



# ***Viabilidad de utilización de llanta molida en mezcla de concreto***

En el marco del Curso internacional

## ***Project Management y Liderazgo***

Celebrado en la ciudad de *Puebla, México* entre el 28 de junio del año 2021 y el 23 de julio del año 2021.

Presentado por:

***Laura Stefany Malagon Sanabria***

Universidad Militar Nueva Granada  
Facultad de Ingeniería Campus Nueva Granada  
Programa Académico de Ingeniería *civil*  
Cajicá, Colombia

*Octubre 2021*

# ***Viabilidad de utilización de llanta molida en mezcla de concreto***

***Laura Stefany Malagón Sanabria***

Ensayo científico-académico para obtener el título de:  
***Ingeniero civil***

Universidad Militar Nueva Granada  
Facultad de Ingeniería Campus Nueva Granada  
Programa Académico de Ingeniería *civil*  
Cajicá, Colombia  
*Octubre 2021*

## INTRODUCCIÓN

La importancia del desarrollo sostenible en la actualidad se ha redimensionado, es por ello que ya se puede hablar de construcción sostenible, ya que se permite ejecutar construcciones que integran criterios ambientales y sociales que impactan positivamente a la población en general, además de disminuir el consumo de recursos naturales y materia prima, se pueden aprovechar los residuos reciclables. En Colombia gracias a estudios realizados por el Ministerio de ambiente y vivienda y desarrollo territorial se estima que la generación de residuos de llantas de vehículos es de 61.000 toneladas al año y la mayoría de estos residuos se sitúan en sitios inadecuado o se queman, lo que genera un aumento de la problemática ambiental existente.

La industria de la construcción tiene un gran impacto en la economía y desarrollo de los países, debe buscar el avance y modernización de las ciudades, sin dejar de un lado el cuidado del medio ambiente, en la ingeniería civil ya se ha permitido la reutilización del caucho del neumático para la fabricación de concreto y pavimentos; el concreto es el segundo material más usado en el mundo debido al incremento gradual de la población y de los requerimientos de infraestructura civil, este está compuesto principalmente por cemento, arena, agua y grava, en el proceso de fabricación se deben tener en cuenta la dosificación de cada material, en el caso de la mezcla de concreto con utilización de caucho de llanta como sustituto parcial o completo de los agregados finos se deben tener en cuenta los porcentajes manejados, reemplazando un porcentaje de agregado fino con GCR (grano de caucho reciclado) sin permitir que se pierda la calidad en las propiedades mecánicas de la mezcla de concreto. (MIRANDA, 2018)

La mayoría de estudios y artículos realizados permiten conocer que en una mezcla de concreto donde se utiliza el GCR se disminuye la resistencia y deformación conforme el contenido de caucho aumenta. En los de ensayos realizados, los valores de sustitución de agregado fino por GCR están entre 5% a 100% (Issa & Salem, 2013) (Batayneh, Marie, & Asi, 2007). La pérdida de resistencia y deformación trae consigo una mejora en la ductilidad de esta mezcla además de que la velocidad de propagación de la fractura ocurre en un tiempo mayor, por lo cual el material puede absorber energía y disiparla de mejor manera que el concreto tradicional.

Utilizando los conocimientos adquiridos durante el curso internacional Project Management y Liderazgo , dirigido por la Universidad Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP ) México, este trabajo busca evaluar las diversas morfologías y tamaños de partículas de caucho adicionado al concreto y así se determina de acuerdo a los estudios anteriormente realizados que tan viable es desarrollar mezclas de concreto utilizando GCR y en qué dosificación, sin que se pierdan propiedades mecánicas y además contribuir a la reducción de impactos negativos para el medio ambiente además de fortalecer el desarrollo sostenible. También se pretende implementar estrategias de liderazgo, para generar mejores resultados, ya que cuando se ejecutan una serie de acciones de manera ordenada como manejar el tiempo para la toma de decisiones, estas decisiones pueden ser diseñadas, documentadas y evaluadas, como por ejemplo en este caso se busca poder tomar la decisión de si es o no viable desarrollar la mezcla de concreto utilizando GCR y en qué condiciones se puede utilizar.

### **PLANTEAMIENTO DE LA TESIS**

La ingeniería civil para el desarrollo de obras está totalmente ligada a la Gerencia de proyectos, ya que independientemente de la rama de ingeniería que se quiera estudiar es necesario tener conocimientos de desarrollo de proyectos, liderazgo, enfoque, comunicación, gestión del tiempo, entre otras para desarrollar actividades de forma óptima. Un aspecto importante de la ingeniería civil es el estudio y diseño de los materiales de construcción ya que es importante conocer sus propiedades químicas, físicas y mecánicas y así saber qué material ofrece mejores características mecánicas, económicas y ambientales para que una obra civil sea desarrollada de forma idónea.

