



Formato de Investigación de Póster Misión Académica Internacional

1. Información General del Proyecto				
Facultad de Ingeniería Civil		Fecha de presentación:		
		Día	Mes	Año
Programa: Especialización en Geotecnia Vial y Pavimentos		05	06	2026
Título del proyecto: Estudio comparativo de puentes con estructuras prefabricadas de hormigón de altas prestaciones reforzado con fibras (hprc) en Brasil y Colombia.				
1.1 Director del Proyecto				
Nombres y Apellidos	Número Documento	Nivel de Formación	e-mail	Número Teléfono
Fredy Aquilino Fagua	1049643017	Especialista	fredy.fagua@usantoto.edu.co	3143956734
1.1.1 Codirector del Proyecto				
Nombres y Apellidos	Número Documento	Nivel de Formación	e-mail	Número Teléfono
1.2 Estudiantes Participantes				
Nombres y Apellidos	Número de Documento	Semestre	Correo Electrónico	Número Teléfono
Nicolas Santiago Vargas Gamboa	1.002.365.102	2	nicolassantiago409@gmail.com	3154539535
1.3 Firmas				

Director 1

Codirector 2

Estudiante 1

Estudiante 2

2. Introducción

Máximo 300 palabras: El resumen debe tener máximo dos párrafos que incluyan de manera abreviada, sencilla e interesante la información necesaria, para que el lector entienda el objetivo, la pertinencia y la calidad del proyecto. Debe incluir una breve introducción, el objetivo, la metodología general que será empleada, los resultados potenciales, la pertinencia y el alcance de la propuesta.

La infraestructura de transporte es clave para el desarrollo socioeconómico y la competitividad global. Ante el deterioro de la red vial latinoamericana, el Hormigón de Altas Prestaciones Reforzado con Fibras (HPFRC) surge como una alternativa revolucionaria para optimizar puentes prefabricados, ya que su comportamiento pseudodúctil y alta compresión permiten diseñar estructuras esbeltas, ligeras y duraderas. Mientras Brasil destaca como referente regional gracias a la norma ABNT NBR 16935, Colombia se encuentra en una etapa exploratoria. Por ello, este informe realiza un estudio comparativo entre ambos países para identificar mejores prácticas y oportunidades de transferencia tecnológica en el contexto local.

Para abordar esta problemática, la metodología adoptará un enfoque cualitativo-analítico estructurado en tres fases: primero, una vigilancia normativa que contraste las reglas vigentes (ABNT NBR 16935 frente a NSR-10 y CCP-14); segundo, una misión académica internacional en Brasil para recopilar datos primarios mediante visitas a laboratorios y talleres con plantas prefabricadoras; y tercero, la consolidación de una matriz comparativa basada en variables de viabilidad industrial y desafíos logísticos orográficos.

El alcance se delimita estrictamente como una investigación analítica y propositiva que culminará en un diagnóstico técnico y una hoja de ruta metodológica. Quedan fuera de este alcance el diseño estructural definitivo, la modelación computacional por elementos finitos y la ejecución de ensayos experimentales propios.

Como resultados esperados, se entregará una matriz comparativa homologada de ambos contextos viales, un documento técnico que precise las brechas regulatorias nacionales ante el INVÍAS, y una evaluación de viabilidad logística que demuestre cuantitativamente cómo la reducción de peso propio de las secciones de HPFRC optimiza las maniobras de izaje y transporte en la compleja topografía colombiana.



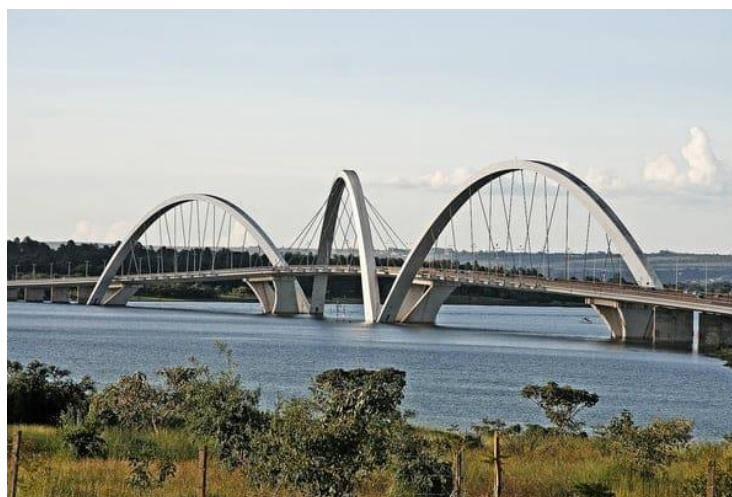
3. Estado del Arte y Análisis de Vigilancia Tecnológica

