

MERCADO DEL ADITIVO ACELERANTE PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES EN COLOMBIA EN EL MARCO DE LOS PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA 4G: UNA APROXIMACIÓN A SU ESTADO DEL ARTE¹

Por: Edgar Gómez Navas²

Resumen

Este artículo realiza un acercamiento al estado del arte del análisis del mercado de un aditivo acelerante para la construcción de túneles en Colombia, dentro del marco actual de los proyectos de infraestructura vial de cuarta generación. Para lograr este objetivo se han estudiado una serie de referencias bibliográficas (artículos, normas, trabajos de investigación previos); bibliografía relacionada al tema de estudio, en contextos como el marco legal para los proyectos de infraestructura 4G, cronología del desarrollo de la infraestructura vial en Colombia a partir de la década del noventa; escenarios actuales de los proyectos 4G, en materia de situación financiera, ejecución real e impacto en el ámbito nacional, junto con estudios recientes sobre el entorno actual de productos de construcción y proveedores, además de las tendencias en investigación sobre las tecnologías actuales en materia de acelerantes para concreto lanzado. A partir de la correlación de la anterior información, se busca determinar tendencias en el mercado actual del aditivo acelerante para la construcción de túneles en Colombia y métodos para mejorar el desempeño competitivo de los proveedores de dicho aditivo.

Palabras clave: Aditivo acelerante, infraestructura, concreto lanzado, túneles, proveedores.

¹ Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Administración, Escuela de Administración. Universidad EAFIT.

² Ingeniero Civil, estudiante del tercer semestre de Maestría en Administración MBA.

Abstract

This article makes an approach about the state of art concerning the market analysis of an accelerator additive for the tunnelling construction in Colombia, within the current framework of the fourth generation infrastructure projects. In order to achieve this objective, a series of bibliographical references have been studied (articles, norms, previous research works); bibliography related to the subject of study, in contexts such as the legal framework for 4G infrastructure projects, chronology about the development of road infrastructure in Colombia since the nineties; 4G projects current scenarios, in terms like financial situation, real execution and national impact, with recent studies on the current environment of construction products and suppliers, as well as trends in research on current technologies in the field of accelerators for shotcrete. Based on the correlation of the previous information, we will determine trends in the current market of the accelerator additive for tunnelling construction in Colombia and methods to improve the suppliers competitive performance of that product.

Keywords: Accelerator additive, infraestructure, shotcrete, tunnels, suppliers.

Introducción

El desarrollo de infraestructura vial en el país con vinculación de participación privada, se remonta a mediados de la década de los años noventa, con el lanzamiento de la primera generación de concesiones viales. Desde entonces, la participación privada en infraestructura vial se ha mantenido, producto de la oferta de proyectos a través de los programas de segunda y tercera generación de concesiones que buscaron recoger los aciertos alcanzados y mejorar algunos aspectos presentados durante la ejecución de los contratos.

La primera generación inició en 1994 y se suscribieron 11 contratos de concesión de carreteras, enfocados principalmente a labores de rehabilitación y ampliación de calzadas en 1.649 km de vías, concentrados en aquellos tramos donde mayor tráfico se presentaba, pero sin incorporar criterios de continuidad de corredor dentro de la red vial nacional.

En 1995 se definen políticas tendientes a mejorar temas relacionados con aspectos financieros, esquemas de responsabilidad y riesgos, entre otros, que fueron la base de la segunda generación de concesiones viales, en la cual se intervinieron 470 km de vías como parte de una estrategia orientada hacia la construcción de nuevos tramos de vías, de segundas calzadas en los accesos a las principales ciudades y la rehabilitación de tramos viales existentes.

Posteriormente, en 1998 se identificaron los proyectos que hicieron parte de la tercera generación de concesiones y se realizaron ajustes normativos, como modificar aspectos relacionados con las prórrogas y adiciones en los contratos de concesión. En este programa, se incluyeron 3.557 km, destacándose el proyecto Ruta del Sol, que incorporó variables estructurales en temas de asignación de riesgos y criterios de adjudicación de contratos. (CONPES C. , 2013)

Actualmente Colombia se encuentra en una etapa de mejoramiento de toda su infraestructura vial, específicamente hablando de los proyectos de Cuarta Generación (4G) de Concesiones Viales de Colombia, proyectos que plantean la construcción y operación en concesión de más de 8.000 km de carreteras, incluyendo 1.370 km de doble calzadas, y 159 túneles, en más de 40 nuevas concesiones. Donde dichos proyectos tienen como objetivo principal, mejorar la competitividad del país, disminuyendo el costo y tiempos de transporte de personas y carga, desde los puntos de manufactura hasta los puertos de exportación. Con motivo de esta investigación, hacemos referencia a los aproximadamente 159 túneles viales a ejecutar en dichos proyectos, ya que es en estas obras en particular, donde más se usan los aditivos acelerantes para

concreto lanzado, material que se podría decir es de los más importantes para la ejecución de túneles. (Andrade Moreno, 2014).

Marco legal y evolución de los contratos de concesión vial en Colombia

Las reformas estatales de los años 1980-1990 implicaron cambios en el papel del Estado en Latinoamérica como principal proveedor de servicios públicos y de infraestructura. En Colombia este proceso inició desde el año 1990 e implicó aumentar la participación del capital privado en la provisión de infraestructura, a través de la privatización, de la tercerización y de la celebración de contratos de concesión. Estos contratos han evolucionado en el tiempo, debido al aprendizaje que el Estado ha conseguido, a las presiones e intereses de los inversores privados y a los diversos problemas presentados en concesiones anteriores.

Actualmente en Colombia existe una gran variedad de contratos de concesión que ha celebrado el Estado con el sector privado y que se pueden clasificar en tres categorías básicas: 1) de explotación de bienes del Estado, 2) de servicios públicos y 3) de obra pública. Para cada una de estas categorías existen marcos legales específicos que reglamentan su desarrollo. El presente artículo únicamente se refiere a los contratos de concesión de obra pública, relacionados directamente con la infraestructura de transporte vial (Pedroza Villegas, 2016).

En Colombia, de las veintidós (22) concesiones pertenecientes a las tres generaciones, todas han sido modificadas, ya sea por mayores requerimientos de inversión o por prórrogas en tiempo, lo que ha incrementado el costo de los proyectos, generando impactos fiscales al país.

