye bajo los mismos sistemas y parámetros que desde hace 50 años. Probablemente, desde tiempo atrás haya inmersas en el mercado nuevas tecnologías que no hayan tenido acogida por temor a ensayar sin éxito nuevos procedimientos, a explorar otras alternativas que ayuden a optimizar los procesos constructivos o a ejecutar obras de infraestructura que pueden ser más eficientes con sistemas de los cuales no se tienen suficientes antecedentes y correr el riesgo de repercutir en la vida de la estructura y de las personas que son nuestra responsabilidad como diseñadores, constructores, interventores y supervisores técnicos.

Las nuevas alternativas tecnológicas en el sector de la construcción que han sido mayormente desarrolladas y aceptadas, son los aditivos para el concreto, que han mejorado características del mismo donde con una dosificación estándar se puede tornar más resistente, ligero, impermeable, reducir o

acelerar el tiempo de fraguado, etc.; y otros avances en cuanto a la manera como construimos, por tanto el enfoque del informe trata acerca de procesos constructivos diferentes a los convencionales en la ciudad de Medellín implementados en el proyecto Brick y detallados en estudios de escritorio, mediciones de campo y equiparación de metodologías, tales como el uso de aditivos de impermeabilizantes por cristalización (Krystaline), la construcción de losas aligeradas mediante el uso de sistema de encofrado plástico reutilizable (Atex) y la construcción de muros de mampostería con polímeros estabilizados adicionados con resinas y demás componentes realizados en laboratorio (Brickaffix), obteniendo resultados finales de tipo comparativo de ventajas, desventajas, características, tiempos de ejecución y costos de cada uno de ellos sobre el sistema tradicional de construcción, para dar ideas sobre la implementación de estas “nuevas” formas de construir que son opciones no muy exploradas y que no han sido tan ampliamente aceptadas dentro del mercado, pero que en términos costo/beneficio, vale la pena analizar, presupuestar e implementar.

OBJETIVOS

GENERAL

- Abarcar las características desde el ámbito constructivo de procesos innovadores para la ciudad de Medellín, implementados en el proyecto Brick.

ESPECÍFICOS

- Obtener cantidades y rendimientos de obra, para evaluarlos y optimizarlos.
- Evidenciar las características constructivas, ventajas, desventajas, costos, tiempos y acabados que brinda el sistema de aligeramiento de losa de Atex.
- Presentar las características constructivas, ventajas, desventajas, costos y optimización de tiempos y desperdicios con el uso de Brickaffix.
- Exponer las características constructivas, beneficios, costos y funcionalidad que aporta al hormigón la utilización de Krystaline en losas.

MARCO TEÓRICO

1. LOSAS

Las losas son los elementos que hacen factible la existencia de los pisos y techos de una edificación. Tienen dos funciones principales desde el punto de vista estructural: la primera, ligada a las cargas de gravedad, que es la transmisión hacia las vigas de las cargas propias de la losa, el piso terminado, la sobrecarga y eventualmente tabiques u otros elementos apoyados en ellos; y la segunda, ligada a las cargas de sismo, que es la obtención de la unidad de la estructura, de manera que esta tenga un comportamiento uniforme en cada piso, logrando que las columnas y muros se deformen una misma cantidad en cada nivel (Blanco Blasco, 2011).

1.1. TIPOS DE LOSAS

1.1.1. Losas macizas

Las losas macizas, son diseñadas como vigas de ancho unitario. Este tipo de estructuras no son convenientes si se trata de salvar luces grandes, pues resultan muy pesadas y antieconómicas. Tienen poca rigidez y vibran demasiado. Debido a su poco peralte, requieren mucho refuerzo longitudinal y si éste se incrementa para disminuir la cantidad de acero e incrementar su rigidez, el peso propio aumenta considerablemente (Harmsen, 2002).

1.1.2. Losas nervadas

Están constituidas por una serie de pequeñas vigas T, llamadas nervaduras o viguetas, unidas a través de una losa de igual espesor que el ala de la viga. Son más ligeras que las losas macizas y de rigidez equivalente, lo que les permite ser más eficiente para cubrir grandes luces (Harmsen, 2002). Son elaboradas haciendo uso de encofrados metálicos, de icopor o plásticos y con lados ahusados, con espacio entre ellos. Cuando el concreto se coloca sobre y entre los casetones, se obtiene una losa con forma de waffle. Los intervalos o aberturas entre los casetones forman las almas de la viga. Estas almas son bastante profundas y proporcionan grandes brazos de momento para las varillas de refuerzo (Mc Cormac & Brown, 2011).

1.2.ENCOFRADOS

El encofrado es una estructura temporal cuyas cargas tienen un pico durante el vaciado y luego decaen rápidamente conforme el concreto endurece. Por ello, es común asumir un incremento en los esfuerzos admisibles de la madera por este efecto, el cual está basado en el tiempo total que el encofrado estará sometido a la acción de cargas durante su vida útil. Si éstos van a ser usados varias veces, el incremento será menor que si van a ser usados una sola vez. En este último caso, la resistencia se puede aumentar en un 25% (Harmsen, 2002).

El esfuerzo cortante horizontal en cualquier punto del elemento horizontal es igual que el esfuerzo cortante vertical. La madera tiene diferente resistencia en dirección paralela y perpendicular a la fibra. Generalmente, la fibra es paralela al eje del elemento. El esfuerzo cortante horizontal, llamado esfuerzo cortante longitudinal constituye la condición crítica para el diseño (Harmsen, 2002).

1.3.SISTEMA DE ENCOFRADO DE LOSA ATEX.

ATEX, es pionera en el desarrollo, venta y alquiler de casetones de plástico reutilizables para losas, aplicando la tecnología desde su fundación en 1991. Su actuación en el mercado fue decisiva para el crecimiento de soluciones amigables con el medio ambiente. Reemplazando la camilla tradicional con el sistema ATEX, ocurre una disminución importante y representativa en el proceso que genera un aligeramiento hasta un 50% más económico (ATEX, 2020).

Los encofrados Atex fueron proyectados para soportar los grandes esfuerzos requeridos durante el proceso de ejecución de la estructura de las obras. Fabricados con resinas termoplásticas, ellos son producidos con tecnología de punta a través de rigurosos criterios de calidad. Poseen un diseño que facilita su montaje y su retirada de la losa, después del hormigonado, los Moldes Atex son apoyados directamente sobre el apuntalamiento eliminando el aglomerado de madera y otras tecnologías ya pasadas (ATEX, 2018).