Este apartado permitirá identificar la información existente sobre el tema de investigación; así como los vacíos conceptuales entre la comunidad científica internacional, permitiendo orientar la propuesta a la resolución de un tema específico. Debe incluir una recopilación de información sobre el problema planteado (principalmente la reciente), soportando teóricamente los objetivos del proyecto; analizando casos similares en los ámbitos regionales, nacionales e internacionales. En caso de que la temática no cuente con información previamente publicada en el tema, deberá soportarse mediante análisis específicos en bases de datos sobre la literatura consultada. También debe incluir un análisis

de vigilancia tecnológica de las bases de datos bibliográficas y de patentes que permita identificar las tendencias globales sobre la investigación que se pretende realizar. Recuerde incluir las referencias bibliográficas de toda la información y figuras que emplee.

La Figura 1 presenta el Puente Juscelino Kubitschek sobre el río Paranaíba, en Brasil, considerado un referente en la aplicación de tecnologías avanzadas de concreto reforzado con fibras de alto desempeño (HPFRC, High Performance Fiber Reinforced Concrete) en infraestructura vial. Este proyecto destaca por la incorporación de elementos prefabricados de alta resistencia mecánica, permitiendo reducir tiempos de construcción, optimizar el mantenimiento y aumentar la durabilidad de la estructura.

Figura 1. Puente Juscelino Kubitschek sobre el río Paranaíba, Brasil.



Fuente: Structuralia Blog (2023).

El sistema constructivo empleado en este tipo de estructuras se basa en elementos prefabricados fabricados con concretos de ultra alto desempeño reforzados con fibras metálicas, los cuales presentan resistencias a compresión superiores a 120 MPa y elevadas capacidades de resistencia a flexión y tracción post-fisuración. Las fibras utilizadas suelen ser fibras de acero de alta resistencia con relaciones de aspecto superiores a 50, cuya función principal es controlar la propagación de fisuras, incrementar la ductilidad y mejorar la capacidad de absorción de energía del material (Richard & Cheyrezy, 1995).



Brasil se ha consolidado como uno de los países latinoamericanos con mayores avances en investigación y aplicación de concretos de alto y ultra alto desempeño. Este desarrollo ha sido respaldado por la adopción de lineamientos técnicos basados en normas de la Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), especialmente la NBR 6118 para estructuras de concreto, complementadas con recomendaciones internacionales emitidas por la Fédération Internationale du Béton (fib), el American Concrete Institute (ACI) y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). La articulación entre universidades, centros de investigación y empresas constructoras ha permitido la implementación de soluciones innovadoras en puentes y elementos prefabricados con elevados estándares de calidad y durabilidad.

De acuerdo con la literatura técnica internacional, las principales ventajas del HPFRC incluyen su elevada resistencia mecánica, baja permeabilidad, mayor durabilidad frente a ambientes agresivos, excelente comportamiento a fatiga y capacidad para controlar la propagación de fisuras. Estas propiedades permiten reducir espesores estructurales, disminuir necesidades de mantenimiento y aumentar la vida útil de las estructuras (Graybeal, 2006; Yoo & Banthia, 2016). Sin embargo, algunos autores señalan como limitaciones los mayores costos iniciales de producción, la necesidad de materiales especializados y los requerimientos técnicos asociados al control de calidad durante su fabricación y puesta en obra (ACI Committee 544, 2018).

El HPFRC se caracteriza por presentar propiedades mecánicas superiores a las del concreto convencional. Según Graybeal (2006) y Yoo y Banthia (2016), este material puede alcanzar resistencias a compresión entre 120 y 200 MPa, resistencias a tracción superiores a 8 MPa y módulos de elasticidad elevados. Además, presenta baja permeabilidad, alta resistencia a la abrasión, excelente comportamiento frente a ciclos de carga repetitiva y una notable capacidad para controlar la propagación de fisuras gracias a la incorporación de fibras metálicas. Estas características lo convierten en una alternativa adecuada para estructuras sometidas a altas exigencias mecánicas y ambientales, como puentes, viaductos y elementos prefabricados de infraestructura vial.

Tabla 1. Comparación entre HPFRC y concreto convencional

Aspecto	HPFRC	Concreto convencional
Resistencia a compresión	120–200 MPa	21–50 MPa
Resistencia a tracción	Alta	Baja
Control de fisuración	Excelente	Limitado

Durabilidad	Muy alta	Media
Permeabilidad	Muy baja	Moderada
Vida útil estimada	>100 años	50–75 años
Costo inicial	Alto	Bajo
Costos de mantenimiento	Bajos	Moderados o altos

Fuente: Elaboración propia con base en Richard y Cheyrezy (1995), Graybeal (2006) y Yoo y Banthia (2016).