En aspectos financieros, la primera generación se caracterizó por el manejo que le dio el Gobierno a los concesionarios en cuanto a garantías de tarifas, tráfico, ingreso y Tasa Interna de Retorno (TIR); lo cual se tradujo en riesgos limitados para el concesionario y un atractivo para

participar en las licitaciones. Es decir, cualquier sobrecosto o reducción de tráfico es asumido por el Estado. Después de analizar las desventajas que presentó la primera generación, el Gobierno, en la segunda generación, retira el concepto de Ingreso Mínimo Garantizado e incluye en el modelo económico el concepto de Ingreso Esperado, lo que se traduce en un plazo flexible del contrato para que el concesionario obtenga el ingreso esperado presentado en la adjudicación de la concesión. La situación que se plantea en la segunda generación, permite que el concesionario centre sus esfuerzos en la etapa de construcción de tal forma que el tiempo en ejecución sea mayor y, por ende, se genere una mayor TIR. Ya para la tercera generación, se incorporan agentes independientes con la finalidad de garantizar la adecuada financiación de los proyectos y se enfoca principalmente en el mecanismo del ingreso esperado.

Las generaciones tercera y cuarta, al igual que parte de la segunda, han mitigado los riesgos de sobrecostos trasladando en buena medida estos factores al concesionario. Este nuevo esquema de trabajo, permite que la estructuración de los proyectos se realice con estudios socioeconómicos más soportados y ajustados a la realidad de las zonas de influencia de los proyectos, con la finalidad de aumentar el interés de los mercados financieros y de capitales, para que tengan un mayor protagonismo y participación en el financiamiento de las concesiones, dejando atrás algunas de las falencias presentadas en la primera generación (Pedroza Villegas, 2016).

Cronología del desarrollo de la infraestructura vial en Colombia a partir de la década del noventa

Primera Generación

Los contratos de concesión de primera generación se caracterizaron porque el Estado garantizaba al concesionario un ingreso mínimo, con base en las proyecciones del recaudo de peajes durante el tiempo de la concesión, como contraprestación de la inversión que realizaría el privado en la infraestructura vial. Estos proyectos estaban enfocados principalmente en labores de rehabilitación y ampliaciones de calzadas.

Durante los años 1994 al 1997, se adjudicaron trece (13) contratos de concesión de la primera generación, con los cuales se pretendía rehabilitar y mantener 1.220 kilómetros de vías existentes, la construcción de 307 kilómetros de vías nuevas y 244 kilómetros en vías departamentales. Estas obras se presupuestaron con una inversión aproximada a los 869 millones de USD (Fainboim Yaker & Rodríguez, 2014).

El objetivo inicial del gobierno al implementar los contratos de concesión vial, era establecer mecanismos para garantizar que la inversión privada en infraestructura, se ajustara a las metas macroeconómicas, fiscales y presupuestales, realizando una adecuada asignación de riesgos entre las partes. Al mismo tiempo, se buscó tener una definición clara de los procesos de licitación, promoción y contratación (Cárdenas, Gaviria, & Meléndez, 2005).

Segunda Generación

La segunda generación de concesiones viales se enmarcó en los lineamientos recogidos en el documento CONPES 2775 de 1995, que pretendía reestructurar los riesgos de construcción y comerciales, trasladándolos al contratista y buscaba una mayor exigencia en su documentación técnica y financiera. Sin embargo, aún quedaban temas por solucionar, como el riesgo tarifario de los contratos, asumido por el Estado, ya que este incluía los incrementos de las tarifas para los peajes de forma contractual (DNP, 1991).

Uno de los cambios más significativos frente a los contratos de primera generación fue la introducción del criterio de adjudicación y selección, basado en el Ingreso Esperado a obtener por el contratista. Este nuevo factor, determinante para la selección, permitía modificar el tiempo de la concesión, dependiendo de la obtención del Ingreso Esperado, en un menor tiempo al pactado contractualmente, la concesión se terminaba y revertía el activo al Estado. Por el contrario, si terminado el plazo del contrato no se alcanzaba el Ingreso Esperado, la concesión se podía prorrogar por un máximo de 25 años. (Fainboim Yaker & Rodríguez, 2014)

Para esta generación se desarrollaron dos proyectos, el primero fue El Vino – Tobiagrande – Puerto Salgar – San Alberto, y el segundo se enfocó en la Malla vial de los departamentos del Valle del Cauca y Cauca. (Cárdenas, Gaviria, & Meléndez, 2005)

Tercera Generación

Según el Departamento Nacional de Planeación –DNP, mediante el CONPES 3045 de 1998, el gobierno estructuró un nuevo programa de concesiones viales denominado Tercera Generación, que inició a partir del 2001 y está compuesto por 10 proyectos. La extensión de las vías cubiertas por esta generación se aproximó a 1.772 kilómetros. Se puede decir que el proyecto más

relevante fue el tramo Zipaquirá – Palenque, con 371 kilómetros de mejoramiento vial (Pedroza Villegas, 2016).

La finalidad de esta generación es permitir la comunicación entre los centros de producción, consumo, distribución y/o comercialización para mejorar los procesos de exportación del país, a través de mejoras en la productividad y la competitividad. Como parte de la política de disminución del impacto fiscal, se buscaba también minimizar los requerimientos de inversión pública y los riesgos asumidos por el Estado.

En esta generación de contratos se mantuvo el criterio de adjudicación al menor Ingreso Esperado en peajes; frente al tema de riesgos, se mantuvieron los criterios establecidos en la generación anterior y se incorpora el concepto de evaluación y estructuración de proyectos en servicio y operación, que permitieran su adecuada financiación (CONPES, 1999).

Cuarta Generación

Con base en las experiencias de las tres primeras generaciones, el gobierno toma la decisión de presentar la cuarta generación de concesiones, de acuerdo con lo establecido en la Ley 1508 de 2012, mediante la cual se introducen las Asociaciones Público Privadas – APP y las mejores prácticas internacionales en lo referente a estructuración de proyectos (Banco de la República, 2014).

Corresponde a un programa de infraestructura vial en Colombia, basado en la construcción y operación en concesión de más de 8.000 km de carreteras, incluyendo 1.370 km de doble calzada, y 159 túneles, en más de 40 nuevas concesiones. Tiene como meta principal mejorar la competitividad del país, disminuyendo el costo y tiempos de transporte de personas y, en especial, de carga. Hasta octubre de 2015, se han estructurado tres 'olas' de contratos de las Vías

4G. Hace parte de uno de los proyectos más ambiciosos de la historia de la infraestructura en Colombia, con una inversión estimada de \$47 billones de pesos (Aproximadamente \$18.000 millones de dólares). Se prevé que las obras se ejecutarán en un plazo de 6 años, iniciando desde la fecha de adjudicación del contrato (Andrade Moreno, 2014).