2. MAMPOSTERÍA.

2.1. MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL.

La mampostería estructural es un sistema compuesto por bloques de concreto u otros materiales que conforman sistemas monolíticos que pueden resistir cargas de gravedad, sismo y viento. Este sistema está básicamente fundamentado en la construcción de muros colocados a mano, de perforación vertical, reforzados internamente con acero estructural y alambres de amarre, los cuales cumplen todas las especificaciones propuestas en el Título D de la NSR– 10. Las celdas de las unidades de mampostería se pueden rellenar parcial o completamente con *mortero* de relleno. (ASOCRETO, 2020)

2.1.1. Mampostería reforzada

Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismoresistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico cuando todas las celdas se inyectan con mortero de relleno, y como uno de los sistemas de capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico cuando sólo se inyectan con mortero de relleno las celdas verticales que llevan refuerzo (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

2.1.2. Mampostería parcialmente reforzada

Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismoresistente, como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

2.1.3. Mampostería no reforzada

Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero que no cumple las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismoresistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

2.2. MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL.

Son los muros que solo sirven para separar los espacios de la vivienda y no soportan más cargas que la de su propio peso. Según el sitio donde se coloquen se pueden llamar de fachada, divisorios y medianeros. (Salinas, 2015)

2.3. BRICKAFFIX.

Es un producto polimérico estabilizado elaborado a partir de agregados minerales, resinas sintéticas, aditivos especiales como bactericidas e hidropelentes asociados a nanotecnología, y diseñados para la colocación inmediata de ladrillos y bloques de mampostería, obteniendo una resistencia tres veces mayor a la de la mezcla tradicional. (Brickaffix, 2018)

3. ADITIVOS PARA CONCRETO

Son materiales orgánicos o inorgánicos que se añaden a la mezcla durante o luego de formada la pasta de cemento y que modifican en forma dirigida algunas características del proceso de hidratación, el endurecimiento e incluso la estructura interna del concreto (Pasquel Carbajal, 1998).

Cada vez se va consolidando a nivel internacional el criterio de considerar a los aditivos como un componente normal dentro de la Tecnología del Concreto moderna, ya que contribuyen a minimizar los riesgos que ocasiona el no poder controlar ciertas características inherentes a la mezcla de concreto original, como son los tiempos de fraguado, la estructura de vacíos, el calor de hidratación, etc. Cualquier labor técnica se realiza más eficientemente si todos los riesgos están calculados y controlados, siendo los aditivos la alternativa que siempre permite optimizar las mezclas de concreto y los procesos constructivos (Pasquel Carbajal, 1998).

3.1. ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES

“Dentro de las tecnologías de impermeabilización de concreto se pueden diferenciar tres grupos bastante marcados:

-Productos químicos hidrófobos o repelentes de agua, son materiales basados en jabones y derivados de ácidos grasos de cadena larga, aceites vegetales y derivados del petróleo. Estos materiales

proporcionan una capa repelente al agua a lo largo de poros en el hormigón, pero los poros permanecen físicamente abiertos.

-Sólidos finamente divididos incluyen materiales tales como materiales de carga inertes y químicamente activos y rellenos químicamente activos. Los sólidos finos actúan como densificadores y restringen físicamente el paso de agua a través de los poros.

-Materiales cristalinos que posee propiedades de químicos activos mezclados en una base de cemento y arena. La naturaleza hidrófila de estos materiales provoca un incremento de la densidad de silicato de calcio hidratado y/o generan una obstrucción de los poros que resiste la penetración del agua.” (Barreda, y otros, 2018)

3.1.1 Impermeabilización por cristalización

Diversos productos impermeabilizantes por cristalización se especifican como impermeabilizantes de aplicación superficial, los cuales tienen la capacidad de penetrar por la red de capilares del hormigón, formando una capa superficial que no permite el ingreso de agua o soluciones dentro de la masa de hormigón (Bornand, 2012).

Los fabricantes explican que los aditivos impermeabilizantes de esta índole, son capaces de actuar sellando fisuras que se originan una vez endurecido el hormigón y en presencia de agua. Por lo general, el límite de espesor de fisura el cual el aditivo es capaz de sellar, es del orden de 0.4mm, según los fabricantes (Bornand, 2012).

“La tecnología de impermeabilización por cristalización, es un sistema que consiste en la saturación del sistema capilar del hormigón, con la ventaja adicional del relleno de microfisuras y otros pequeños huecos.

Aprovecha los subproductos de la reacción de hidratación del cemento que permanecen durmientes en el hormigón. La cal libre del hormigón (subproducto) reacciona con los agentes químicos activos del producto de impermeabilización en presencia de humedad que migran por difusión hacia el interior del hormigón por la red capilar del mismo.

Para ello, usan como vehículo el agua interna existente en el sistema capilar del hormigón y forman cristales complejos insolubles y no expansivos que bloquean la red capilar y las microfisuras.

Este sistema de impermeabilización es idóneo en aplicaciones en zonas donde se necesite realizar la impermeabilización desde el interior de la edificación por no tener accesibilidad al exterior, o en zonas de exposición constante a los agentes naturales y mediante un sistema de bajo coste pero muy efectivo.

Cuando se satura de agua el soporte, se crea una solución de baja densidad. Teniendo en cuenta que el mortero de cristalización tendrá una solución de alta densidad, cuanto mayor sea la saturación del soporte, mayor facilidad para la penetración del producto en el soporte.

El producto irá penetrando en profundidad sellando la red capilar, y esta reacción de cristalización finalizará cuando la formación de cristales merme o bien cuando se pare la entrada de agua por humedad.” (Departamento de Marketing. Sika, 2011)

3.2. KRYSTALINE

Krystaline Technology, S.A. se especializó en la fabricación y comercialización de aditivos para la impermeabilización del hormigón por cristalización de la red capilar. Fabricando un compuesto industrial químico que confiere propiedades impermeables al hormigón convirtiendo sus estructuras en estancas para múltiples aplicaciones. Su avanzada tecnología consigue además de impermeabilizar, hacer un hormigón más duradero y protegido a los agentes externos. (Krystaline Technology S.A, 2019)

METODOLOGÍA

El edificio Brick, está constituido por un diseño estructural que en armonía con el arquitectónico, posee algunas vigas que llegan en diagonal a las columnas con respecto a los ejes establecidos de las mismas, por tal motivo, adaptar la modulación de la losa al sistema de encofrado de Atex representó un proceso que se fue optimizando sobre la marcha, ya que los casetones en obra tienen presentaciones en dos dimensiones estándar y de forma exclusivamente rectangular, que además limitaban los paños también rectangulares ya considerados en el diseño estructural a ajustarse a dichas dimensiones, situación que no fue considerada viable ya que todos los diseños del edificio deberían ser replanteados en base a los cajones, conceptuando así los diseños y redes como inamovibles y el proceso constructivo como transformable en pro de las necesidades. Luego de analizar el sistema, se adoptaron medidas de aprovechamiento y recuperación de madera para cajones perdidos en la losa, que sustentaron una propuesta ambiental para la obra y además, facilitaron el proceso constructivo en términos de la modulación y permisión para el uso de Atex. El sistema de encofrado de losa Atex, se convirtió entre otras

cosas, en una característica primordial en el proyecto, con lo cual se esperaba obtener acabados con alto estándar de calidad sin necesidad de recurrir a extensas jornadas de restauración en los diferentes niveles para que arquitectónicamente se pudiera dejar la losa a la vista.

Para el cumplimiento de dicho objetivo, se identificaron durante el proceso de construcción las dimensiones de los diferentes cajones, los elementos necesarios para el armado eficiente de la losa bajo el método establecido por Atex, los tiempos de ejecución y desencofrado de este procedimiento, las características del sistema y las ventajas, desventajas y costos en la implementación del mismo, mediante mediciones en campo de rendimiento de cuadrillas y materiales usados, estudios de escritorio para modular y adaptar el sistema al proyecto, controles de costos para compararlos con el sistema convencional de encofrado con porones, además de reuniones con los profesionales para conocer proyectos preliminares con y sin el uso del sistema Atex.