Por ejemplo en cuanto a las mezclas de concreto y asfálticas a lo largo de los años se ha realizado la evaluación de implementación del uso de material de llanta molida, en el cual, según la información existente y a los antecedente en algunos casos se han mejorado las características mecánicas y en otros casos cuando se ganan algunas características se pierden otras como en el concreto estructural que casi todos los casos se pierde la resistencia a la compresión pero se gana elasticidad y es un avance a nivel ambiental y de desarrollo sostenible. Gracias a la organización, estructuración de proyectos y de contar con características de liderazgo, existen investigadores que han

tenido un resultado exitoso, como por ejemplo el uso de CGR en las mezclas asfálticas de acuerdo a un porcentaje de dosificación que ya se está utilizando en obras viales, y en otros casos no se ha llegado a una conclusión final ya sea por falta de información o falta de planificación y gestión del proyecto a evaluar lo que a veces pone límites a los investigadores .

Es por ello que en este caso se busca poder adoptar una posición personal para determinar la viabilidad del uso de llanta molida en mezclas de concreto, teniendo en cuenta una planificación de desarrollo de proyectos, buscando un resultado único, además de identificar en los antecedentes donde se tienen características de liderazgo y manejo de proyectos, ya que de esto depende el éxito del desarrollo de un proyecto. Para lograr el alcance inicial, siendo este la evaluación de la viabilidad del uso de la llanta molida en una mezcla de concreto se utilizará como metodología de investigación, los conceptos aprendidos del curso internacional Project Management y Liderazgo, dirigido por la Universidad Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) México

## **DISCUSIÓN**

Los líderes buscan el bien propio, el bien común, poder tener mejores condiciones de vida y de trabajo, la innovación y la protección de bienes tangible e intangibles y cuando se es líder se debe tener compromiso, autoadministración, competencia y coraje para llegar a cumplir con los objetivos establecidos, actualmente ya se cuenta con proyectos y estudios realizados por líderes que buscan la innovación de las mezclas de concreto, donde sus características mecánicas sean óptimas y tengan un enfoque al desarrollo sostenible; entre estos estudios se han realizado mezclas asfálticas y de concreto donde se buscan mejorar sus condiciones de resistencia y durabilidad utilizando residuos como fibras de acero, concreto demolido, fibras de vidrio, caucho molido, entre otros. Asumiendo el rol de Project manager, para darle un buen enfoque analítico a este trabajo y lograr un resultado cumpliendo con el objetivo principal que es determinar la viabilidad de una mezcla de concreto con utilización de caucho molido siendo este el alcance del proyecto. Teniendo en cuenta los estudios ya realizados anteriormente se establece una estrategia de acuerdo a los conocimientos adquiridos durante el curso internacional Project Management y Liderazgo, por ello en primer lugar se realiza un análisis interno y

externo del proyecto: como análisis interno se evalúan las oportunidades y amenazas en el medio ambiente y el entorno social y en el análisis externo las fortalezas y debilidades que se perciban proyecto sobre el proyecto.

Las oportunidades y amenazas en el medio ambiente; en primer lugar se describen las amenazas ya existentes, hoy en día la mayoría de agregados para el concreto son agregados pétreos que se obtienen de canteras, que aunque en la ingeniería civil es un beneficio, representa también un impacto ambiental nocivo por la sobreexplotación de minerales en la cantera y la degradación del entorno que conlleva además a afectaciones sociales y de la salubridad de las comunidades cercanas a la explotación minera, como indica (Duran, 2015). En donde señala que en varias localidades de Bogotá existen canteras a cielo abierto que producen un problema ambiental y de salud debido al polvillo que emiten a diario. Además de esto también las llantas desechadas generan contaminación ambiental ya que son arrojadas en las fuentes de agua, o son quemadas a cielo abierto; por ejemplo en la ciudad de Bogotá la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos – UAESP, reporta que son desechados aproximadamente dos millones de llantas anualmente, “Los neumáticos usados no generan ningún peligro inmediato, pero su eliminación de manera inapropiada o su producción en grandes cantidades, puede contaminar gravemente el medio ambiente u ocasionar problemas a la hora de eliminarlos”.

La oportunidad en torno al medio ambiente, es que al utilizar la llanta molida como un componente de la mezcla de concreto es que, se puede generar un impacto ambiental positivo ya que se reduce el gasto energético y permite generar desarrollo sostenible, dado que el caucho es obtenido de manera viable y económica usando llantas desechadas las cuales deben ser molidas hasta obtener tamaños apropiados para cumplir con estándares de calidad, contribuyendo en la solución del problema ambiental que estos generan al finalizar su vida útil; este caucho recibe el nombre de grano de caucho reciclado o GCR.

Al tener estudios con análisis de resultados de ensayos realizados se tiene mayor veracidad de los mismos, por lo que se puede realizar un mayor enfoque en estudiar la viabilidad del proyecto, por ejemplo en la Universidad Cooperativa de Colombia se realizó

una revisión sistemática de la literatura de la estimación de modelo matemático para obtener el módulo de elasticidad de concretos modificados con PET, RCD, residuos de vidrio y llantas; lo que permite obtener de varias fuentes resultados reales de las propiedades mecánicas del concreto con GCR, por otra parte en otras fuentes consultadas se muestran los resultados de laboratorio de los ensayos realizados en una mezcla de concreto de acuerdo a la dosificación que se haya realizado en cada caso.