Escenarios actuales proyectos infraestructura 4G

Financiero

Las concesiones viales de Cuarta Generación (4G) en Colombia surgieron como respuesta no solo a la imperiosa necesidad de contar con infraestructura de transporte acorde con las metas fijadas en el Plan Nacional de Desarrollo, dado el dramático rezago que tiene Colombia en este campo, sino a los problemas que ha enfrentado el Estado en la contratación de las obras de infraestructura en las últimas dos décadas.

Bajo esquemas anteriores, por ejemplo, el Estado pagaba anticipos en los proyectos, independientemente del cumplimiento del servicio; la participación de capital propio de los inversionistas era muy baja y no eran claros los criterios ni los mecanismos de resolución de conflictos cuando se materializaban riesgos relacionados con licencias ambientales, compra de predios, estudios de suelos, entre otros.

Todo lo anterior, entre otros factores, generaba incentivos inadecuados relacionados con el bajo desempeño y poco avance de las obras, que en no pocas ocasiones se tradujeron en pleitos altamente costosos, en tiempo y recursos, tanto para los contratistas como para el Estado, sin alcanzar el objetivo último, que era contar con un progreso satisfactorio en la infraestructura vial del país, así como el retorno esperado para los contratistas.

En ese sentido y como primera instancia, el Gobierno decidió crear un marco jurídico que permitiera generar contratos más eficientes, en los cuales se asignaran los riesgos a aquella parte que estuviera mejor capacitada para manejarlos, se impulsara la vinculación de capital privado en este tipo de proyectos, y se definieran mecanismos de pago atados a la disponibilidad y niveles de servicio de la infraestructura o servicio contratado. Con esta orientación principal, la Ley de Asociaciones Público Privadas - APP (Ley 1508 de 2012) y la Ley de Infraestructura (Ley 1682 de 2013) constituyen una gran apuesta del Gobierno Nacional para promover de manera significativa las obras de infraestructura en el país (Camacho, 2015).

Pero este capital no saldrá de un solo golpe. Se trata de un plan para ejecutar en seis años, que el gobierno pagará con peajes y vigencias futuras, a medida que se vayan realizando las obras. Esto significa que los contratistas a los que se les adjudiquen los proyectos tendrán que buscar la financiación por su cuenta (o capital propio), mientras que el gobierno les va girando paulatinamente los recursos. Se estima que del sector financiero y del mercado de capital local saldrán unos 20 billones de pesos para financiar a los consorcios constructores de las obras. Se trata de un valor significativo, pues en toda su historia el sector bancario se han otorgado créditos para infraestructura por 3 billones de pesos.

Otra de las alternativas para financiar estos proyectos, es por medio de los mercados financieros para conseguir créditos bancarios, en una primera etapa, o dinero por la vía de emisiones de bonos o acciones, cuando estén más avanzadas las obras. Los fondos privados de pensiones serán jugadores clave en esta etapa. Los 25 consorcios precalificados hasta el momento están conformados por firmas nacionales y extranjeras de España, Brasil, Portugal, China, Italia, entre otros países, para sumar músculo financiero (Sierra, 2014).

Proveedores materiales de construcción en Colombia

Colombia es un país que ofrece una gran cantidad de insumos para el mercado de la construcción, siendo capaz de autoabastecerse en un 95%. Ya que cuenta con suficiente materia prima para la elaboración de productos, como es el caso de las areneras, cementeras, etc. Colombia cuenta con grandes fábricas de insumos, aunque también se ven pequeñas empresas, algunas familiares (poco competitivas) que se dedican a la fabricación de otro tipo de materiales de escaso valor añadido. Sin embargo, la falta de competitividad de las empresas colombianas en sectores concretos, ha hecho que se siga recurriendo, e incluso aumente la demanda de producto extranjero, fundamentalmente aquel con mayor valor añadido.

La parcial reactivación que se viene dando en la economía desde finales de 2001, ha propiciado que el sector de construcción, y por ende la producción de insumos, presenten una mejora sustancial con respecto a lo observado en los últimos años, gracias al éxito que han tenido los programas de vivienda de interés social liderados por el Gobierno colombiano y las actuales concesiones de infraestructura de transporte (aeropuertos, puertos, carreteras y ferrocarriles), lo que significará la participación de capitales privados e importantes compromisos de inversión. La producción local de materiales de construcción es fundamentalmente de arcilla, productos pétreos y otros insumos naturales, metálicos, ferrosos y no ferrosos para la industria de la construcción de obra nueva, y la remodelación, incluyendo azulejos y piedra para pisos y paredes y bloques de cemento.

La de materiales de construcción se puede considerar una industria madura y fuerte en Colombia. Prueba de ello es la presencia de grandes empresas internacionales de materiales de construcción, una muestra de que el mercado colombiano se está convirtiendo en una apuesta firme por empresas de envergadura y cobertura internacional, algunas de ellas son: Schindler, Lafarge,

Mexichem, Holcim, Etex Group, Sika, Toxement, Basf, Pilkington, Cemex, Assa Abloy, Gaviota Simbac, Saint Gobain o Elementia.

Del mismo modo, existen empresas colombianas en el sector muy consolidadas a nivel nacional e internacional y que exportan materiales de construcción y elementos de decoración al exterior, como son: Corona, Alfa, Fiber Class, Andercol S.A, Induma, Eternit, Dexson, Pavco, Skinko Colombit, Santafé, Toptec, Argos, Cerracol o Eurocerámica.

Específicamente en materiales de construcción, el país exporta anualmente 320 millones de dólares en insumos, con los que se proveen a los mercados, principalmente de Estados Unidos, Venezuela, Ecuador, Perú, Centroamérica y las Islas del Caribe.

Las importaciones se centran en los materiales de mayor valor añadido, mientras que la producción local abastece el mercado de menor componente tecnológico y de diseño (Arce Galvez & Serrano López, 2015).

Escenario de proveedores de aditivo acelerante para concreto lanzado

A raíz de la alta competencia en el mercado de aditivos acelerantes para concreto lanzado para la ejecución de túneles en el auge actual de los proyectos 4G en Colombia, generada por los altos volúmenes de producto a comercializar, y a la poca diferenciación de tecnologías en estos productos entre los diversos proveedores, básicamente el precio se ha convertido en el factor decisivo para el posicionamiento de un aditivo acelerante en un proyecto tunelero en Colombia. Es por esta razón, que para que una empresa aditivera pueda tener esperanzas claras de competir en el mercado actual, debe plantear estrategias que materialicen una reducción de costos en la fabricación de estos aditivos, estrategia enfocada en los proveedores de materias primas para su elaboración. Y que como resultado de esta estrategia, dicha empresa aditivera logre una alta

rentabilidad, altos volúmenes de venta, crecimiento en su unidad de negocio implicada en este rubro, además de ganar y posicionarse en proyectos desde el inicio, ventaja clave en el mantenimiento del negocio, ya que por la inercia de estos proyectos, en cuanto a su ejecución y el gremio en el que se desenvuelve, es muy difícil, a menos de que se cometan graves equivocaciones, que se tomen decisiones de cambiar de proveedor en las diferentes fases constructivas del proyecto. Alcanzando también una tradición en el uso del producto en proyectos relevantes, aspecto muy clave y diferenciador en el gremio tunelero colombiano.