A la par de la implementación del método de Atex en la construcción de las losas, se identificaron las dosificaciones, uso adecuado, características y ventajas que representa el empleo de Krystaline durante los vaciados, y se realizó un análisis del costo/beneficio del producto, teniendo en cuenta sobre todo, los futuros ahorros que puede sustentar la constructora por postventas. Esto fue confrontado con las experiencias previas del constructor y proveedor, conociendo los antecedentes en proyectos ya concluidos con impermeabilizantes por cristalización y los que carecen del aditivo, permitiendo obtener un panorama completo de la construcción en Medellín bajo los sistemas convencionales y las aplicaciones recientes al mismo que pueden significar evolución para el sector y hacer las distinciones pertinentes entre ambos.

Así mismo, se examinó el proceso constructivo de la mampostería reforzada en la obra y su articulación con el uso de Brickaffix para el reemplazo del mortero de pega típico, además del comportamiento estructural durante el levantamiento de los muros, los costos implicados y estadísticas, los tiempos de ejecución, transporte interno de material y la optimización del desperdicio. También se contó con retroalimentación de los creadores de Brickaffix con las pruebas de laboratorio realizadas al producto y las propiedades físicas y químicas que no eran evidentes en el proyecto, pero fueron necesarias para generar un contraste apropiado y otorgarle uso como material de trabajo.

Finalmente, se analizaron, compararon y reportaron los resultados y experiencias adquiridas del sistema de encofrado de losa de Atex, la impermeabilización por cristalización de Krystaline y la pega de mampostería con Brickaffix, para reconocer, plasmar y equiparar desde el ámbito constructivo las características, ventajas, desventajas, costos, tiempos, desperdicios, acabados e impacto ambiental sobre

otras prácticas constructivas, como métodos innovadores en la ciudad de Medellín efectuados en el proyecto Brick.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

ATEX

La implementación del sistema de encofrado de losa ATEX se concibe sobre los sistemas tradicionales con innumerables ventajas ambientales, temporales, arquitectónicas y logísticas, sin embargo para un funcionamiento óptimo del sistema es necesario que sea considerado desde los diseños preliminares del proyecto, así los módulos y espesores de elementos estructurales tendrán como base las dimensiones especificadas de los casetones por la empresa y permitirían que el proceso constructivo sea mucho más ágil y práctico como está planteado el sistema: las reglas de los cajones que sirven como apoyo y alineamiento de los mismos, se apoyan a su vez en ciertos puntos en un elemento llamado cabetex, el cual permite un apuntalamiento fijo en los nervios de la losa aún después de desencofrada a los 3 días de vaciado el elemento y sin necesidad de trasladar los tacos entre una zona y otra, encima de una pareja de reglas se ubican los casetones con dimensiones estándar de 80cm de largo x 72.5cm de ancho x 25cm de espesor y 40cm de largo x 72.5cm de ancho x 25cm de espesor, que por su forma semi-cónica y con base cuadrada, permiten que se adapten las medidas entre ellos sin necesidad de marcación adicional en el entelero, finalmente se ubican sobre y entre los cajones en el sentido paralelo a los nervios de la losa los anuladores de nervio, que generan unión entre dos casetones para percepción de una zona unidireccional más amplia y que se traduce además en ahorros de hormigón en el momento del vaciado.



Ilustración 1. Armado de losa con casetones de ATEX- Edificio Brick.

El armado de un módulo de 4.65m x 3.65m tarda aproximadamente 35 minutos para la ubicación de cinco reglas, 24 casetones y anuladores entre ellos, es un proceso de armado muy eficiente que no requiere de otro soporte inferior además de las reglas; el armado para el proyecto constaba de 7 módulos y 3 zonas de ajuste (donde entre vigas se podían ubicar entre 3 y 6 casetones alineados) que se pueden efectuar por completo en 5 horas efectivas de trabajo de un oficial con un ayudante entendido. Para el edificio, el desafío se encontraba en que, al no ser diseñado estructuralmente para el uso de este sistema, se consideraban vigas profundas en desnivel con el acabado inferior de la losa, a las cuales para el vaciado se les debían realizar laterales en lámina de madera sobre las cuales se iban a apoyar las reglas de guía de Atex restándole funcionalidad al cabetex y por tanto, omitiendo su uso, lo que dilata el proceso de armado en al menos 1.5 veces el tiempo que se tardaría bajo la construcción planteada por el método. Sin embargo, el desencofrado de la losa luego de pasado el tiempo de curado, tarda aproximadamente 1 hora por módulo, teniendo en cuenta que la forma cónica de los casetones y el uso del desmoldante facilitan el procedimiento, ya que una vez retiradas las reglas guías de soporte, los cajones se desprenden sin necesidad de fuerza excesiva o daños en este.

En la *Ilustración 1*, se encuentran señaladas además las partes del sistema Atex usadas en el proyecto para el armado de la losa desde una vista en planta; la *Ilustración 2*, enseña los laterales de las vigas profundas del proyecto necesarios para darle el acabado a la losa y poder cumplir con los espesores y especificaciones estructurales de los diseños; por su parte, en las *Ilustraciones 3 y 4*, se observan las partes del sistema durante el proceso de construcción y desencofrado y las características físicas de ellas, en especial de reglas de apoyo y casetones.



Ilustración 2. Zonas con laterales para vigas profundas- Edificio Brick.



Ilustración 3. Ubicación de cajones en módulo- Edificio Brick.



Ilustración 4. Parte inferior de casetones para proceso de desencofrado- Edificio Brick.

En contra relación se encuentra el sistema tradicional, a pesar de ser un sistema que se acopla a cualquier tipo de necesidad pues se fabrica en base a las dimensiones especificadas por el proyecto, representan un tiempo de armado mucho más oneroso y mayor cantidad de material requerido en entelero para el soporte de los mismos (todo el área de la losa), se debe realizar un armado de cama de teleros completo para el soporte total de los porones, marcar en estos cada uno de los nervios, ubicarles una base de madera para acabado inferior y finalmente colocar las grandes masas de icopor entre el armado. Se puede considerar un sistema mucho más artesanal, gradual e irregular, ya que los nervios pueden desplazarse entre un módulo y otro, variar su espesor transversal y longitudinalmente y recrear situaciones en las cuales el nervio no cumple con el ancho mínimo requerido o genera un consumo adicional de concreto, y también considerando que los porones se deterioran por el uso, se van deformando por el tránsito del personal y el peso del concreto y se crean superficies irregulares que admiten masas complementarias de hormigón en el espesor estimado de la losa de entepiso que se traduce finalmente en costos extra no previstos.