La información recolectada en este caso ayuda a dar un mayor enfoque de acuerdo al análisis de la misma; en cuanto a las mezclas asfálticas, el (IDU, 2011) y (Universidad de los Andes, 2005) dicen que el costo/eje (beneficio costo) puede disminuirse en un 20%, y puede ser del 57% cuando se modifica la mezcla por vía seca utilizando 1% y 2% de GRC respectivamente, con respecto al peso total de la mezcla. Las mezclas modificadas con asfalto-GCR son más durables y por lo tanto con menor necesidad de mantenimiento (Lee, Amirkhanian, Putman, & Kim, 2007)

Actualmente los neumáticos reciclados se incorporan en pavimentos asfálticos ya que con esta técnica se aprovechan las cualidades de flexibilidad que ofrece el caucho, esta técnica ha tenido éxito en varios países sin embargo para las mezclas de concreto con fines estructurales, es un tema discutible ya que aunque se mejora la ductilidad del concreto se pierde un poco la resistencia a la compresión, y esta es mayor que la necesaria en cuanto a pavimentos, en la norma NSR-10 en el Título C se establece que las estructuras y los elementos estructurales deben ser diseñados para que tengan en cualquier sección una resistencia de diseño al menos igual a la resistencia requerida, calculada esta última para las cargas y fuerzas mayoradas. El requisito básico para el diseño por resistencia se puede expresar como:

$\phi$  (Resistencia nominal)  $\geq U$  para  $f'$  a partir de 17 MPa en adelante, se considera concreto de uso estructural, sin embargo, el más usado en edificación va desde 21 MPa. Es por ello que, buscando siempre el cumplimiento de la norma, se debe escoger una dosificación de componentes de la mezcla de concreto con utilización de caucho molido, donde se cumplan con los requisitos de resistencia, en los casos donde ha resultado más efectiva esta mezcla es cuando se reemplaza del 10 al 30% del volumen del agregado fino para un concreto con fines de uso estructural. (GARZÓN, 2015) (NSR-10, 2019)

La tecnología en esta época permite obtener información en el mundo digital, esto es una herramienta para distribuir el conocimiento y obtener valor, cuando la información está al alcance de diferentes poblaciones se pueden complementar ideas mediante el cambio de información, esto es de lo que se trata el liderazgo 4.0, que permite el desarrollo de proyectos de manera más innovadora y dejando la jerarquía de un lado, si no que muchas personas en busca de un bien común pueden contribuir en la investigación de un mismo tema, es claro que en un mundo cambiante, las evaluaciones son totalmente necesarias ya que los cambios son constantes y cada día se pueden adquirir nuevos conocimientos que se acercan a conclusiones más precisas, otra característica del liderazgo 4.0 es la innovación y adaptar una mezcla de concreto con GCR es innovador y sostenible ya que permite cambiar las propiedades mecánicas con respecto al concreto tradicional, se disminuye el impacto ambiental y costos de obras. A continuación, se nombra una serie de casos donde los proyectos fueron con aplicación exitosa que probablemente fueron ejecutadas por un grupo de personas o empresas que manejan el liderazgo 4.0.

Desde la invención de McDonald, la tecnología de proceso húmedo se ha utilizado y modificado más ampliamente en cuatro estados en los EE.UU.: Arizona, California, Texas y Florida. Más recientemente el proceso húmedo se ha utilizado también en Carolina del Sur, Nevada y Nuevo México. La preferencia por el uso de este modificador particular era debido al hecho de que no sólo la utilización de las llantas usadas puede ayudar a resolver los problemas ambientales sino que también ofrece otros beneficios como el aumento de la resistencia al deslizamiento, la mejora de la flexibilidad y la resistencia al agrietamiento, y reduce el ruido del tráfico. (DIAZ CLAROS & CASTRO CELIS, 2017).

Sudáfrica y Australia comenzaron a introducir el asfalto modificado con GCR como cemento asfáltico para pavimentos y para los sellos de la década de 1980 y mediados de la década de 1970, respectivamente. “En Sudáfrica, se informó de los procesos tanto húmedos y secos que se han utilizado con éxito” (Visser 82000). “Dos estados de Australia (Nueva Gales del Sur y Victoria) adoptaron el procedimiento por vía húmeda para la aplicación limitada de asfalto modificado con GCR, principalmente como capa de



resistencia a la grieta, pero por lo demás su uso ha sido predominantemente para aplicaciones de sellado pulverizados” (Widyatmoko, 2007).

En Europa el asfalto modificado con GCR por vía húmeda ha sido utilizado con éxito en la aplicación de construcción de carreteras desde 1981 en Bélgica, así como en Francia, Austria, Países Bajos, Polonia y Alemania, (Souza, 1993), más recientemente, también en Grecia, (Mayridou, Oikonomou, & Kalofotias, 2010) y Reino Unido (McQuillen, 1987), pero los países con un mayor número de aplicaciones son Portugal (Antunes M, 2000), España, (Gallego J, 2000), Italia, (Santagata FA, 2007), República Checa (Dasek O, 2012) y Suecia (Nordgren T, 2012).