Acelerantes para Concreto Lanzado

Desde 1907, año de la invención del concreto lanzado hasta nuestros días, esta tecnología ha sufrido avances muy sensibles. Uno de los más importantes se constituye, sin duda, en el desarrollo de sustancias que hacen posible el fraguado instantáneo de la pasta de cemento, componente fundamental del mortero o del concreto.

El interés por acelerar el mortero (gunita) o concreto lanzado, está directamente relacionado con la necesidad de que el material no se escurra sobre una superficie vertical, ni se desprenda cuando es lanzado “sobre cabeza”. El mortero o concreto lanzado tiende a caer por su propio peso o como física reacción al impacto con la superficie sobre la que es aplicado.

El acelerar el lanzado permite que este no escurra por gravedad, mientras que la naturaleza viscosa (pegajosa) otorgada por los acelerantes hace que su rebote sea mínimo. El fenómeno de escurrimiento es amplificado en general por la naturaleza en extremo líquido, de un material que ha tenido que ser transportado dentro de mangueras de secciones cada vez más pequeñas. Así, de manera paradójica, requerimos un concreto o mortero en extremo líquido, que pueda ser impulsado con facilidad por un espacio muy pequeño y restringido, pero luego de salir por la

boquilla y estrellarse contra una superficie no resbale ni se desprenda. Como vemos, esto sería casi imposible, si no contásemos con la ayuda de la ciencia química, que nos permite inyectarle al fluido un acelerante instantáneo, justo antes de que salga disparado por el aire. De este modo al estrellarse con el soporte, permanece sobre él.

La posibilidad de rigidizar la pasta de cemento a los pocos segundos de entrar en contacto con los acelerantes instantáneos, hace que el material, ya colocado, permanezca adherido sobre la superficie y pueda incluso recibir sobre sí mismo más material lanzado, aumentando el espesor hasta varios centímetros sin caer o resbalar.

Los aditivos acelerantes actuales se agregan al concreto lanzado como porcentaje del peso del cemento, en un rango aproximado del 2% al 14%. Esto implica cantidades de 8 hasta 56 Kg/m³ (Hermida, 2014).

La naturaleza de los aditivos acelerantes para concreto lanzado es amplia y variada. De hecho, existen aditivos acelerantes de fraguado, que más que acelerar la reacción de los cristales anhidros, tiene un efecto sobre la reología de la pasta, transformando una pasta de cemento de naturaleza fluida, en una gelatina (tixotrópica y viscosa), que sin ser rígida, simplemente no resbala. Igualmente existen aditivos acelerantes instantáneos en estado líquido o sólido (polvo). De cualquier forma o naturaleza, estas sustancias son ampliamente usadas en la mayor parte de las aplicaciones de concreto y morteros lanzados.

Los objetivos fundamentales para usar acelerantes de fraguado son:

- Alcanzar el máximo espesor, incrementando la rigidez temprana, lo que aumenta la productividad reduciendo el número de pasadas.
- Reducir el desprendimiento y escurrimiento del concreto, mejorando la seguridad bajo la excavación.

- Acelerar el proceso de hidratación y por lo tanto incrementar el desarrollo de resistencias tempranas.
- Permitir que el concreto sea aplicado sobre superficies húmedas, reduciendo filtraciones.

Concreto Lanzado para la construcción de túneles

El concreto proyectado es una excelente herramienta en la estabilización y soporte de estructuras en tiempos muy cortos, así como para otras aplicaciones en concreto sin formaleta.

El concreto proyectado es también una interacción entre hombre, máquina y concreto. Es un material de alto desempeño que funciona bien solo cuando estos “tres elementos tienen éxito”. El hombre, personificado en el trabajo del lanzador, requiere gran habilidad técnica y dedicación al trabajo. Este debe poder confiar plenamente, tanto en la máquina como en el concreto proyectado. Es esa interacción y calidad de los componentes, lo que finalmente determina el éxito de la aplicación del concreto proyectado.

En estos días de creciente movilidad y limitación de espacio, la necesidad de infraestructura subterránea continúa aumentando. El concreto proyectado tiene un papel crucial para el logro de este requisito. Este es un método económicamente ventajoso y casi ilimitado técnicamente, lo que lo convierte en la mejor alternativa. Durante el siglo pasado, el concreto proyectado ha reemplazado los métodos tradicionales de revestimiento de túneles y se ha convertido en una alternativa muy importante en la estabilización de túneles excavados. La construcción moderna de túneles sin concreto proyectado es inconcebible. El concreto proyectado es un término único que describe varios componentes de una tecnología completa.

- El material del concreto proyectado.

- El proceso de proyección.
- El sistema del concreto proyectado (equipos).

Esos tres componentes definen toda una tecnología que tiene una larga tradición, enorme potencial innovador y gran futuro. El material del concreto proyectado se utiliza en un diseño de mezcla de concreto que está determinado por los requerimientos de aplicación y los parámetros especificados. Como regla general, esto significa una reducción en el tamaño máximo del agregado a 8 mm o máximo 16 mm, un aumento en el contenido de cementante y el empleo de aditivos especiales para el concreto proyectado que controlan las propiedades del material. Se usó por primera vez en 1914 y desde entonces ha sido desarrollado y mejorado permanentemente a lo largo de las décadas recientes.

Existen actualmente dos procesos diferentes para la aplicación del concreto proyectado:

- Concreto proyectado vía seca.
- Concreto proyectado vía húmeda.

Los requerimientos principales de la mezcla se centran en la manejabilidad (bombeabilidad, proyección del concreto) y en la durabilidad:

- Alta resistencia temprana.
- Buena bombeabilidad (suministro de flujo denso).
- Adecuadas características de fraguado del concreto.
- Diseño de mezcla adecuado para lanzar.
- Manejabilidad adecuada para el operario (largos tiempos abiertos).
- Rebote mínimo.