En Colombia, el interés por el estudio de concretos de alto y ultra alto desempeño reforzados con fibras ha aumentado durante la última década. Diversas universidades han desarrollado investigaciones orientadas a evaluar las propiedades mecánicas, la durabilidad y el comportamiento estructural de estos materiales utilizando materias primas disponibles en el contexto nacional.

Una de las investigaciones más relevantes fue desarrollada por la Pontificia Universidad Javeriana, donde se evaluó el comportamiento post-fisuración de concretos de ultra alto desempeño reforzados con diferentes contenidos de fibras metálicas fabricados con materiales disponibles en Colombia. Los resultados mostraron mejoras significativas en resistencia a compresión, resistencia a flexión y capacidad residual después del agrietamiento, evidenciando que la cantidad de fibras y la adherencia entre estas y la matriz cementicia influyen directamente en el desempeño estructural del material.

Asimismo, investigaciones desarrolladas por la Universidad Nacional de Colombia reportaron que es posible obtener hormigones de alto desempeño mediante procesos convencionales de producción, alcanzando propiedades mecánicas elevadas gracias a la optimización de la matriz cementicia y al uso de refuerzos internos discontinuos. Estos estudios destacan la viabilidad técnica de implementar tecnologías de alto desempeño adaptadas a las condiciones constructivas colombianas.

Por otra parte, investigaciones recientes de la Pontificia Universidad Javeriana enfocadas en el comportamiento a fatiga del concreto de ultra alto desempeño reforzado con fibras reportaron resistencias a compresión cercanas a 127 MPa, esfuerzos máximos de flexión de 9,89 MPa y un comportamiento superior frente a cargas repetitivas en comparación con materiales convencionales. Los autores concluyen que estas propiedades convierten al UHPFRC en una alternativa viable para aplicaciones en infraestructura vial y rehabilitación de pavimentos sometidos a altas cargas de tráfico.

Adicionalmente, estudios relacionados con comportamiento sísmico desarrollados por grupos de investigación colombianos han resaltado que el UHPC posee resistencias superiores a 120 MPa y una alta capacidad de ductilidad debido a la incorporación de fibras metálicas, características que favorecen su aplicación en estructuras sometidas a sollicitaciones dinámicas y eventos extremos.

A pesar de los resultados favorables obtenidos en estas investigaciones, la implementación del HPFRC en

proyectos de infraestructura colombianos continúa siendo limitada. La literatura nacional identifica desafíos relacionados con los altos costos iniciales de producción, la disponibilidad de fibras especializadas, la ausencia de especificaciones normativas nacionales para diseño y construcción, y la necesidad de fortalecer la capacitación profesional en el uso de este tipo de materiales. Estas condiciones han restringido su aplicación principalmente al ámbito académico y experimental.

La revisión de la literatura evidencia que la experiencia brasileña constituye un referente importante para Colombia, debido a que demuestra la viabilidad técnica y económica de incorporar concretos de alto desempeño reforzados con fibras en proyectos de infraestructura vial. La transferencia de conocimiento, la adaptación normativa y el fortalecimiento de capacidades técnicas podrían contribuir significativamente a la implementación de soluciones constructivas más duraderas, eficientes y sostenibles en el contexto colombiano.

Con el fin de sintetizar los principales aspectos identificados durante la revisión bibliográfica, se presenta una matriz comparativa que resume las características más relevantes de la aplicación del HPFRC en Brasil y Colombia, considerando aspectos técnicos, normativos, investigativos y constructivos.

Tabla 2. Matriz comparativa de la aplicación del HPFRC en Brasil y Colombia

Criterio de análisis	Brasil	Colombia
Desarrollo de investigación	Amplia trayectoria en universidades, centros de investigación y sector productivo.	Investigación principalmente desarrollada por universidades y grupos académicos.
Normativa aplicable	Uso de normas ABNT, especialmente NBR 6118, complementadas con recomendaciones fib, ACI y AASHTO.	No existen normas específicas para HPFRC en infraestructura vial; se emplean referencias internacionales.
Aplicación en infraestructura	Implementación en puentes, elementos prefabricados y estructuras especiales de alto desempeño.	Aplicación limitada; predominan investigaciones experimentales y académicas.
Propiedades reportadas	Resistencias superiores a 120 MPa, alta durabilidad y control de fisuración.	Resultados experimentales con resistencias superiores a 100 MPa y mejoras en ductilidad y comportamiento post-fisuración.



Capacitación técnica	Mayor experiencia profesional y transferencia tecnológica consolidada.	Necesidad de fortalecer la capacitación y formación especializada.
Ventajas identificadas	Mayor durabilidad, reducción de mantenimiento, rapidez constructiva y mejor desempeño estructural.	Potencial para aumentar la vida útil de las estructuras y optimizar costos de operación.
Limitaciones identificadas	Costos iniciales elevados y requerimientos estrictos de control de calidad.	Falta de normativas específicas, limitada experiencia práctica y mayores costos iniciales.
Nivel de implementación	Alto, con experiencias documentadas en proyectos reales.	Bajo, con predominio de estudios de laboratorio y proyectos de investigación.