(Issa & Salem, 2013) realizaron en el Líbano un estudio que tuvo como objetivo encontrar la manera de disminuir el porcentaje de agregados finos sustituyéndolo por caucho molido. Esto se logró tratando de asemejar la gradación del caucho a la del agregado fino y así sustituir estos agregados por su correspondiente volumen de caucho en polvo. Obtuvieron buenos resultados de resistencia a compresión cuando el contenido de caucho es inferior al 25% debido a la mejora de la ductilidad del hormigón concluyeron que podría implementarse en elementos resistentes a los golpes o impacto por ejemplo los separadores viales.

(Karim S Numayr, 2003) realizaron una investigación en Filipinas que tuvo como objeto el estudio de las propiedades de tiras de caucho molido como suplemento de arena en preparación de concreto, en la cual concluyeron que la tasa de desarrollo de resistencia a la compresión es relativamente lenta y que la adición de caucho disminuye sustancialmente la resistencia a la compresión.

(Pelsser, 2011), elaboró un estudio en Brasil en el que analiza la viabilidad técnica de la sustitución de la arena en concreto adicionando cauchos sometidos a tratamientos químicos de hidróxido de sodio, y a la adición de humo de sílice para recuperar la resistencia, específicamente para una resistencia a la compresión de 50 Mpa. Observaron que en el hormigón con caucho presenta una reducción significativa en la fuerza en comparación con el hormigón al que no se le agrega caucho. Sin embargo, el hormigón al que se adiciona caucho tratado químicamente presenta una recuperación excepcional de la fuerza a compresión perdida. Concluyendo que el caucho de

neumático reciclado demuestra ser un excelente agregado para ser empleado en las mezclas de concreto; no obstante, debido a las pérdidas de resistencia agregar hidróxido de sodio y humo de sílice recupera significativamente la resistencia a la compresión.

En los diferentes ensayos realizados, al sustituir los agregados finos por llanta molida, se permiten modificar las propiedades del concreto teniendo en cuenta las diferentes dosificaciones que se puedan emplear, (K. Rashid, 2019) estudiaron un reemplazo de agregado fino por llanta molida de 10%, 20% y 30%, con un tamaño de partícula de 4.75mm a 0.15mm y también reemplazan los agregados gruesos por llanta molida con un tamaño de partícula de 12.5 mm a 9.5 mm, de lo que dedujeron que existe una disminución de la resistencia a compresión directamente proporcional al aumento de la dosificación de residuos de llanta molida, teniendo una mayor pérdida de resistencia cuando se reemplazan los agregados gruesos. Si se hace un reemplazo del 30% de los agregados gruesos genera una disminución al día 28 del 74% de la resistencia con respecto al concreto tradicional, lo cual ya no es viable. (Asprilla Edwin, 2020)

(Khaloo, 2008) y (Ospina, 2014) reportaron que la modificación de los agregados gruesos por residuos de llantas modifica la resistencia a la compresión, de lo que concluyeron que los porcentajes de reemplazo deben ser menores del 25% y del 10%, respectivamente, para concretos de uso estructural. (L. Lijuan, 2014) evaluó el efecto del tamaño de las partículas de caucho en la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad, y concluyeron que el reemplazo de los agregados finos por partículas de caucho con diferentes tamaños de partícula (4 mm, 2 mm, 0.864 mm, 0.535 mm, 0.381 mm, 0.221 mm y 0.173 mm) y diferentes porcentajes de reemplazo de agregado fino (2%, 4%, 6%, 8% y 10%) modifican las propiedades del concreto.

Se debe tener en cuenta que los estudios mencionados anteriormente y las conclusiones establecidas, son individuos, grupos u organizaciones que les interesa determinar la viabilidad de utilizar GCR en mezclas de concreto ya que es por ello mismo que han realizado sus respectivos estudios y con los resultados de sus ensayos han llegado a conclusiones similares, al analizar distintos estudios se puede llegar a una deducción más concisa que para estos investigadores, sea de gran valor, ya que su posición puede ser afectada o no por los resultados de este trabajo. Para sacar buenas conclusiones se

les debe asociar un valor a las opiniones de los investigadores, puesto que se deben evaluar sus puntos de vista ya que aportan sus conocimientos, experiencias y críticas, por ejemplo las opiniones de mayor valor, son en este caso los proyectos que han tenido éxito en cuanto al empleo de GCR en las mezclas de concreto estructural ya que permite conocer resultados reales de las propiedades con las que se cuenta en un concreto modificado, también son de gran valor los ensayos realizados que demuestran que la resistencia a la compresión se pierde en cuanto mayor es el porcentaje reemplazado por llanta molida, ya que se debe tener en cuenta que es viable siempre y cuando se cumpla con las exigencias de la NSR-10, para concretos estructurales, en el caso colombiano.