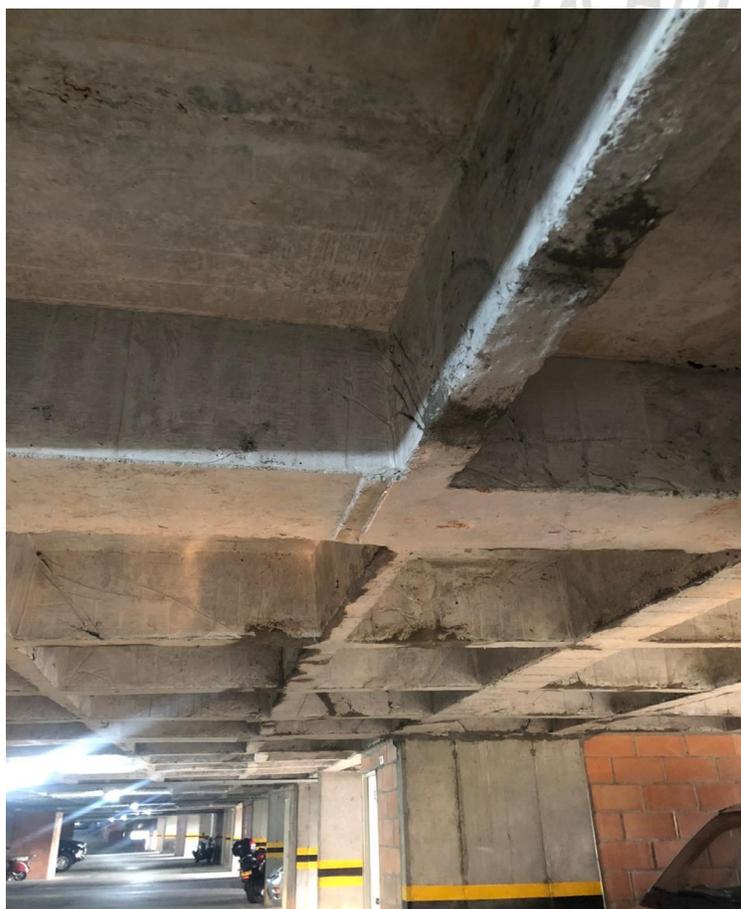


Ilustración 5. Nervaduras sin uso de Atex- Proyecto en ciudad de Medellín.



Ilustración 6. Losa con encofrado tradicional con porones- Edificio Boschetto.



Ilustración 7. Zonas con consumo adicional de concreto por deterioro en porones- Edificio Boschetto.

Los porones como sistema tradicional, tienen acogida en la ciudad de Medellín por la mayoría de las constructoras pero este método tiene entre otras cosas, un impacto ambiental bastante alto debido al uso del poliestireno expandido y a la dudosa deposición final de los desechos de la obra, en algunas ocasiones las empresas que fabrican este material lo reutilizan pero en otras, no se sabe a dónde llega este residuo altamente contaminante y de difícil descomposición. Los porones pueden durar para todo un proyecto pero dependiendo del trato y la misma calidad, se deben reponer algunas unidades entre una losa y otra generando un crecimiento en el desecho inicial y además en los costos al realizarle al proveedor reajuste de precio luego de ciertas unidades repuestas, aun así, entre nivel y nivel, es inherente el uso constante de plástico que al envolver el icopor para conformar el porón, es dañado en el proceso de desencofrado y en la mayoría de las ocasiones quedan residuos del mismo en la losa con dificultad o imposibilidad para ser retirados. Sin mencionar el espacio de almacenamiento que ocupa un juego de porones para encofrado de losa y su transporte interno y entre niveles se dificulta por las grandes masas moduladas.

Ambientalmente, Atex no genera un impacto tan elevado en los proyectos, “disminuye un 80% de basura en el proceso” (ATEX, 2020) y además permite la reutilización de casetones más de 150 veces, por lo que se pueden simplemente alquilar y la empresa los distribuye entre un proyecto y otro, con este sistema se genera una obra más limpia (sin residuos de icopor alrededor del proyecto o atrapado en las losas) y con acabados de calidad inmediatamente después de desencofrado y sin necesidad de resanar la parte inferior, que permitirían un convenio con los planteamientos arquitectónicos y ahorro en gastos administrativos de limpieza y mano de obra en restauraciones.



Ilustración 8. Acabados de losa zona alcoba principal- Edificio Brick.



Ilustración 9. Acabados de losa una vez desencofrado, zona social- Edificio Brick.

Brick, como propuesta ambiental adicional y en base a la modulación estructural del proyecto donde las vigas son diagonales respecto al eje de columnas, posee zonas en las cuales se realizaron cajones de madera reutilizada y sobrante de otras actividades del proyecto considerados perdidos dentro de la losa, con esto se disminuyeron los residuos de madera producidos por la obra y se destinaron dentro del mismo proyecto sin representar ninguna consecuencia negativa estructural o de salubridad, sino en uso como aligeramiento de regiones en las cuales los cajones no se moldeaban.



Ilustración 10. Recuperación de material en losas, zonas de ajustes por modulación- Edificio Brick.

PRESUPUESTO ENCOFRADO DE LOSA SISTEMA ATEX				
DESCRIPCIÓN PARA PROYECTO	UN	CANTIDAD	V.UNITARIO	V.TOTAL
Atex (Incluye castones, reglas, cabetex y anuladores de nervio)	m2/día	25344.00	\$ 1,450.00	\$ 36,748,800.00

<<Más económico
7.2%

PRESUPUESTO ENCOFRADO DE LOSA SISTEMA TRADICIONAL				
DESCRIPCIÓN PARA PROYECTO	UN	CANTIDAD	V.UNITARIO	V.TOTAL
Porones	m2	2112.00	\$ 18,756.00	\$ 39,612,672.00

Tabla 1. Costos de implementación en el proyecto de sistema Atex vs. Sistema tradicional

La *Tabla 1*, corresponde al análisis comparativo de costos del proyecto para 16 losas de un área total de 207m² del sistema de encofrado de losa Atex contra los usados convencionalmente: para el presupuesto de encofrado con Atex, se tienen en cuenta 132m² de aligerante, por 16 losas en el proyecto, cada una armada y vaciada en seis días, además de que se requieren dos equipos completos de armado para el edificio, teniendo en cuenta que mientras se realiza el desencofrado a los tres días del piso ya se deben encontrar armados varios módulos del siguiente para cumplir con los tiempos estipulados según programación de obra; mientras que para el presupuesto de encofrado por porones, se hace una evaluación de costos de m² vaciado, es decir, los 190m² de área de la losa por los 16 niveles vaciados correspondientes. El estudio netamente económico en adquisición de equipo, ya demuestra un 7.2% de ahorro esto sin tener en cuenta: reajustes al precio por deterioro en los porones (que usualmente se realiza por m² a reponer sujeto a acuerdos con el contratista), ni la mano de obra para resanes finales en la estructura por las mismas irregularidades de uso que va generando el sistema tradicional.

El área del aligerante representa un 64% del área total de la losa, así, el análisis de precios unitarios para ambas metodologías, se basa en dicho porcentaje multiplicado bien sea por el tiempo que tarda el armado y vaciado de la losa (en el caso de Atex para convertirlo a m²) o por el uso que se le da al encofrado (para los porones, cuyo cobro es por m² de losa vaciado), representado en la *Tabla 2*. Por su parte, en la *Ilustración 11*, se pueden observar las comparaciones directas de estos sistemas de encofrado, resaltando que en términos de costos, ambientales, arquitectónicos, y constructivos, Atex tiene mayores beneficios que los porones como aligerantes de losa y como sistema más usado en la ciudad.