El proceso de lanzado determina su colocación. Después de producido, el concreto se transporta por medios convencionales al equipo de lanzado. El concreto o el mortero proyectados es llevado al frente de trabajo por medio de tubos o mangueras sellados y resistentes a la alta presión y es lanzado y compactado. Los siguientes son los métodos disponibles para esta etapa del proceso:

- Concreto proyectado vía húmeda flujo denso.
- Concreto proyectado vía seca flujo diluido.
- Concreto proyectado vía húmeda flujo diluido.

Antes de ser lanzado, el concreto pasa a través de la boquilla a alta velocidad. Se forma un chorro de alta presión y los otros componentes importantes de la mezcla son adicionados, tales como el agua, en el caso del concreto proyectado vía seca, aire comprimido en el proceso de flujo denso y acelerantes del fraguado, cuando se requieren. La mezcla de concreto proyectado preparada se lanza sobre el substrato a alta presión, lo que hace que se densifique tan poderosamente que se forma al instante una estructura de concreto completamente compactada. Dependiendo del tiempo de fraguado, puede aplicarse a cualquier elevación, incluido verticalmente sobre cabeza.

El proceso de concreto proyectado tiene múltiples aplicaciones. Se usan el concreto o el mortero proyectados para reparaciones de concreto, tunelería y minería, estabilización de taludes y hasta en diseños artísticos de edificios. La construcción en concreto proyectado tiene varias ventajas:

- Aplicación a cualquier altura, ya que el concreto se adhiere inmediatamente y sostiene su propio peso.

- Puede aplicarse sobre superficies irregulares.
- Buena adherencia al substrato.
- Configuración totalmente flexible del espesor de capa en sitio.
- Concreto proyectado reforzado, es también posible (refuerzo de fibra o malla).
- Pueden lograrse revestimiento con rápida capacidad de soporte a cargas, sin formaletas o tiempos de espera prolongados.

El concreto proyectado es un método de construcción rápido, flexible y económico, pero requiere un alto grado de mecanización y son esenciales operadores especializados (Jurgen & Schlumpf, 2004).

Selección de proveedores

En la búsqueda de mejores desempeños competitivos, una tendencia mundial es la gestión de las cadenas de abastecimiento. Para este propósito, la selección de proveedores constituye una decisión estratégica de alto impacto en el desempeño de la organización.

La logística empresarial y, por extensión, la gestión de cadenas de abastecimiento (SCM por su sigla en inglés) se destacan como unos de los objetos de estudio que revisten gran importancia para la administración moderna. El creciente interés por el estudio de la gestión de las cadenas de abastecimiento se ha dado de manera paralela con las tendencias del comercio en el mundo. Hoy, las empresas de éxito internacional se abastecen en el lugar del mundo que les ofrezca mejores ventajas comparativas, fabrican sus productos en países en los cuales puedan lograr bajos costos de operación y venden en múltiples mercados en busca de maximizar sus ingresos.

Para una empresa que desee acceder a las ventajas que le pueda ofrecer el fenómeno de la globalización económica, el desarrollo de estrategias competitivas, basadas en la agregación de

valor y la reducción simultánea de costos, son objetivos ineludibles. Desde esta perspectiva, la simplificación e integración de procesos, la adopción de prácticas de gestión colaborativas, la gestión integrada de la tríada abastecimiento-fabricación-distribución y la integración efectiva en redes de comercialización internacionales, son exigencias que conllevan, necesariamente, la adopción de enfoques administrativos orientados al estudio e incorporación de actividades y estrategias relacionadas con la gestión logística y la gestión de cadenas de abastecimiento.

La selección de proveedores debe tener como criterio principal, la capacidad del proveedor para mejorar y trabajar bajo políticas de cofabricación, sin prescindir de las características valoradas tradicionalmente como la calidad, el servicio, el precio y los planes de pago. Así mismo, implica una decisión que, en algunos casos, puede resultar bastante difícil, debido a la naturaleza y a la diversidad de los productos y servicios que se adquieren y de las variaciones cualitativas y cuantitativas en el comportamiento de la demanda (Sarache, Castrillón, & Ortiz, 2009).

Modelos, métodos y tendencias investigativas sobre mercado del aditivo acelerante para la construcción de túneles en Colombia

Este trabajo tiene como objetivo exponer el estado actual de las investigaciones relacionadas con los aditivos acelerantes para concreto lanzado. La metodología utilizada será una correlación de los estudios encontrados y relacionados con el tema de estudio, los cuales se organizaron en las siguientes categorías: propósito general de la investigación, referentes conceptuales, marcos de referencia o conceptos, tipos de estudio, instrumentos o técnicas de recolección de la información y principales resultados o hallazgos.

Respecto a los problemas abordados, se evidencian tendencias al desarrollo de nuevos aditivos acelerantes para concreto lanzado vía húmeda (Shotcrete) en la categoría de acelerantes libres de

álcalis (Zhang, Li, Yan, & Zhu, 2017), (Zhou, Cheng, & Cao, 2015), (Sheng, Xue, Li, Qiao, Chen, Fang, & Xu, 2017) (Sheng, y otros, 2017), (Zhao, Xia, Guo, & Zuo, 2009), (Paglia, Wombacher, & Böhni, 2003), (Jong-Pil, Un-Jong, Cheol-Keun, & Su-Jin, 2003), aditivos que posean características como robustez en la adaptabilidad a los distintos tipos de cemento, que favorezcan la generación de cortos tiempos de fraguado inicial y final, un rango moderado de dosificación en campo para actividades de concreto lanzado y reducción de las tasas de rebote y material particulado en dichas actividades (Zhang, Li, Yan, & Zhu, 2017), (Zhou, Cheng, & Cao, 2015), (Sheng, y otros, 2017), (Zhao, Xia, Guo, & Zuo, 2009), (Paglia, Wombacher, & Böhni, 2003), (Jong-Pil, Un-Jong, Cheol-Keun, & Su-Jin, 2003). Adicionalmente, encontramos tendencias encaminadas a demostrar el desempeño del aditivo acelerante frente al cemento, componente esencial del concreto lanzado, básicamente por medio de aditivos acelerantes álcali free, donde se estudian variables como los componentes del aditivo, componentes del cemento, tiempos de fraguado inicial y final en pastas de cemento y afectación en la evolución de resistencias a compresión a edades iniciales y finales, respecto a muestras patrón, sin aditivos acelerantes; todo en pro de estudiar dicha variabilidad para determinar la idoneidad de un aditivo acelerante álcali free (Zhihua, Xuebing, & Weiqing, 2014), (Kim, Ryu, & Hooton, 2007).