Existen los océanos en la planeación estratégica; están los océanos rojos, azules y verdes; el océano rojo permite tener una competencia alta, enfrentar la competencia y explotar la demanda existente, en los océanos azules se busca la innovación, dejar a la competencia atrás y crear nueva demanda y en los océanos verdes se busca la sustentabilidad, competir con uno mismo y estrategia de crecimiento y sustentabilidad, para este caso se utiliza la planeación de estrategias en los océanos azules. Se plantean dos estrategias para establecer la viabilidad del uso de llanta molida en una mezcla de concreto, en primer lugar, analizar y comparar los resultados obtenidos de los estudios mencionados anteriormente, definir de acuerdo a estos las ventajas y desventajas al implementar llanta molida en una mezcla de concreto. La segunda estrategia es realizar una comparación entre los componentes del caucho y de agregados finos como la arena, para ver su compatibilidad y evaluar que propiedades mecánicas que se pierden o se ganan al utilizar un porcentaje de GCR en la mezcla de concreto. Se desarrollan ambas estrategias, aunque se da un mayor enfoque a la estrategia principal, debido a que los resultados presentados en los estudios evaluados son de ensayos de laboratorio que demuestran las propiedades mecánicas que se obtienen de una mezcla de concreto con uso de GCR.

Hay diferentes variedades de concreto estructural, de acuerdo a la composición y calidad de los siguientes cuatro ingredientes: cemento, agua, agregados, químicos y acero, el concreto simple está compuesto de igual forma pero sin acero, en este caso se desea evaluar cuando se utiliza un nuevo componente, que es el caucho; este es obtenido de

manera viable y económica usando llantas desechadas las cuales deben ser molidas hasta obtener tamaños apropiados para cumplir con estándares de calidad, contribuyendo en la solución del problema ambiental que estos generan al finalizar su vida útil; este caucho recibe el nombre de grano de caucho reciclado o GCR. La llanta está compuesta por tres productos básicamente: caucho natural y sintético, acero y fibra textil. Este caucho que se utiliza en la producción de las llantas está compuesto por un grupo de polímeros (compuestos químicos con un elevado peso molecular) como lo son el Poli isopreno sintético, el polibutadieno y el más común que es el estireno-butadieno, todos usados en hidrocarburo. (MORELOS, 2018)

La composición de la arena depende de las fuentes locales de minerales de las que están formadas las rocas y de condiciones geológicas. El tipo más común de arena, que se encuentra en las costas no tropicales y áreas continentales es la llamada sílice y generalmente toma la forma de gránulos. La piedra blanca como la del caribe está compuesta de piedra caliza erosionada, o de restos de crustáceos que le dan coloración. La arena pura es  $\text{SiO}_2$  (Sílice o cuarzo), pero en la naturaleza de minerales por el agua y el viento la compone metales, óxidos y otros elementos orgánicos e inorgánicos. el tamaño de la arena como grano fino según la NTC 174 está entre 0,074 – 4,76 mm y (Venegas Ramírez, 2016) en un laboratorio en Argos estableció en un análisis granulométrico que se pueden obtener tamaños de partícula de GCR entre 0,16 mm y 0,075 mm por lo que estableció que el grano fino de GCR se encuentra clasificado dentro del rango de las arenas ya que el tamaño de las partículas se retenía en el tamiz N°4. Así que según la granulometría si es posible que sea usado en una mezcla de concreto. Otro parámetro que se puede comparar entre la arena y el GCR es la densidad de acuerdo al estudio realizado por Venegas (2018), la densidad obtenida en el GCR como grano fino y grueso, es una densidad baja, lo que quiere decir que es favorable para la mezcla de concreto ya que no se aumenta la densidad del concreto y por lo tanto no se afecta el peso del mismo. El caucho tiene mayores propiedades de elasticidad que la arena, ya que es un polímero elástico, por lo tanto, se aumenta el módulo de elasticidad en la mezcla de concreto con GCR.

## CONCLUSIÓN

En todas las fuentes de información consultadas se deduce que se utilizó la metodología Design Thinking, ya que aunque encontraron que el problema del uso de llanta molida en una mezcla de concreto, es que a mayor porcentaje reemplazado de arena por GCR se presentaba una mayor pérdida de resistencia a la compresión (lo que en algún momento ya no sería permitido por la norma NSR-10), pero al realizar sus ensayos encontraron la solución para poder trabajar con una mezcla de concreto con GCR, debían tener en cuenta qué dosificación utilizar, lo que tuvo como resultado que no se debe utilizar más del 30% de GCR en la mezcla de concreto y además así obtener los resultados deseados que benefician al usuario final, que en este caso serían los ingenieros civiles, ya que si se logra la dosificación adecuada se puede llegar a reducir costos en la construcción y contribuir al desarrollo sostenible. Estos investigadores tienen grandes características de líderes potenciales que pudieron ser motivados ya sea por razón teórica, utilitaria, social o individual ya que al realizar revisiones bibliográficas lograron deducir mediante la verdad la viabilidad del uso de esta mezcla, en cuanto a la motivación utilitaria en caso de que sea viable el uso de mezcla de concreto con GCR se reducirían los costos de la misma y sería una ganancia para quienes implementen la mezcla, en cuanto a la motivación social estas personas tienen en cuenta el desarrollo sostenible, sabiendo que este hace referencia a satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones (Comisión mundial sobre el medio ambiente, 1987) en este caso se busca poder implementar el GCR para contribuir en el desarrollo económico y generar impacto ambiental positivo, lo cual sería de beneficio para toda la población y por último la motivación individual hace referencia al prestigio que ganan estos investigadores al encontrar una solución innovadora para que las propiedades del concreto tradicional mejoren además de la influencia que crearon al hacer estos estudios y ensayos ya que gracias a los datos obtenidos se puede deducir si es o no viable el uso de GCR en la mezcla de concreto.