PRESUPUESTO ENCOFRADO DE LOSA SISTEMA ATEX				
DESCRIPCIÓN PARA m2	UN	CANTIDAD	V.UNITARIO	V.TOTAL
Atex (Incluye castones, reglas, cabetex y anuladores de nervio)	m2	3.84	\$ 1,450.00	\$ 5,568.00
PRESUPUESTO ENCOFRADO DE LOSA SISTEMA TRADICIONAL				
DESCRIPCIÓN PARA m2	UN	CANTIDAD	V.UNITARIO	V.TOTAL
Porones	m2	0.64	\$ 18,756.00	\$ 12,003.84

Tabla 2. Costos de implementación por m2 de sistema Atex vs. Sistema tradicional

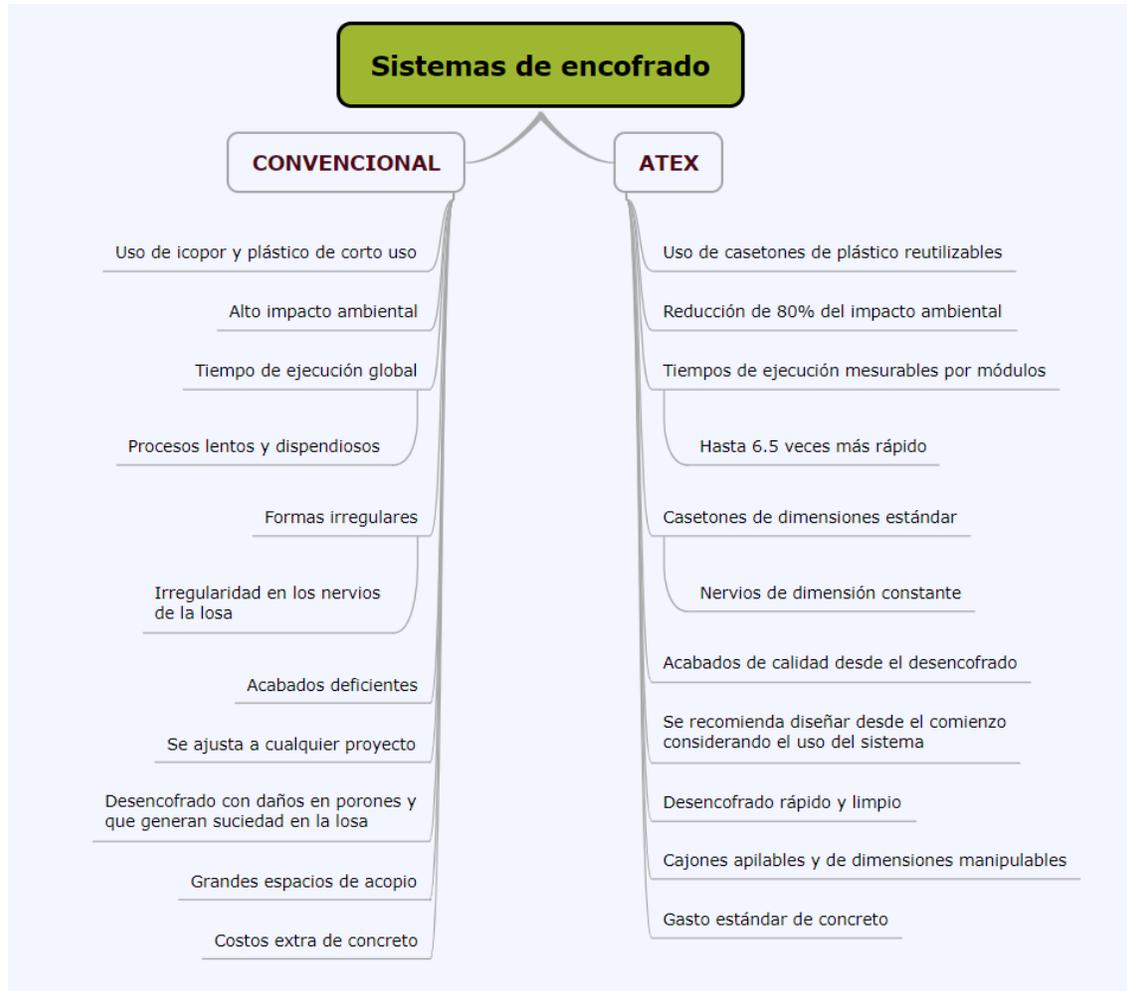


Ilustración 11. Comparativo de sistemas de encofrado de losa.

KRYSTALINE

La tecnología de impermeabilización por cristalización proporciona grandes beneficios a las estructuras de concreto armado y las empresas constructoras, la generación de cristales internos en el hormigón al entrar en contacto con el agua son un método eficiente de auto-reparación de las edificaciones por el movimiento estructural, en el caso de Krystaline, si el producto es incorporado en la mezcla, acepta 0.5mm de fisuración para realizar este proceso que les proporcionan funcionamiento de por vida. La consideraciones que se deben tener desde el primer día para el uso de este aditivo, son de carácter constructivo, ya que se debe tener cuidado con el fraguado para activar adecuadamente el producto con la presencia de agua, por ende, el funcionamiento de este depende netamente del cuidado del constructor y de que se sigan todas las especificaciones técnicas y de dosificación.

Para la activación de Krystaline se requieren $300\text{kg}/\text{m}^3$ de cemento y 2% del peso del cemento en Krystaline en polvo (si se usa para reparar e incorporar en la mezcla), además la relación agua/cemento máxima debe ser de 0.5, es decir, que por cada metro cúbico de concreto de 21MPa se necesitan 6kg de Krystaline integrado a la mezcla para un funcionamiento óptimo. Si el producto es superficialmente aplicado se necesita $1\text{kg}/\text{m}^2$, lo que resulta más costoso que añadido en la mezcla sumado con la mano de obra ($\$3500/\text{m}^2$ a 2020), además de que se debe aplicar antes de que inicie el proceso de fraguado para que pueda de forma superficial tener adherencia y admisión dentro de la mezcla de concreto. Se sugiere añadir a cubiertas (regiones que durante toda su vida útil estarán expuestas a la acción del agua) microfibras de polipropileno, las cuales sirven para control de dilataciones y contracciones en la losa y prevenciones de futuras fisuras y humedades.

Se puede hacer uso de Krystaline para sellar fisuras por asentamiento de las estructuras como una impermeabilización negativa para el concreto, es primordial escarificar, ya que garantiza la adherencia del producto con el hormigón totalmente curado al abrile los poros; en la zona de ingreso efectuar una regata de 2cm de ancho x 2cm de profundidad a lo largo de toda la fisura, si es el caso intervenir aristas con nervios o losas con la misma regata a 45° ; se aplica Krystaline en forma circular para que toda la zona quede impregnada y no quede ningún poro si tapar; la dosificación para esta mezcla es únicamente de Krystaline con agua, pues la reacción con el cemento será con el que se encuentra en los elementos ya fundidos. Luego de aplicado, otro paso fundamental es la hidratación de la zona intervenida mínimo de 3 a 4 hidrataciones en el día durante al menos 3 días. Las impermeabilizaciones de este tipo, tienen una característica y es que permiten ver el aforo de agua desde el negativo del ingreso, por lo que se cierra esa salida del agua en un perímetro de al menos 15cm que curará con la hidratación que se le dé y adicionalmente con el agua de la fisura hará que se formen más cantidad de cristales, a comparación de las reparaciones en superficie en las cuales es difícil interpretar el punto de ingreso y se requiere generalmente de múltiples reparaciones.



Ilustración 12. Tratamiento de fisuras en pared externa de jardineras- Edificio Boschetto.