En lo que corresponde a marcos de referencias o conceptos utilizados, encontramos los distintos tipos de tecnologías en cuanto a aditivos acelerantes manejados en la actualidad, acelerantes base aluminato, acelerantes base silicatos y acelerantes álcali free (Zhang, Li, Yan, & Zhu, 2017), (Zhou, Cheng, & Cao, 2015), (Sheng, y otros, 2017), (Zhao, Xia, Guo, & Zuo, 2009), (Paglia, Wombacher, & Böhni, 2003), (Jong-Pil, Un-Jong, Cheol-Keun, & Su-Jin, 2003), (Hermida, 2014), componentes de dichas clases de aditivos, caso de aditivos acelerantes base aluminatos, compuestos de iones de Sodio (Na) y Potasio (K), acompañados siempre de moléculas Oxido de

Hidrogeno (OH); o en el caso de aditivos acelerantes base silicatos, compuestos de silicatos de Sodio (Na); o por ultimo compuestos de aditivos álcali free, basados en sulfatos e hidrosulfatos de aluminio (Zhang, Li, Yan, & Zhu, 2017), (Zhou, Cheng, & Cao, 2015), (Sheng, y otros, 2017), (Zhao, Xia, Guo, & Zuo, 2009), (Paglia, Wombacher, & Böhni, 2003), (Jong-Pil, Un-Jong, Cheol-Keun, & Su-Jin, 2003), (Hermida, 2014). Asimismo se estudiaron conceptos como cemento y sus componentes, determinación de los tiempos de fraguado inicial y final en la pasta de cemento con aditivo acelerante, mediante los métodos de las agujas de Vicat o Gillmore, y estudio de evolución de resistencias a compresión a edades tempranas y finales, respecto a muestras testigo (Zhang, Li, Yan, & Zhu, 2017), (Zhou, Cheng, & Cao, 2015), (Sheng, y otros, 2017), (Hermida, 2014).

De acuerdo a los tipos de estudio desarrollados en las distintas investigaciones, podemos encontrar una tendencia en estudios de tipo experimental en (Zhou, Cheng, & Cao, 2015), (Sheng, y otros, 2017), (Zhao, Xia, Guo, & Zuo, 2009), (Paglia, Wombacher, & Böhni, 2003) y (Jong-Pil, Un-Jong, Cheol-Keun, & Su-Jin, 2003), ya que se comprueban los efectos de una intervención específica, a diferencia de los tipos de estudio descriptivos en (Sheng, y otros, 2017), (Zhihua, Xuebing, & Weiqing, 2014), (Hermida, 2014), que tienen como objetivo analizar cómo es el fenómeno de la adición de aditivos acelerantes a pastas de cemento, y cómo se manifiesta dicho fenómeno.

Las investigaciones también tuvieron una tendencia en estudios de tipo explicativo, ya que buscan encontrar las razones o causas que ocasionan aspectos como cortos tiempos de fraguado inicial y final en las pastas de cemento mediante la adición de aditivos acelerantes, o la evolución de resistencias a compresión a edades tempranas y finales, tendencia que encontramos en autores como (Zhang, Li, Yan, & Zhu, 2017), (Zhou, Cheng, & Cao, 2015), (Sheng, y otros, 2017),

(Zhihua, Xuebing, & Weiqing, 2014), (Hermida, 2014), (Gleber & Schutz, 2002), (Höfler, Schlumpf, & Jahn, 2011), (Schutz, 1977) y (Wombacher, 2003), basándose estos últimos, en estudios de tipo correlacional para relacionar o vincular los fenómenos estudiados entre sí, o si por el contrario no existe relación entre ellos.

Los instrumentos principalmente utilizados por los autores fueron revisiones bibliográficas y teóricas para sus investigaciones, revisiones que abarcaban teoría en cuanto a mecánica de materiales, materiales de construcción, tecnología del concreto en general, tecnología del concreto específica en concreto lanzado, procesos constructivos y mecanismos en tunelería y minería, hablando de autores como (Zhang, Li, Yan, & Zhu, 2017), (Zhou, Cheng, & Cao, 2015), (Sheng, y otros, 2017), (Zhihua, Xuebing, & Weiqing, 2014), (Kim, Ryu, & Hooton, 2007), (Neuner, Cordes, Drexel, & Hofstetter, 2017), (Paternesi, Schweiger, & Schubert, 2016), (Walker, 2016), (Liu & Chen, 2016), (Hermida, 2014), (Gleber & Schutz, 2002), (Höfler, Schlumpf, & Jahn, 2011), (Schutz, 1977), (Wombacher, 2003). Además de la implementación de ensayos de laboratorio y de campo, en autores que investigaban acerca de nuevas tecnologías, basadas en tecnologías existentes como los aditivos álcali free, pero que son disruptivas en hechos como desarrollar nuevos aditivos con mayor robustez a los distintos tipos de cementos, menores dosificaciones de aditivo en la actividad de concreto lanzado, disminución de los tiempos de fraguado inicial y final, disminución de la tasa de rebote, y una alta evolución de resistencias a edades tempranas y finales, hablando de autores (Zhang, Li, Yan, & Zhu, 2017), (Zhou, Cheng, & Cao, 2015), (Sheng, y otros, 2017), (Zhihua, Xuebing, & Weiqing, 2014), (Kim, Ryu, & Hooton, 2007), (Zhao, Xia, Guo, & Zuo, 2009), (Paglia, Wombacher, & Böhni, 2003), (Jong-Pil, Un-Jong, Cheol-Keun, & Su-Jin, 2003).

Finalmente, respecto de los principales hallazgos tenemos que según autores como (Zhang, Li, Yan, & Zhu, 2017), (Zhou, Cheng, & Cao, 2015), (Sheng, y otros, 2017), (Zhao, Xia, Guo, & Zuo, 2009), (Paglia, Wombacher, & Böhni, 2003), (Jong-Pil, Un-Jong, Cheol-Keun, & Su-Jin, 2003), se pueden desarrollar aditivos acelerantes líquidos álcali free para concreto lanzado, que se adapten a los tipos de cemento de la zona, con bajas dosificaciones al momento de aplicar al concreto lanzado, que favorezcan cortos tiempos de fraguado inicial (3 min) y final (7 min), aumentando las resistencias iniciales a compresión, respecto a una muestra testigo (Sin aditivo acelerante) en proporciones de aumento de resistencia del 15% aproximadamente, y con muy bajo impacto en el desarrollo de resistencias finales a compresión del concreto lanzado a 28 días, alcanzando desarrollos del 80% aproximadamente, respecto a la muestra testigo sin aditivo acelerante; menores tasas de rebote o desperdicio de concreto en la actividad de lanzado para estabilización de excavaciones en tunelería o minería, y menor generación de material particulado. Donde también es importante mencionar los resultados obtenidos en trabajos de autores como (Zhihua, Xuebing, & Weiqing, 2014), (Kim, Ryu, & Hooton, 2007), (Hermida, 2014), (Gleber & Schutz, 2002), (Höfler, Schlumpf, & Jahn, 2011), (Schutz, 1977) y (Wombacher, 2003); resultados que arrojan que un aditivo acelerante de fraguado con baja alcalinidad o álcali free, tiene un óptimo desempeño en dosificaciones entre 5 y 7% de la masa del cemento del diseño de un concreto lanzado, un aditivo acelerante de fraguado en base aluminatos debe dosificarse entre un 2 y 4%, y un aditivo base silicatos se dosifica entre un 12-15% de la masa del cemento; con evolución aproximada de tiempos de fraguado inicial 3 min y fraguado final 7 min, según el ensayo de la aguja de Vicat para aditivos acelerantes álcali free y base aluminatos; y en cuanto a desarrollo de resistencias iniciales y finales, ambos aditivos (Álcali free y base aluminato) favorecen una mayor evolución de resistencias iniciales, no