La responsabilidad social, es el compromiso con respecto al entorno, al revisar estos antecedentes con respecto a la elaboración de mezclas de concreto con componentes de GCR, se tiene que tener en cuenta que en caso de que las propiedades mecánicas

del concreto se alteraran de tal manera que no se cumpliera con lo establecido en la norma NSR-10, no se podría utilizar en construcciones estructurales, ya que si no es capaz de resistir esfuerzos u oponerse a la falla por impacto, puede poner en riesgo la vida de las personas, que estén expuestas a esta obra civil. En el caso de que se utilice la dosificación adecuada en la mezcla de concreto modificada con caucho, representa un impacto ambiental positivo, ya que se da un uso a los residuos de llanta molida y ya no resultarían en los acuíferos, ni se incinerarían disminuyendo así la producción de CO<sub>2</sub> y la contaminación de acuíferos. además de que al emplear GCR en las mezclas de concreto es un gran avance en cuanto al sector de la construcción ya que la innovación de obtener un nuevo material para una mezcla de concreto, logra minimizar el impacto ambiental y los costos de producción del concreto, teniendo en cuenta que las propiedades de la mezcla de concreto también pueden llegar a mejorar.

Al haber realizado un análisis interno y externo del proyecto, se establece la misión, visión y objetivos estratégicos para lograr el alcance del proyecto; la misión de este trabajo es definir la viabilidad de utilizar llanta molida en una mezcla de concreto, teniendo en cuenta los estudios realizados anteriormente, la visión es hacer un análisis adecuado que permita llegar a una conclusión coherente después de haber indagado en el tema y como objetivos estratégicos, en primer lugar es evaluar las propiedades mecánicas de un compuesto a base de concreto modificado con caucho proveniente de una llanta de desperdicio, de acuerdo con los datos obtenidos y las fuentes de información consultadas. Se deben de tener en cuenta los análisis de resultados y puntos de vista de los profesionales que realizaron los estudios mencionados anteriormente y así establecer si es o no viable el uso de GCR en el desarrollo de las mezclas de concreto y qué dosificación es óptima para realizar la mezcla.

La resiliencia es la capacidad del ser humano para sobrellevar situaciones adversas, la primera vez que alguien evaluó la posibilidad de desarrollar una mezcla de concreto con GCR, los resultados no fueron los esperados y se mostró que no era funcional ya que se perdía la resistencia del concreto, aun es discutible ya que para el concreto se requiere una resistencia a la compresión mayor que para los pavimentos, y esta es lograda en gran parte gracias a la calidad de los agregados pétreos, el concreto es una mezcla de

cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregados pétreos, fino y grueso; este último es encargado en gran parte de la resistencia del concreto; se encuentra también el agregado fino, el cual es el encargado de llenar vacíos y obviamente agua, con o sin aditivos. Pero se siguió indagando en el tema y ya para la fecha se ha podido demostrar que si es posible realizar una mezcla de concreto con GCR que cumpla con las condiciones de resistencia a la compresión según la norma NSR-10 variando la dosificación de llanta molida, y además de esto esta mezcla cuenta con unas características de gran valor para el concreto como por ejemplo que es más dúctil, más flexible, se disminuye el asentamiento, entre otras cosas.

De acuerdo a los resultados de los estudios consultados se tiene que el GCR se puede utilizar como un agregado fino, conservando los límites establecidos por las normas. Como se mencionó anteriormente el asentamiento se disminuye lo que hace que se tenga una menor fluidez, lo que permite que la mezcla adquiera más rigidez temprana, por otro lado, el contenido de aire aumenta, por lo que quedan más poros a lo que la mezcla ya está endurecida. En todos los casos se demostró que a mayor contenido de GCR la resistencia a la compresión disminuye, pero esto no quiere decir que no pueda ser utilizado el GCR como agregado fino, esto ocurre por la baja adherencia que tiene el GCR a la pasta de cemento, en cuanto a otras propiedades se tiene que la densidad de la mezcla de concreto no es afectada, por ejemplo si se utiliza entre un 10 a 25% de GCR se obtienen densidades entre 600 a 1800 kg/m<sup>3</sup> lo que hace referencia a un concreto ligero, en cuanto al peso es más ligera la mezcla de concreto con GCR que la tradicional, debido al aumento de la porosidad y contenido de aire.