A pesar de que no es frecuente el uso de aditivos por la creencia generalizada de que su alto costo no justifica su utilización en el concreto de manera rutinaria, si se hace un estudio detallado del incremento en el costo del m³ de concreto (incremento que normalmente oscila entre el 0.5 al 5% dependiendo del producto en particular), y de la economía en mano de obra, horas de operación y mantenimiento del equipo, reducción de plazos de ejecución en las labores, mayor vida útil de las estructuras, etc., se concluye que el costo extra es sólo aparente en la mayoría de los casos, en contraposición a la gran cantidad de beneficios que se obtienen (Pasquel Carbajal, 1998)

KRYSTALINE 1

Final del proceso

Genera una reacción mediante la cual se forman cristales que rellenan los poros y conductos capilares del hormigón impermeabilizándolo en todo su volumen.

www.crystalproof.co



Ilustración 13. Krystaline usado en el proyecto. Recuperado de: Crystalproof.

Efectivamente, el uso de Krystaline representa un ahorro en mano de obra de impermeabilización adicional a las zonas y sin utilizar el aditivo se generan más gastos en reparaciones que implican levantar

lo afectado, reparar, realizar pruebas y cuando finalmente sean exitosas, cerrar; el proceso además de ser largo, es más costoso porque generalmente son áreas reducidas que no tienen el mismo costo que en grandes volúmenes para los contratistas y puede ocasionar daños y molestias a terceros. Es entonces como el análisis en presupuestos de este tipo de aditivos debe ser basado en el costo/beneficio que se obtiene y en la evaluación de los potenciales gastos a futuro. Sin embargo, en la *Tabla 3*, se puede observar como el uso de Krystaline comparado con sistemas de impermeabilización como mantos representa solamente un 55.1% de ahorro solo en la aplicación e instalación, sin tener en cuenta los gastos a futuros que se pueden mitigar.

PRESUPUESTO IMPERMEABILIZACIÓN CON KRYSALINE				
DESCRIPCIÓN PARA m2	UN	CANTIDAD	V.UNITARIO	V.TOTAL
Impermeabilización losas con Krystaline (mezclado en concreto)	m2	1.00	\$ 46,230.00	\$ 46,230.00
<< Más económico 55.1%				
PRESUPUESTO IMPERMEABILIZACIÓN CON OTROS SISTEMAS				
DESCRIPCIÓN PARA m2	UN	CANTIDAD	V.UNITARIO	V.TOTAL
Regatas para instalación mantos	ml	4.00	\$ 7,101.00	\$ 28,404.00
Impermeabilización losa con manto	m2	1.00	\$ 74,564.00	\$ 74,564.00
			\$	\$ 102,968.00

Tabla 3. Costos de implementación por m2 de Krystaline sobre impermeabilización con manto.

No está comprobado pero el uso de Krystaline produce un aumento en la resistencia a la compresión del concreto, se nota que las muestras de cilindros tomadas en varios proyectos con uso de Krystaline a los 28 días generan percentiles de incremento en la resistencia del hormigón, entre las posibles causas de este fenómeno se puede asumir que el aditivo satura la porosidad de la mezcla lo que genera una masa unitaria más compacta y por tanto, mayor resistencia a la compresión.

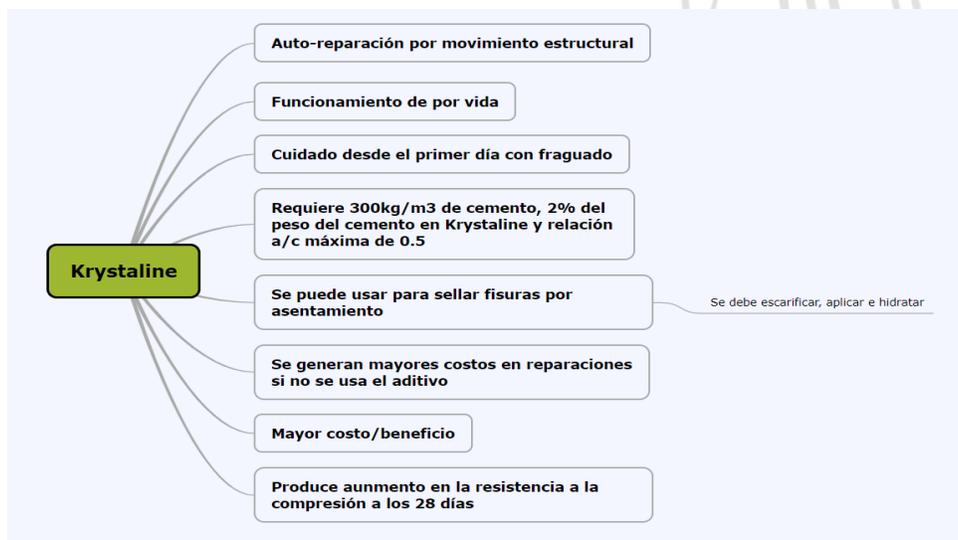


Ilustración 14. Características de Krystaline.

BRICKAFFIX

La mezcla lista para la pega de mampostería, Brickaffix, de fácil aplicación, alta resistencia y adecuada elongación, posee nanotecnología que incorpora resinas poliméricas y aditivos especiales con un rendimiento de 1.7 a 2kg por metro cuadrado de mampostería (Brickaffix, 2018). Se utiliza en reemplazo del mortero de pega tradicional que según especificación en planos estructurales es de dosificación 1:4 para adobes, por un producto listo para usar y de formulación uniforme durante la construcción de muros, es decir, que no se efectuarán mezclas para pega de adobes durante el proceso constructivo de la mampostería a gusto del oficial que en ocasiones no cumple con las especificaciones mínimas requeridas o por el contrario, la mezcla queda sobrecargada y se generan gastos adicionales de cemento en la obra, derivando a gastos efectivos de materiales por metro cuadrado como un dato valioso para la evaluación en controles presupuestales y de inventario. Entre los demás beneficios que se pueden identificar del producto se encuentra la facilidad para la logística que se desarrolla en el proyecto, debido a que las presentaciones son compactas y ligeras se concibe que cada empleado pueda transportar su material de trabajo para la jornada sin necesidad de ocupar las máquinas de elevación abasteciendo cada piso de arena, cemento y adobe, sin tener en cuenta materiales de las demás actividades que se estén ejecutando en paralelo con la mampostería de interior; se tiene menos acopio de material de playa en la obra y menos consumo y almacenamiento de cemento.



Ilustración 15. Aplicación de Brickaffix para levantamiento de muros de mampostería. Cortesía: Bricka S.A.S

Facilita la supervisión técnica de los proyectos además de que elimina la variabilidad de la calidad de la obra, con esto en mente, se puede decir, que garantiza que las dovelas sean llenadas con el material correspondiente (grout con resistencia a la compresión de 15MPa) y no que durante el proceso de levantamiento del muro se fue rellenando la perforación vertical de la dovela con la misma mezcla de pega que tiene especificaciones diferentes; cuando los muros son reforzados con grafil en la horizontal, según el refuerzo especificado en los planos estructurales (caso de Brick cada 3 hiladas de ladrillo), se evidencia que se está ubicando el refuerzo establecido y facilita las revisiones técnicas posteriores, esto a su vez, puede ser considerado una desventaja, ya que finalmente en estas hiladas por tema de niveles en el muro si se requiere del uso de pega convencional donde el Brickaffix no genera el espesor suficiente de las barras de 5mm. El producto satisface con las Normas Técnicas Colombianas que rigen la mampostería reforzada en el país, con sustento técnico en pruebas de laboratorio documentados en la *Tabla 4*.