Fuente: Elaboración propia con base en Graybeal (2006), Yoo y Banthia (2016), González et al. (2014), Restrepo-Ramírez et al. (2024) y documentos técnicos consultados.

La matriz comparativa evidencia que Brasil presenta un mayor grado de desarrollo en la aplicación del HPFRC debido a la existencia de lineamientos normativos, experiencia práctica y procesos consolidados de transferencia tecnológica. Por su parte, Colombia cuenta con avances importantes en investigación académica, aunque aún enfrenta desafíos relacionados con la normalización, capacitación profesional e implementación en proyectos de infraestructura a gran escala.

4. Planteamiento del Problema de Investigación

En las últimas décadas, el desarrollo de materiales avanzados ha permitido mejorar significativamente el desempeño y la durabilidad de las estructuras de infraestructura vial. Entre estos materiales se destaca el hormigón de altas prestaciones reforzado con fibras (HPFRC), el cual combina elevadas resistencias mecánicas, mayor ductilidad y una notable capacidad para controlar la propagación de fisuras, características que lo convierten en una alternativa atractiva para la construcción de puentes prefabricados. Diversos países han incorporado esta tecnología en sus proyectos de infraestructura con resultados favorables en términos de resistencia, reducción de costos de mantenimiento y aumento de la vida útil de las estructuras.

Brasil se ha consolidado como uno de los referentes latinoamericanos en la investigación y aplicación del HPFRC gracias a la articulación entre universidades, centros de investigación, entidades gubernamentales e industria de la construcción. Este avance ha sido respaldado por la adopción de lineamientos técnicos

basados en normas de la Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), especialmente la NBR 6118 para estructuras de concreto, complementadas con recomendaciones internacionales de la Fédération Internationale du Béton (fib), el American Concrete Institute (ACI) y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Como resultado, el país ha logrado implementar soluciones innovadoras en puentes y elementos prefabricados que evidencian las ventajas estructurales y económicas del uso del HPFRC.

Por su parte, en Colombia el interés por este material ha aumentado en los últimos años a través de investigaciones desarrolladas por universidades como la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de los Andes y la Pontificia Universidad Javeriana. Estos estudios han evaluado propiedades como la resistencia a compresión y flexión, la ductilidad, la tenacidad y la durabilidad del HPFRC, demostrando su potencial para aplicaciones en infraestructura vial. Sin embargo, la transferencia de estos avances al sector productivo ha sido limitada, debido principalmente a la ausencia de normativas nacionales específicas, los altos costos iniciales de producción, la necesidad de materiales especializados y la escasa experiencia técnica en diseño, construcción y supervisión de estructuras fabricadas con este material.

Esta situación genera una brecha tecnológica entre Colombia y países como Brasil, dificultando la implementación sistemática del HPFRC en proyectos de infraestructura vial. La falta de lineamientos técnicos adaptados al contexto colombiano y el limitado aprovechamiento de experiencias exitosas internacionales restringen las oportunidades de innovación en el diseño y construcción de puentes prefabricados más eficientes, duraderos y sostenibles.

En este contexto, surge la necesidad de analizar las experiencias desarrolladas en Brasil para identificar los factores técnicos, normativos y de gestión que han favorecido la adopción del HPFRC, y evaluar de qué manera estas prácticas pueden ser adaptadas al contexto colombiano para fortalecer las capacidades del sector de infraestructura vial y promover el uso de tecnologías constructivas innovadoras.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son los factores técnicos, normativos y de gestión que han permitido a Brasil avanzar en la aplicación de HPFRC en puentes prefabricados y cómo pueden ser adaptados y transferidos al contexto colombiano para mejorar la calidad, sostenibilidad y eficiencia de la infraestructura vial nacional?

5. Justificación de la Propuesta e Identificación y Descripción del Conocimiento que Generará la misión académica internacional

Explicar claramente la originalidad, relevancia y pertinencia de la misión (teniendo en cuenta la información previamente plasmada); e identificar y describir en función de los resultados que generará teniendo en cuenta el estado del arte y el planteamiento del problema.



El desarrollo de infraestructura vial sostenible, segura y de alta calidad constituye un factor fundamental para el crecimiento económico y el bienestar social en Colombia. En este contexto, la incorporación de materiales innovadores como el hormigón de altas prestaciones reforzado con fibras (HPFRC) representa una oportunidad para mejorar la durabilidad, el desempeño estructural y la eficiencia de los procesos constructivos asociados a la construcción de puentes prefabricados. Sin embargo, su implementación en el país aún es limitada debido a factores como la ausencia de lineamientos normativos específicos, la reducida experiencia práctica en proyectos de infraestructura y la necesidad de fortalecer la formación técnica y profesional relacionada con el diseño y uso de este material.