obstante, un aditivo álcali free favorece un mayor desarrollo de resistencias a edades finales que un aditivo base aluminato.

En suma, como punto de ruptura, de acuerdo a autores como (Zhou, Cheng, & Cao, 2015), (Sheng, y otros, 2017), (Hermida, 2014), (Gleber & Schutz, 2002), (Höfler, Schlumpf, & Jahn, 2011), (Schutz, 1977) y (Wombacher, 2003), podría considerarse que encontramos que los acelerantes líquidos libres de álcali, se han convertido norma en aplicaciones exigentes de concreto lanzado en todo el mundo, debido a la seguridad y facilidad de su uso y aplicación, seguridad en lo que se relaciona con el medio ambiente, la salud y la seguridad industrial. Esta tecnología, basada en soluciones acuosas o suspensiones de compuestos de sulfato de aluminio, resulta fácil de manejar, durante su transporte, manipulación y aplicación. Así mismo, aseguran un buen desarrollo de resistencia temprana, combinada con algunas características benéficas para los usuarios del concreto proyectado, como la disminución del rebote.

Referencias

- Andrade Moreno, L. (2014). ENCADENAMIENTOS E INFRAESTRUCTURA. Bogotá: ANI: Agencia Nacional de Infraestructura.
- Araujo, J. P., & Sierra, A. C. (2013). Concesiones de Cuarta Generación: Impacto sobre los seguros de cumplimiento. Bogotá: Fasecolda.
- Arce Galvez, P., & Serrano López, A. (2015). EL MERCADO DE MATERIALES DE CONSTRUCCION EN COLOMBIA. Bogota D.C.: ICEX.
- Banco de la República. (2014). Informe sobre la Inflación. Bogotá: Banco de la República.
- Borda Ávila, M. L. (2005). Concesiones viales como resultado de la evolución historica, política y económica de Colombia. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Cabal Jaramillo, M. V. (2017). LA PARTICIPACIÓN DE LA FINANCIERA DE DESARROLLO NACIONAL (FDN) EN EL PROJECT FINANCE DE LAS CONCESIONES 4G. UN ESTUDIO A PARTIR DEL CASO DE LA CONCESIÓN CONEXIÓN NORTE. Medellín: EAFIT.
- Caicedo Ferrer, J. M. (2010). Colombia avanza en la construcción de túneles. *Infraestructura & Desarrollo*, 46.
- Caicedo Ferrer, J. M. (2017). REVOLUCIÓN EN INFRAESTRUCTURA: UNA APUESTA QUE LLEGÓ PARA QUEDARSE. XIV Congreso Nacional de la Infraestructura (pág. 13). Cartagena: Cámara Colombiana de la Infraestructura.

- Camacho, L. (15 de Octubre de 2015). LLOREDA CAMACHO & CO. Recuperado el 30 de Junio de 2017, de <http://www.lloredacamacho.com/blog/es/categor%C3%ADa-1/consultas-previas-y-su-impacto-en-proyectos-de-4g-en-colombia>
- Cárdenas, M., Gaviria, A., & Meléndez, M. (2005). La Infraestructura del Transporte en Colombia. Bogotá: FEDESARROLLO.
- Cardona Marín, Y., & Ortiz Galeano, C. (2017). Asignación de riesgos en proyectos de infraestructura vial de cuarta generación bajo el esquema de asociación público privada en Colombia: Un estudio comparativo. Medellín: EAFIT.
- Castro Gómez, S. (2015). ¿Como van las 4G? Bogotá: Asobancaria.
- Clavijo García, H. A., Álzate Ospina, M. A., & Mantilla Meza, L. (2015). ANÁLISIS DEL SECTOR DE INFRAESTRUCTURA EN COLOMBIA. Bogotá: PMI Bogotá Colombia Chapter.
- Clavijo, S. (2017). Crédito Bancario e Infraestructura Vial en Colombia: Exigencias de Basilea III y Concesiones 4G. Bogotá: ANIF.
- CONPES. (1999). Programa de Concesiones Viales 1998 - 2000: Tercera Generación de Concesiones. Bogotá: DNP.
- CONPES, C. (2013). PROYECTOS VIALES BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIONES PÚBLICO PRIVADAS: CUARTA GENERACION DE CONCESIONES VIALES. Bogotá D.C.
- Cornejo Álvarez, L. (2014). Nuevas Tendencias en los Revestimientos de Túneles. Madrid: Nuevas Tecnologías y Materiales.

Corredor Reyes, D. X. (2017). Desequilibrios financieros en los contratos de concesión vial: Análisis del contrato de concesión Pacifico 3 de la cuarta generación de concesiones viales. Bogotá: Colegio de Estudios Superiores en Administración - CESA.

Crespo Escobar, S. (2009). Materiales de construcción para edificación y obra civil. San Vicente: Editorial Club Universitario.

DANE. (2014). INFRAESTRUCTURA VIAL. Bogotá D.C.: DANE.

DNP. (1991). La revolución pacífica. Bogotá: DNP.

Elof Bryne, L. (2014). TIME DEPENDENT MATERIAL PROPERTIES OF SHOTCRETE FOR HARD ROCK TUNNELLING. Estocolmo: KTH.

Fainboim Yaker, I., & Rodríguez Restrepo, C. (2000). EL DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA EN LA DECADA DE LOS NOVENTA. Bogotá.