Ilustración 16. Muros con uso de Brickaffix, supervisión técnica de ubicación de grafil- Edificio Brick.

PRUEBAS EN MURETES DE MAMPOSTERÍA	NORMATIVA	RESULTADOS CON BRICKAFFIX
Compresión (Resistencia a la compresión de la mampostería)	NTC 3495	Mayor a 2.1MPa
Flexión (Resistencia a la flexión de la pega)	NTC 3675	0.18MPa
Tracción (Esfuerzo cortante del muro)	NTC 4925	0.71MPa

Tabla 4. Pruebas de laboratorio y cumplimiento de normativas Brickaffix.

El tiempo de ejecución de muros tiene disminuciones considerables al tener en cuenta sobre todo los tiempos de preparación de la mezcla y el proceso de secado, se hace uso de un producto que solo debe abrirse para usarse y se puede realizar el levantamiento total de un muro en una misma jornada, sin problemas de asentamientos en las juntas, debido a que el proceso de secado inicia a los 15 minutos y a las 72 horas ya se encuentra completamente seco y listo. La presentación de Brickaffix también reduce el desperdicio de materia prima (0.1kg/m² con Brickaffix vs. 375kg con mortero tradicional), estos controles se suscitan primordialmente en los inventarios, stock de obra y valores finales ejecutados. En complemento, el producto restringe el impacto ambiental que se produce con el uso del mortero de pega, reduciendo el agua, las emisiones de CO₂, la energía consumida en producción y el material de playa, es un producto disruptivo que cambia la forma de pegar muros en mampostería, agiliza el proceso, lo hace más limpio, seguro, económico y ecológicamente eficiente, transformando el proceso productivo de la construcción (Brickaffix, 2020), lo cual lo hizo merecedor del Premio de Innovación Camacol 2020.

Beneficios Ambientales

Cuadro comparativo para adherir un muro de un metro cuadrado					
Elemento	Agua		Emisión CO ₂	Energía	Arena
Mezcla Tradicional	 7,33 Litros	En elaboración de mezcla	 600 Gramos	 1.2 Kw	 40 kilos
	 2 Litros	Humedecimiento de ladrillos			
Brickaffix	 0,13 Litros	En elaboración de mezcla	0	 0,067 Kw	0

Tabla 5. Cuadro comparativo impacto ambiental mezcla tradicional vs. Brickaffix. Cortesía: Brickaffix.

Por su parte, la evaluación de costos del Brickaffix en términos generales no representa un ahorro significativo y es muy equiparable con el sistema convencional (diferencia de costos del 3.8%, de acuerdo con la *Tabla 6*), inclusive el costo de la mano de obra por m² no tiene diferenciación por lo cual no se

considera dentro del cuadro, el cambio que si se produce es en reducciones de tiempo de ejecución total de un proyecto; en el detalle, se deben analizar los costos ocultos de descargue, adecuación de patios para almacenamiento, transporte interno, desperdicio, ocupación de las máquinas de elevación, tiempo de contratación de mano de obra, entre otros factores, que determinan costos importantes para diferenciar uno de otro y marcar ahorros adicionales desde el 30%, según plan de ejecución de cada proyecto.

En el análisis se percibe además, que hay un mayor gasto de adobes en la ejecución de muros con Brickaffix que con la mezcla tradicional, esto ocurre debido a que la pega entre un ladrillo y otro es usualmente de 2.0cm según especificaciones en planos estructurales, mientras que con la pega lista para usar el espacio entre estos es mínimo, por lo cual no se considera ningún espesor. Las *Ilustraciones 17 y 18*, representan las distribuciones de mampostería interna con ladrillos de dimensiones 20x40x10 con cada una de las tipologías de pega, se resalta de ellas, que con la misma cantidad de adobes que se construye 1m² bajo el sistema de Brickaffix, se ejecutan 1.12m² de mampostería con mortero de pega, eso significa que en realidad para la construcción de muros con mezcla tradicional se requieren 11.16 ladrillos y 12.5 con Brickaffix, resultando un dato en el comparativo de costos de la *Tabla 6*, crucial al momento de no generar mayor economía de costos directos en el comparativo entre ambos métodos.

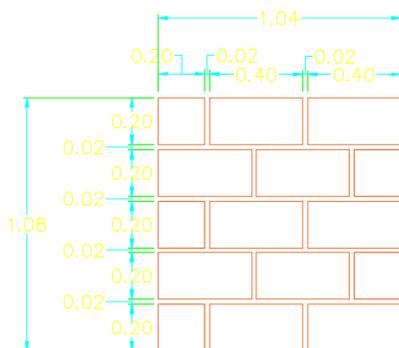


Ilustración 17. Distribución de mampostería construida con pega tradicional.

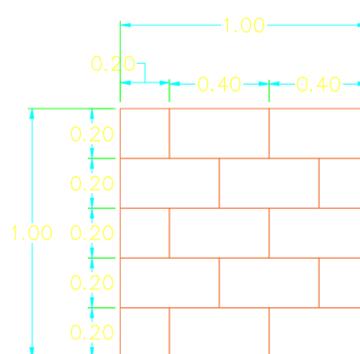


Ilustración 18. Distribución de mampostería construida con Brickaffix.

COMPARACIÓN BRICKAFFIX VS. MEZCLA TRADICIONAL			
DESCRIPCIÓN PARA 1m2	Mortero Tradicional (Cemento + arena)	Brickaffix	%
Compra del material de pega	\$ 5,680.00	\$ 6,045.00	-6%
Compra de adobes	\$ 11,494.80	\$ 12,875.00	-12%
Transporte a la obra	\$ 2,506.00	\$ 615.00	75%
Preparación	\$ 513.00	\$ -	100%
Transporte de desperdicio	\$ 104.00	\$ -	100%
Total	\$ 20,297.80	\$ 19,535.00	3.8%