Por otra parte, Brasil ha logrado avances significativos en la investigación, desarrollo y aplicación del HPFRC gracias a la articulación entre universidades, centros de investigación, empresas constructoras y organismos reguladores. Esta experiencia ha permitido la implementación de soluciones innovadoras en infraestructura vial, evidenciando beneficios relacionados con una mayor durabilidad de las estructuras, reducción de costos de mantenimiento y optimización de los procesos constructivos. En consecuencia, el análisis de las estrategias adoptadas en Brasil constituye una fuente valiosa de conocimiento para identificar prácticas exitosas que puedan ser adaptadas al contexto colombiano.

La comparación entre ambos países permitirá reconocer las brechas existentes en aspectos técnicos, normativos y de gestión, así como las oportunidades para fortalecer la adopción de tecnologías avanzadas en el sector de la construcción. Asimismo, el estudio contribuirá a comprender los factores que han favorecido la implementación del HPFRC en Brasil y a establecer recomendaciones que faciliten su aplicación en Colombia de manera segura y eficiente.

Adicionalmente, esta investigación responde a los desafíos actuales del sector de la infraestructura, relacionados con la necesidad de construir estructuras más resistentes, duraderas y sostenibles, capaces de reducir los costos asociados al mantenimiento y minimizar los impactos ambientales durante su ciclo de vida. De igual forma, los resultados obtenidos podrán servir como insumo para futuras investigaciones, procesos de actualización normativa y programas de capacitación orientados al fortalecimiento de las capacidades técnicas del sector.

Finalmente, la propuesta contribuirá a promover la transferencia de conocimiento entre Colombia y Brasil, favoreciendo el intercambio de experiencias y buenas prácticas en torno al uso del HPFRC. De esta manera, se espera aportar al desarrollo de soluciones innovadoras que incrementen la competitividad, sostenibilidad y calidad de la infraestructura vial colombiana.

6. Objetivos

Cada objetivo debe estar enlazado con una sección en la metodología, las cuales a su vez estarán vinculadas con una(s) actividades específicas, y un(os) producto(s) específico(s) esperado(s). Los objetivos específicos deberán estar enumerados.



Objetivo general

Realizar un análisis técnico y comparativo de la aplicación de estructuras prefabricadas de hormigón de altas prestaciones reforzado con fibras (HPFRC) en Brasil y Colombia, mediante la evaluación de aspectos técnicos, normativos y constructivos, con el fin de identificar oportunidades y estrategias que favorezcan su implementación en la infraestructura vial colombiana.

Objetivos específicos

- Analizar las propiedades mecánicas, de durabilidad y comportamiento estructural del HPFRC reportadas en la literatura científica para su aplicación en puentes prefabricados.
- Identificar y analizar las experiencias, casos de estudio, investigaciones y lineamientos normativos relacionados con la utilización de HPFRC en Brasil y Colombia.
- Comparar las ventajas, limitaciones y condiciones de implementación del HPFRC en ambos países, considerando aspectos técnicos, normativos, económicos y de capacitación profesional.

7. Métodos (visitas técnicas a laboratorios, talleres, seminarios)

Esta sección es de gran importancia pues debe dejar perfectamente claras las actividades que se llevarán a cabo para obtener las respuestas planteadas en los objetivos. Para esto, describa de manera específica y organizada los métodos detallados de cómo se alcanzarán cada uno de los objetivos planteados. Indique los procesos para recolectar la información, la organización, sistematización de los datos y el análisis de los mismos. Especifique los materiales o equipos que va a emplear (con referencias en lo posible). Especifique también las técnicas analíticas que va a usar y como va a obtener resultados cuantificables, las pruebas estadísticas que empleará para dar el nivel de confianza requerido para responder con certeza cada uno de los objetivos específicos. Cada sección de materiales y métodos debe explicar de manera detallada que objetivo u objetivos pretende cubrir y los procedimientos detallados con los que lo logrará. En caso de usar metodologías de referencia, recuerde citar los autores originales; así como explicar con sus propias palabras los procesos que involucra dicha metodología.

La presente investigación se desarrollará bajo un enfoque documental, descriptivo y comparativo, basado en la revisión y análisis de información científica, técnica y normativa relacionada con la aplicación del hormigón de altas prestaciones reforzado con fibras (HPFRC) en puentes prefabricados de Brasil y Colombia.

Objetivo específico 1. Analizar las propiedades mecánicas, de durabilidad y comportamiento estructural del HPFRC.