Con base a los resultados de investigación de (Lopez, 2018), se encontró que el porcentaje máximo de agregado de llantas usadas, que se puede utilizar para un concreto de uso estructural es del 7% de remplazo del agregado fino y el agregado grueso por polvillo de caucho proveniente de llantas recicladas. Esta mezcla cumple con las condiciones de resistencia enunciadas en la NSR-10 para Colombia, dando como resultados concretos con una resistencia a los 28 días de más de 22 MPa. El contenido creciente de llanta triturada en sustitución parcial del agregado pétreo, disminuye la conductividad térmica del concreto, confiriendo aislamiento térmico. La diferencia es más

notable entre el concreto tradicional y el concreto con 10% de llanta triturada. (J. P. Valencia Villegas, 2019)

En ningún caso se puede utilizar más del 30% de GCR como agregado ya que se dejan de cumplir las propiedades mecánicas establecidas en la norma NSR-10 y se pueden correr riesgos, debido a que la resistencia baja hasta un 76% y la durabilidad es menor, la incertidumbre es la incapacidad de las personas para pronosticar la probabilidad de que ocurran eventos ( TARAPUEZ CHAMORRO, ZAPATA ERAZ, & AGREDA MONTENEGRO, 2008) y es una parte inevitable del crecimiento y el desarrollo, inicialmente no se tenía claro si era viable o no el desarrollo de una mezcla de concreto con adición de GCR pero al hacer una revisión bibliográfica y analizar resultados de ensayos realizados en los trabajos estudiados, se termina deduciendo que si es viable la mezcla de concreto con GCR pero teniendo en cuenta la dosificación, de acuerdo a los estudios evaluados se tiene que lo más viable es utilizar entre el 7 al 10% de GCR y además utilizar otro agregado como por ejemplo la arena.

Es importante en todos los proyectos ya sean para una empresa o para una investigación, la planificación, organización y estructuración del mismo ya que si no se lleva una secuencia, ni se tienen en cuenta estudios fundamentados sobre el tema difícilmente se llega a cumplir con los objetivos establecidos. Por ello en este caso se tuvieron en cuenta los resultados de ensayos realizados por otros investigadores y sus puntos de vista, para tomar una posición frente al tema; El uso de GCR en mezclas asfálticas ha sido un gran avance en la sociedad, que ha permitido dar mayores propiedades a este tipo de mezcla, sin embargo en las mezclas de concreto estructural no ha sido aprobado el uso de GCR ya que se pierda en gran porcentaje la resistencia a la compresión, sin embargo al haber analizado todas las fuentes de información se llega a la conclusión de que es una buena alternativa que aporta a los avances en cuanto a materiales sostenibles e innovadores, además de que aunque la resistencia a la compresión disminuye y la cantidad de poros aumenta, se disminuye la conductividad térmica y el asentamiento, además de que se disminuye el módulo de elasticidad, lo que quiere decir que tiene mayor capacidad de deformarse y volver a su estado normal; otro factor positivo es que se fomenta el reutilizado de materiales desechados y el ahorro de



materiales pétreos para la construcción, lo cual mitiga el impacto ambiental causado por los mismos por su disposición en zonas inadecuadas, ya que su degradación es a largo plazo volviéndose significativamente desfavorable para el medio ambiente; en cuanto a costos se tiene que al ser un material reciclado los costos son menores que la compra de los materiales pétreos. Pero se debe tener en cuenta que hasta el momento con los estudios realizados se deduce que la mezcla de concreto con GCR cumple con las propiedades óptimas y por eso ya puede ser comercializado, pero se deben seguir realizando estudios que evalúen la resistencia a la flexión y a la tracción de las mezclas con las mismas sustituciones de fino con GCR, para llegar a estar completamente seguros de la dosificación más conveniente a utilizar sin que se pierda calidad de la mezcla de concreto.

Entre las ideas de negocio con éxito se tiene el uso alternativo de productos, que en este caso sería el reciclaje de neumáticos. Al haber analizado los distintos estudios y tener claro que sí es viable la utilización de llanta molida en mezclas de concreto, se puede reconocer como una oportunidad de negocio la trituración de los neumáticos, y mucho mejor si la persona que emprende el negocio fuera un profesional con conocimientos en el ámbito de ingeniería civil ya que puede vender este material como agregado fino, contando con las condiciones óptimas para cumplir con las propiedades mecánicas que se le exigen. Conociendo las cifras mencionadas anteriormente de los residuos de neumáticos, se puede tener éxito en este plan de negocio, además de que es también una oportunidad de negocio para toda constructora que busque la innovación en su empresa ya que así reduce los costos de los materiales utilizados a la hora de realizar la respectiva mezcla de concreto. Aunque aún no se utilice totalmente esta técnica se debe abrir la visión a nuevos horizontes, ya que es claro que se presentan cambios sociales continuamente, en este caso, se buscan profesionales con ideas innovadoras y sostenibles. Si una empresa cuenta con un enfoque ambiental tiene mayor oportunidad en el mercado ya que (López, 2013) anuncia que el Medio Ambiente por fortuna, ha dejado de ser únicamente tema de los ecologistas para convertirse en una tendencia mundial.