<<Más económico

Tabla 6. Comparativo de costos mortero tradicional vs. Brickaffix

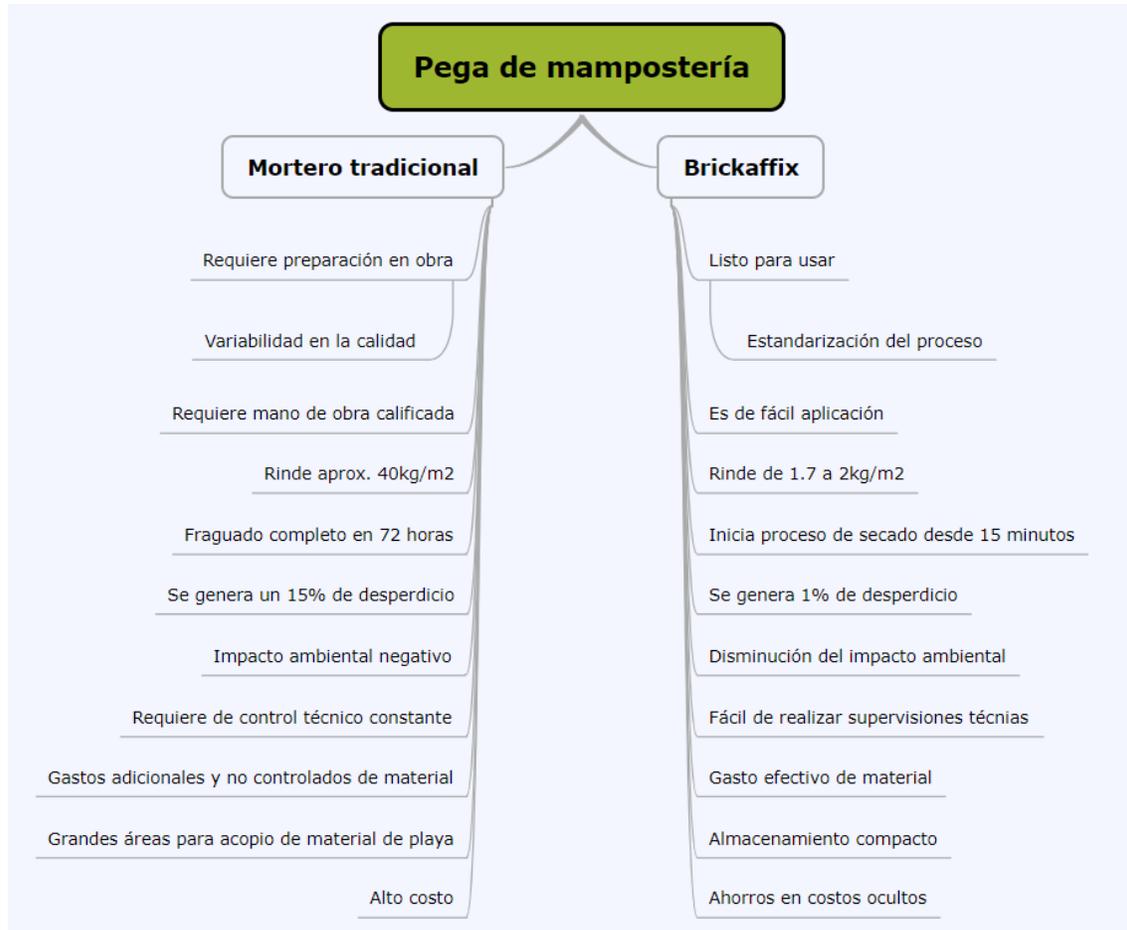


Tabla 7. Comparativo sistemas para pega de mampostería.

CONCLUSIONES

- Se puede cambiar y evolucionar en la manera de construir en la ciudad de Medellín, implementando sistemas y tecnologías nuevas para el país que optimizan los recursos, costos y tiempos de ejecución, basados en análisis detallados de cada propuesta y con proyecciones económicas de los costos ocultos y los ahorros futuros por reparaciones no necesitadas en el proyecto de tipo postventas.
- Los procesos ejecutados en el proyecto Brick, representaron un balance económico positivo para los controles de costos con 7.2% de ahorro para el sistema de encofrado Atex, 55.1% más económico para el valor inmediato de ejecución con impermeabilización por cristalización de Krystaline y 3.8% del costo directamente relacionado a la compra, preparación y ejecución de muros de mampostería reforzada con el uso de Brickaffix.

- Atex brindó al proyecto múltiples ventajas constructivas evaluadas en disminución en el tiempo de armado de la losa a pesar de la configuración estructural de la misma, reducción en el tiempo de desencofrado de la losa por el funcionamiento del sistema y la forma de los casetones, acabados de primera calidad sin necesidad de resanes posteriores, dimensiones estandarizadas y controlables en nervios y vigas que representan además un gasto uniforme de concreto, generación de un espacio de trabajo más limpio, menor área para acopio de material y una clara mitigación del impacto ambiental generado por la obra también por reutilización de material de construcción como cajones perdidos en la losa y el no uso de icopor y plástico como desecho entre el vaciado de un nivel y otro.
- El proceso de impermeabilización por cristalización que ofrece Krystaline, es óptimo en todo sentido para el funcionamiento de las estructuras de hormigón, le prevé al hormigón tecnología impermeable desde la incorporación a la mezcla que conforma cristales dentro de este, mitigando y auto-reparando la formación de futuras fisuras y humedades en zonas expuestas a la acción del agua. Por otro lado, requiere de cuidado y supervisión desde el primer día de vaciado, ya que tiene como proceso fundamental el curado de la mezcla que reacciona directamente con el agua.
- La supervisión técnica con el uso de Brickaffix, es una de las ventajas más representativas de este sistema ya que la mezcla lista para usar es de consistencia y resistencia uniforme que avala la calidad de la mampostería, permite que se observe la ubicación del grafil según diseños estructurales y se garantice el relleno de las celdas de refuerzo con mortero de inyección tipo grout, no con el mismo mortero de pega que no posee las características estructurales adecuadas para esta función. Los costos ocultos de Brickaffix, finalmente se convierten en tiempo, recursos, mano de obra, espacio, alquiler de equipos, transporte y desperdicios ahorrados por un producto de fácil uso y manipulación, además de que es un indicador estándar para el control presupuestal y el gasto efectivo de material en cada actividad del proceso de construcción de mampostería.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 2010. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente, NSR10. *Título D- Mampostería estructural*. Bogotá : s.n., 2010.

ATEX. 2020. Cartilla: ATEX Colombia. [En línea] 2020. [Citado el: 14 de febrero de 2020.] <http://atexcolombia.com.co/>.

ATEX. 2018. Catálogo técnico para calculistas. [En línea] 2018. [Citado el: 27 de agosto de 2020.] https://www.atex.com.br/upload/PDFCalculista/Arquivosite-catalogotecnicoparacalculistas_636758910481769151.pdf.

Barreda, W y Cahuata, F. 2018. Evaluación de la permeabilidad del concreto utilizando aditivos impermeabilizantes por cristalización aplicado a estructuras hidráulicas de concreto armado. Arequipa : Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018.

Blanco Blasco, A. 2011. *Estructuración y diseño de estructuras de concreto*. Lima, Perú. : Segunda edición, 2011.

Bornand, Jacques. 2012. Evaluación del desempeño de aditivos impermeabilizantes por cristalización como agentes promotores de la durabilidad del hormigón confeccionado con cementos Portland puzolánicos. Santiago de Chile : Tesis, Universidad de Chile, 2012.

Brickaffix. 2018. Brickaffix. *¿Qué es brickaffix?* [En línea] 2018. [Citado el: 23 de marzo de 2020.] <https://www.brickaffix.com/index.php>.

Departamento de Marketing. Sika, S.A.U. 2011. La impermeabilización por cristalización. 2011. págs. 38-39.

Harmsen, T. 2002. *Diseño de estructuras de concreto armado*. Perú : Tercera edición, 2002.

Mc Cormac, J. y Brown, R. 2011. *Diseño de concreto reforzado*. México : Octava edición con el código ACI 318-08, 2011.

Pasquel Carbajal, E. 1998. *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*. Lima, Perú. : Segunda edición, 1998.

Perles, P. 2009. *Hormigón armado*. Buenos Aires : Primera edición, 2009.

Rodriguez, A. 2015. Comparación del comportamiento estructural y económico de losas colaborantes unidireccionales con losas aligeradas. Cajamarca : Tesis, Universidad Nacional de Cajamarca, 2015.