Para el cumplimiento de este objetivo se realizará una revisión bibliográfica de artículos científicos, libros, tesis, normas técnicas y documentos especializados publicados en bases de datos académicas como Scopus, ScienceDirect, Google Scholar y repositorios universitarios. La información recopilada incluirá



propiedades mecánicas como resistencia a compresión, resistencia a flexión, resistencia a tracción, módulo de elasticidad, durabilidad y comportamiento post-fisuración.

Los datos obtenidos serán organizados en tablas comparativas que permitan identificar los rangos de desempeño reportados por diferentes autores y establecer las características más relevantes del HPFRC para aplicaciones en puentes prefabricados.

Objetivo específico 2. Identificar y analizar las experiencias, investigaciones y lineamientos normativos relacionados con la utilización de HPFRC en Brasil y Colombia.

Se realizará una revisión documental de estudios de caso, artículos científicos, informes técnicos y normativas aplicables al uso del HPFRC. Para Brasil se analizarán principalmente los lineamientos de la Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), especialmente la NBR 6118, así como recomendaciones internacionales de la fib, ACI y AASHTO. En Colombia se estudiarán investigaciones desarrolladas por universidades y centros de investigación relacionados con concretos de alto desempeño y materiales reforzados con fibras.

La información recopilada será sistematizada mediante matrices comparativas que permitan identificar similitudes y diferencias entre ambos países en aspectos técnicos, normativos y constructivos.

Objetivo específico 3. Comparar las ventajas, limitaciones y condiciones de implementación del HPFRC en Brasil y Colombia.

A partir de la información obtenida en las fases anteriores se realizará un análisis comparativo de los factores que influyen en la implementación del HPFRC, incluyendo aspectos técnicos, económicos, normativos, constructivos y de capacitación profesional.

Para complementar la información documental se consultarán conferencias, seminarios técnicos y material académico especializado relacionado con la aplicación del HPFRC en infraestructura vial. Los resultados serán organizados en cuadros comparativos que permitan identificar las principales ventajas, limitaciones y oportunidades de aplicación en el contexto colombiano.

Procesamiento y análisis de la información

La información recolectada será clasificada, organizada y analizada mediante matrices de comparación y tablas de síntesis. Posteriormente, se realizará un análisis crítico de los resultados con el fin de identificar tendencias, brechas tecnológicas y oportunidades de transferencia de conocimiento entre Brasil y Colombia.

Finalmente, los hallazgos obtenidos permitirán formular conclusiones y recomendaciones orientadas a fortalecer la adopción del HPFRC en proyectos de infraestructura vial colombiana, contribuyendo a la modernización de los procesos constructivos y al mejoramiento de la durabilidad y sostenibilidad de las



estructuras.

8. Aplicación en Colombia

El estudiante debe elegir un proyecto o técnica desarrollada expuesta en las palestras y/o los laboratorios visitados y establecer un análisis comparativo con Colombia y su aplicación en el contexto de la Ingeniería civil en el país.

8. Aplicación en Colombia

Las investigaciones desarrolladas en Colombia han demostrado el potencial del hormigón de altas prestaciones reforzado con fibras (HPFRC) para aplicaciones en infraestructura vial y elementos estructurales de alto desempeño. Estudios realizados por la Pontificia Universidad Javeriana evaluaron concretos de ultra alto desempeño reforzados con fibras metálicas elaborados con materiales disponibles en Colombia, obteniendo mejoras significativas en resistencia a compresión, resistencia a flexión y comportamiento post-fisuración (González, Castaño, Alvarado & Gasch, 2014). Los resultados evidenciaron que el contenido de fibras y la adherencia entre estas y la matriz de concreto son factores determinantes para garantizar un adecuado desempeño estructural y una mayor resistencia residual a flexión.

De igual forma, investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada analizaron el comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero sometido a esfuerzos de compresión, demostrando que la incorporación de fibras mejora propiedades mecánicas como la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad y la capacidad de deformación del material. Estos estudios resaltan además que una de las principales limitaciones para su implementación en Colombia es la falta de requisitos reglamentarios específicos y evidencia experimental suficiente para su uso generalizado en proyectos de infraestructura.

Adicionalmente, estudios recientes desarrollados por la Universidad Nacional de Colombia sobre hormigones de alto y ultra alto desempeño reportan que es posible obtener materiales con elevadas resistencias mecánicas mediante procesos convencionales de producción, favoreciendo la viabilidad técnica de este tipo de tecnologías en el contexto nacional. Los resultados obtenidos muestran que la optimización de la matriz cementicia y la incorporación de fibras permiten mejorar significativamente la durabilidad y el comportamiento estructural frente a solicitudes exigentes.