## Bibliografía

- Antunes M, B. F. (2000). Characterisation of asphalt rubber mixtures for pavement rehabilitation projects in Portugal. *Asphalt Rubber*, 2000.
- Asprilla Edwin, G. D. (2020). Estimación del módulo de elasticidad de concretos modificados con PET, RCD, residuos de vidrio y residuos de llantas: una revisión sistemática de literatura. *Universidad cooperativa de Colombia*, 1-11.
- Batayneh, M., Marie, I., & Asi, I. (2007). Promoting the use of crumb rubber concrete in developing countries. *Science Direct*, 2171–2176.
- Comisión mundial sobre el medio ambiente. (1987). *Informe Brundtland*. Rio de Janeiro.
- Dasek O, K. J. (2012). Asphalt rubber in Czech Republic. *Asphalt rubber*.
- DIAZ CLAROS, C. M., & CASTRO CELIS, L. C. (2017). IMPLEMENTACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) PROVENIENTE DE LLANTAS USADAS PARA MEJORAR LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y GARANTIZAR PAVIMENTOS SOSTENIBLES EN BOGOTÁ. *Universidad Santo Tomás*, 1-15.
- Gallego J, D. V. (2000). Spanish experience with asphalt. *Asphalt Rubber*, 2000.
- GARZÓN, C. R. (2015). COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA PARA CONCRETO RECICLADO USANDO NEUMÁTICOS TRITURADOS COMO REEMPLAZO DEL 10% Y 30% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO FINO PARA UN CONCRETO CON FINES DE USO ESTRUCTURAL. *Repositorio Universidad Católica*.
- IDU. (2011). *mezclas asfálticas en caliente con asfalto modificados con caucho por vía húmeda*. Bogotá: Instituto de desarrollo urbano.
- Issa, C. A., & Salem, G. (2013). Utilization of recycled crumb rubber as fine aggregates in concrete mix design. *Construction and Building Materials*, 42:48-52.
- J. P. Valencia Villegas, A. M. (2019). Evaluación de las propiedades mecánicas de concretos modificados con microesferas de vidrio y residuos de llantas. *lampsakos*, 16-26.
- K. Rashid, A. Y. (2019). Sustainable selection of the concrete incorporating recycled tire aggregate to be used as medium to low strength material. *Journal of Cleaner Production*, 396-410.
- Karim S Numayr, S. A.-J.-A. (2003). Dynamic stiffness of reinforced concrete beams. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 373-379.
- Khaloo, M. D. (2008). "Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire – rubber particles. *Waste Management*, 2472–2482.
- L. Lijuan, R. S. (2014). Mechanical properties and constitutive equations of concrete containing a low volume of tire rubber particles. *Construction and Building Materials*, 291-308.

- Lee, s. J., Amirkhanian, S., Putman, B., & Kim, K. (2007). Laboratory Study of the Effects of Compaction on the Volumetric and Rutting Properties of CRM Asphalt Mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering Volumen 19*, 1079-1089.
- López, J. C. (2013). 5 Empresas Verdes en Colombia. *Propais*.
- Lopez, S. (2018). Concreto estructural con agregado triturado de llantas usadas. *Universida EIA*, 21.
- Mayridou, Oikonomou, & Kalofotias. (2010). worldwide survey on best (and worse) practices concerning rubberised, asphalt mixtures implementacion ( number of difert cases, extent od application=. *Enviroment Policy and govermance ROADTIRE*, 1.
- McQuillen, J. L. (1987). Construction of Rubbermodified Asphalt. *J. Constr. Eng. Manage*, 537–553.
- MIRANDA, L. G. (2018). METODOLOGIA MAS EFICIENTE PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD AMBIENTAL DE LA TECNOLOGIA DE PIROLISIS DE LLANTAS USADAS EN COLOMBIA. *FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA*, 5-10.
- MORELOS, J. L. (2018). DISEÑO DE UN MATERIAL ECOLÓGICO PARA CONSTRUCCIÓN MEDIANTE LA ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA AL CONCRETO. *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS*, 5-25.
- Nordgren T, T. A. (2012). dense graded asphalt rubber in cold climate. *Asphalt Rubber*.
- NSR-10. (Agosto de 2019). *Asociación Colombiana de ingeniería sísmica*. Obtenido de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/3titulo-c-nsr-100.pdf>
- Ospina, H. A. (2014). Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho. *Escuela Colombia de Ingeniería Julio Garavito*.
- Pelsser, Z. L. (2011). Concrete made with recycled tire rubber: Effect of alkaline activation and silica fume addition. *Journal of Cleaner Production*, 75-76.
- Santagata FA, C. F. (2007). Mechanical characterisation of asphalt rubber.
- Souza. (1993). Experiences with use of reclaimed rubber in asphalt within Europe. *Rubber in Roads* .
- TARAPUEZ CHAMORRO, E., ZAPATA ERAZ, J., & AGREDA MONTENEGRO, E. (2008). Knight and his contributions to the entrepreneur theory. *Estudios Gerenciales*, 106.
- Universidad de los Andes. (2005). *SEGUNDA FASE DEL ESTUDIO DE LAS MEJORAS MECÁNICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CON DESECHOS DE LLANTAS*. Bogotá.
- Uriarte, J. M. (9 de Marzo de 2020). *Caracteristicas.co*. Recuperado el 14 de 5 de 2021, de <https://www.caracteristicas.co/ensayo-cientifico/>
- Venegas Ramírez, L. C. (2016). Evaluación del comportamiento del grano de caucho de la llanta reciclada en la producción de concreto para la empresa Argos. 1-10.
- Widyatmoko. (2007). A review of the use of crumb rubber modified. *Waste & Resources Action Programme*.