Fainboim Yaker, I., & Rodríguez, C. (2014). Colombia - Desarrollo económico reciente en infraestructura (REDI): Inversión en infraestructura en Colombia - Comportamiento, evaluación, presupuestación y contabilización. Bogotá: Banco Mundial.

Gleber, S., & Schutz, R. (2002). Is 0.85 f'c Valid for Shotcrete? Concrete International Magazine, 76.

Gongora, M. C., & Rojas, G. L. (2014). Análisis de la Locomotora de la Infraestructura. Medellín: EAFIT.

- Hermida, G. (Enero de 2014). Sika Colombia. (S. Colombia, Ed.) Recuperado el 30 de Junio de 2017, de Sika Colombia | Sika Colombia S. A.: <https://col.sika.com/dms/getdocument.get/772d19a9-cc98-3740-a69f-78>
- Höfler, J., Schlumpf, J., & Jahn, M. (2011). Sika Sprayed Concrete. Zurich: Sika Services AG.
- Huertas Pineda, P. F. (2016). PROCESOS CONSTRUCTIVOS PARA TÚNELES VIALES DESARROLLADOS EN COLOMBIA. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Hughes, J., Válek, J., & Groot, C. (2010). Historic Mortars and RILEM TC 203-RHM Final Workshop HMC2010. Praga: RILEM Publications S.A.R.L.
- Jolin, M., & Ragland, J. (2016). Guide to Shotcrete. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- Jong-Pil, W., Un-Jong, H., Cheol-Keun, K., & Su-Jin, L. (2003). Mechanical performance of shotcrete made with a highstrength. *Construction and Building Materials*, págs. 175-183.
- Jurgen, H., & Schlumpf, J. (2004). Concreto Proyectado en la Construcción de Túneles. Aichtal: Putzmeister AG.
- Kim, J., Ryu, J., & Hooton, R. (2007). Evaluation of strength and set behavior of mortar containing shotcrete set accelerators. NRC Research Press, 8.
- Liu, G., & Chen, L. (2016). Development of a New Type of Green Switch Air Entraining Agent for Wet-Mix Shotcrete and Its Engineering Application. *Advances in Materials Science and Engineering*, 10.

- Londoño Vallejo, M. (2014). Asociaciones público privadas, modelo de desarrollo de infraestructura productiva y social en Colombia y el mundo: Marco histórico, conceptual y crítico de la Ley 1508 de 2012. *Revista de Derecho Público*, 24.
- Lootens, D., Lindlar, B., & Flatt, R. (2008). SOME PECULIAR CHEMISTRY ASPECTS OF SHOTCRETE ACCELERATORS. 1st International Conference on Microstructure Related Durability of Cementitious Composites, (pág. 7). Nanjing.
- Martínez Vargas, J. A. (2011). ANÁLISIS DEL CONCRETO LANZADO COMO REVESTIMIENTO DEFINITIVO PARA TÚNELES. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Martínez, G. A. (2017). IMPACTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LAS VIAS DE CUARTA GENERACIÓN EN COLOMBIA SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS. Bogotá: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- Mehta, K., & Monteiro, P. (2006). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. Berkeley: Mc Graw Hill.
- Neuner, M., Cordes, T., Drexel, M., & Hofstetter, G. (2017). Time-Dependent Material Properties of Shotcrete: Experimental and Numerical Study. *Materials*, 17.
- Neuner, M., Schreter, M., Unteregger, D., & Hofstetter, G. (2017). Influence of the Constitutive Model for Shotcrete on the Predicted Structural Behavior of the Shotcrete Shell of a Deep Tunnel. *Materials*, 17.

- Paglia, C., Wombacher, F., & Böhni, H. (Marzo de 2003). The influence of alkali-free and alkaline shotcrete accelerators within cement systems. *Cement and Concrete Research*, págs. 387-395.
- Paternes, A., Schweiger, H., & Schubert, P. (2016). Verification of a rheological constitutive model for shotcrete through back-analysis. *Geomechanics and Tunneling*, 6.
- Pedroza Villegas, K. (2016). CARACTERIZACIÓN FINANCIERA DE LOS CONTRATOS DE CONCESIONES VIALES EN COLOMBIA. ESTUDIO DE CASO. Bogotá D.C.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Prieto Muñoz, W. (2002). Concesiones Viales en Colombia. Historia y desarrollo. Bogotá: Tecnura 10.
- Ramírez Muriel, A. F. (2015). Inversión en infraestructura vial y su impacto en el desarrollo económico: Un análisis al caso Colombia (1993-2014). Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Rey Sabín, A., Pardo Fernández, G., & Hurtado Agra, R. (2010). Túneles y Obras Subterráneas. Madrid: Sika.
- Ríos Ocampo, J., & Olaya, Y. (2017). Sostenibilidad del consumo doméstico de materiales de construcción en Colombia, 1990-2013. Medellín: Lecturas de Economía.
- Rojas Ardila, D. M. (2016). DESARROLLO VIAL EN COLOMBIA Y EL IMPACTO DE LAS VIAS DE CUARTA GENERACIÓN. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

- Sarache, W. A., Castrillón, Ó. D., & Ortiz, L. F. (2009). Selección de proveedores: Una aproximación al estado del arte. Departamento de Ingeniería Industria, Universidad de Nacional, Sede Manizales, Colombia.
- Schutz, R. (1977). Properties of Shotcrete admixtures. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- Sheng, Y., Xue, B., Li, H., Qiao, Y., Chen, H., Fang, J., & Xu, A. (2017). Preparation and Performance of a New-Type Alkali-Free Liquid Accelerator for Shotcrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 9.
- Sierra, J. C. (2014). La plata para las vías. *Revista Semana*.
- Walker, S. (2016). Shotcrete: Systematically Sprayed Support. *Engineering & Mining Journal*, 5.
- Wombacher, F. J. (2003). Low Cement Content Shotcrete: A Comparison. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- Zhang, L., Li, S., Yan, Q., & Zhu, L. (2017). Study on the effect of new type liquid accelerator on the performance of shotcrete. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 14.
- Zhao, S., Xia, Y., Guo, X., & Zuo, M. (Noviembre de 2009). Study on the performance and mechanism of the liquid sodium aluminate accelerated agent. *Journal of Shenyang Jianzhu University*, pág. 25.
- Zhihua, P., Xuebing, W., & Weiqing, L. (2014). Properties and Acceleration Mechanism of Cement Mortar Added with Low Alkaline Liquid State Setting Accelerator. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater*, 2.

Zhou, G., Cheng, W., & Cao, S. (2015). Development of a New Type of Alkali-Free Liquid Accelerator for Wet Shotcrete in Coal Mine and Its Engineering Application. *Advances in Materials Science and Engineering*, 14.