Asimismo, investigaciones enfocadas en comportamiento a fatiga desarrolladas por la Pontificia Universidad Javeriana reportaron resistencias a compresión cercanas a 127 MPa y un desempeño superior frente a cargas repetitivas, aspecto de gran relevancia para estructuras sometidas a tráfico constante, como puentes y pavimentos. Estos resultados evidencian que el HPFRC puede contribuir a incrementar la vida útil de las estructuras y reducir las necesidades de mantenimiento a largo plazo.

Sin embargo, la literatura nacional también identifica desafíos asociados a los mayores costos iniciales



de producción, la limitada disponibilidad de fibras especializadas, la ausencia de especificaciones técnicas nacionales para diseño y construcción, y la necesidad de fortalecer la capacitación profesional en el uso de esta tecnología. Estas condiciones han restringido su aplicación principalmente al ámbito investigativo y experimental, limitando su incorporación en proyectos de infraestructura vial a gran escala.

En este contexto, la experiencia desarrollada en Brasil adquiere especial relevancia para Colombia, ya que proporciona referentes técnicos, normativos y constructivos que pueden contribuir a superar algunas de estas limitaciones. El análisis comparativo realizado en esta investigación permitirá identificar prácticas exitosas y estrategias de implementación que podrían considerarse en futuros procesos de actualización normativa, transferencia tecnológica y desarrollo de infraestructura vial basada en HPFRC.

9. Resultados Esperados

Detallar los resultados directos, medibles y cuantificables que se obtendrán con el desarrollo del proyecto, y como se relacionan estos con cada uno de los objetivos planteados. Indique para cada uno las características del nuevo conocimiento generado, la fecha tentativa en la que el resultado o el producto será finalizado, así como un indicador claramente definido que permita evidenciar el cumplimiento de dicho objetivo y producto (debe estar detallado en la metodología). Algunos ejemplos de indicadores pueden ser el número de publicaciones indexadas, pruebas realizadas, ponencias, pruebas de laboratorio, ejecución de encuestas, experimentos, etc. Todos los objetivos específicos deben tener por lo menos un resultado o producto con un indicador verificable.

Con el desarrollo de la presente investigación se espera obtener un análisis comparativo de las experiencias de Brasil y Colombia en la aplicación del hormigón de altas prestaciones reforzado con fibras (HPFRC) en la construcción de puentes prefabricados, identificando los principales factores técnicos, normativos y de gestión que han favorecido su implementación.

Como resultado del estudio se elaborará una caracterización de las normas y lineamientos técnicos utilizados en Brasil para el diseño, fabricación y construcción de estructuras con HPFRC, así como un análisis de las condiciones actuales de Colombia respecto a la investigación, regulación y aplicación de este material en infraestructura vial.

Adicionalmente, se identificarán las ventajas, limitaciones y desafíos asociados a la adopción del HPFRC en el contexto colombiano, considerando aspectos relacionados con el desempeño estructural, durabilidad, costos, capacitación técnica y disponibilidad de materiales especializados.

La investigación permitirá consolidar información proveniente de estudios científicos, experiencias internacionales y antecedentes nacionales, generando un documento de consulta que facilite la comprensión del potencial del HPFRC para la modernización de la infraestructura vial colombiana.



Finalmente, se formularán recomendaciones técnicas orientadas a fortalecer los procesos de transferencia tecnológica, actualización normativa y capacitación profesional, con el fin de promover la implementación progresiva de soluciones constructivas basadas en HPFRC en proyectos de puentes prefabricados y otras obras de infraestructura estratégica.

Tabla 3. Relación entre objetivos específicos y resultados esperados

Objetivo específico	Resultado esperado
Analizar la experiencia de Brasil en la aplicación del HPFRC en puentes prefabricados.	Identificación de normas técnicas, estrategias constructivas y factores que han favorecido la implementación del HPFRC en Brasil.
Identificar los avances y limitaciones de Colombia en el uso del HPFRC.	Matriz de antecedentes e investigaciones nacionales relacionadas con HPFRC y su aplicación en infraestructura vial.
Comparar los contextos de Brasil y Colombia.	Análisis de brechas técnicas, normativas y de capacitación que afectan la adopción del HPFRC en Colombia.
Formular recomendaciones para la aplicación del HPFRC en Colombia.	Documento de recomendaciones técnicas y lineamientos para fortalecer la transferencia tecnológica y la modernización de la infraestructura vial.

Fuente: Elaboración propia.

10. Conclusiones

El análisis técnico y comparativo realizado permitió identificar que el hormigón de altas prestaciones reforzado con fibras (HPFRC) presenta propiedades mecánicas y de durabilidad superiores a las del concreto convencional, destacándose por sus elevadas resistencias a compresión, que pueden superar los 120 MPa, su capacidad de controlar la propagación de fisuras, su mayor ductilidad y su excelente comportamiento frente a condiciones de carga repetitiva y ambientes agresivos. Estas características lo convierten en una alternativa viable para la construcción de puentes prefabricados y otras obras de infraestructura vial que requieren altos niveles de desempeño estructural y durabilidad.

La revisión de fuentes científicas, documentos técnicos y normativos permitió identificar experiencias relevantes en Brasil, país que ha logrado avances significativos en la aplicación del HPFRC gracias al respaldo de instituciones académicas, organismos de normalización y empresas del sector de la construcción. Casos como la utilización de elementos prefabricados de alto desempeño en puentes y

estructuras especiales evidencian los beneficios asociados a la reducción de tiempos de construcción, aumento de la vida útil de las estructuras y disminución de las necesidades de mantenimiento.

Por otra parte, el análisis de investigaciones desarrolladas en Colombia permitió establecer que existe un creciente interés académico por el estudio del HPFRC. Los resultados reportados por universidades como la Pontificia Universidad Javeriana, la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad Militar Nueva Granada demuestran mejoras significativas en resistencia mecánica, comportamiento post-fisuración y durabilidad del material. Sin embargo, su aplicación práctica en proyectos de infraestructura vial continúa siendo limitada debido a la ausencia de normativas específicas, la necesidad de capacitación especializada y los mayores costos iniciales asociados a su producción.

La comparación entre ambos países permitió identificar como principales ventajas del HPFRC su elevada resistencia mecánica, mayor durabilidad, reducción de fisuras, menor necesidad de mantenimiento y mejor comportamiento estructural frente a cargas dinámicas. No obstante, también se identificaron desventajas relacionadas con los costos iniciales de producción, la necesidad de materiales especializados, los requerimientos de control de calidad y la limitada experiencia técnica para su implementación en algunos contextos.

Finalmente, se concluye que la experiencia brasileña constituye un referente valioso para Colombia, ya que proporciona conocimientos técnicos, normativos y constructivos que pueden contribuir a fortalecer la adopción de esta tecnología en el país. La transferencia de conocimiento, el fortalecimiento de la investigación aplicada, la capacitación profesional y el desarrollo de lineamientos normativos específicos serán factores fundamentales para promover el uso del HPFRC en futuros proyectos de infraestructura vial colombiana.

11. Referencias

Mínimo de 3 referencias y máximo de 5 referencias.

1. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá: AIS.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2021). *NBR 16935: Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras*. Río de Janeiro: ABNT.
3. Figueiredo, A. D. (2011). *Concreto reforçado com fibras*. São Paulo: USP.
4. García, J. F., & Orbe, A. (2020). *UHPFRC: Estado del arte en Colombia*. Medellín: Universidad EAFIT.
5. Naaman, A. E. (2018). *Fiber Reinforced Cement Composites*. Michigan: Techno Press.
6. Structuralia Blog. (2023, 21 de junio). *El puente Juscelino Kubitschek: un puente de diseño estructural único*. Recuperado de <https://blog.structuralia.com/el-puente-juscelino-kubitschek-un-puente-de-diseno-estructural-unico>.



7. Reactive Powder Concrete
Richard, P., & Cheyrezy, M. (1995). Composition of reactive powder concretes. *Cement and Concrete Research*, 25(7), 1501–1511. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00144-2](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00144-2)
8. fib. (2013). *fib Model Code for Concrete Structures 2010*. Ernst & Sohn.
9. AASHTO. (2020). *LRFD Bridge Design Specifications* (9th ed.). American Association of State Highway and Transportation Officials. American Concrete Institute
10. Graybeal, B. A. (2006). *Material property characterization of ultra-high performance concrete*. Federal Highway Administration.
11. Yoo, D. Y., & Banthia, N. (2016). Mechanical Properties of Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete: A Review. *Cement and Concrete Composites*, 73, 267–280.
12. González, N., Castaño, J., Alvarado, Y., & Gasch, I. (2014). Influencia del volumen de fibras y curado posterior sobre el comportamiento post-fisura de un concreto de ultra alto desempeño. *Revista Ingeniería de Construcción*, 29(3), 220–233.
13. Gallo-Arciniegas, L. P., González-Peñuela, G., & Carrillo-León, J. (2013). Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306 sometido a esfuerzos de compresión. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 23(1), 117–133.
14. Carrillo, J., Barrera-Peñaloza, A., & Acosta, D. (2014). Evaluación del desempeño a tensión por compresión diametral del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306. *Ingeniería y Competitividad*, 16(1).
15. Restrepo-Ramírez, A., López-Sánchez, S., & Echavarría, C. (2024). Propiedades de un hormigón de alto desempeño fabricado con un proceso de producción convencional. *Ingeniería y Desarrollo*.

