	FORMATO: TRABAJO DE GRADO	Código:	FO-MI-058
		Versión:	1
		Fecha:	15-04-2020

1. PRESENTACIÓN			
FACULTAD:	Ingenierías y Arquitectura		
PROGRAMA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO:	Análisis bibliográfico del uso de poliestireno expandido en el incremento de la resistencia del concreto		
AUTOR 1:	Diana Carolina Chica	CC:	1152464259
AUTOR 2:	Manuela Pérez Rojas	CC:	1017235270
TUTOR:	Maria Julia Nieto Callejas		

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
<p>En el ejercicio de la ingeniería civil es importante comprender que es responsabilidad de los profesionales en esta área, entre otras, planificar, diseñar, construir, operar, mantener y rehabilitar obras de infraestructura; por lo que se entiende como una profesión cuyo carácter primordial es técnico y que afronta las problemáticas correspondientes desde una perspectiva basada en principios físico matemáticos.</p> <p>Dicho esto, comprender que los materiales de construcción son parte de este proceso y por tanto su estudio y evaluación constante son acciones de relevancia, permite que la ingeniería civil se perfeccione y provea mejores resultados en los aspectos técnicos y estructurales de su ejercicio en la realidad; todo esto sin dejar de lado que el ingeniero civil debe considerar aspectos socioculturales y ambientales, además de los de carácter económico, al seleccionar y usar materiales en una construcción específica. En consecuencia, el ingeniero civil debe estar en capacidad de ofrecer resolución a diversas problemáticas y, por supuesto, la ingeniería civil es responsable de entregar a sus profesionales las herramientas técnicas, conceptuales y funcionales suficientes para que cumplan con su labor de manera eficiente y profesional.</p> <p>Dado que es responsabilidad del ingeniero civil el establecer los materiales necesarios para que la estructura sea adecuada y cumpla de manera óptima con las necesidades de soporte, resistencia y funcionalidad, este debe estar al tanto de las innovaciones en el uso y aplicación de los materiales disponibles para la construcción; especialmente aquellos que son de mayor uso, como es el caso del concreto.</p>

En la actualidad, el concreto es uno de los materiales de mayor uso en el área de la construcción debido a sus características de resistencia y compresión; su demanda en el sector es alta, de allí que su producción anual supere los 13.000 millones de metros cúbicos (Ceballos Arana, 2016, pág. 24) y se realicen constantes investigaciones respecto a este material, sus cualidades y potencial de mejora; a esto se agrega el hecho de que este aún posee un amplio espectro de preparación y mejora, especialmente a la luz de que en la actualidad se identifican falencias en el uso y aplicación del concreto en cuanto a condiciones de sismo resistencia estructural.

La comprensión más profunda y especializada del concreto y sus potenciales al ser combinado con otros materiales es hoy un enfoque con inmenso potencial para resolver las falencias del material y compensar las deficiencias que posee en términos de resistencia mecánica en los escenarios de eventos sísmicos; en este contexto el poliestireno expandido (EPS) es uno de los materiales aditivos que se han estado comprobando en la mezcla del concreto y que prometen ser una solución efectiva a las falencias del concreto en la construcción estructural presente y futura.

Así pues, es de relevancia y actualidad para los ingenieros civiles conocer los avances que se están desarrollando en esta área de investigación y poder así aplicarlos en el uso y aplicación del concreto en las obras de las que participen hoy y en el futuro.

3. JUSTIFICACIÓN

La infraestructura es un elemento importante del entorno moderno en el que la sociedad desarrolla sus diferentes aspectos vitales e interacciones; la calidad de esta es pues, un aspecto notable respecto a la cotidianidad y futuro de las comunidades y por tanto, es imperioso que se consideren los componentes relacionados a la infraestructura de manera concienzuda y profunda con el propósito de que esta se encuentre en función de los individuos y comunidades, así como los espacios y entornos correspondientes.

Respecto a este tema, los ingenieros civiles tienen la responsabilidad de proveer a las comunidades de estructuras capaces de perdurar en el tiempo, resistir los efectos internos y externos del clima y otras variables, ser funcionales y estar construidas con la mayor calidad posible teniendo presente que el desarrollo de materiales de alto desempeño es una respuesta efectiva a los retos de la construcción de infraestructura y prolongan la vida útil de estas. Por esta razón es trascendental continuar ahondando en la investigación, mejora y perfeccionamiento de los materiales de construcción, especialmente aquellos de mayor uso, como lo es el concreto.

Dado que en las obras de infraestructura pública y privada el concreto es un material primordial y que este se usa en todo el mundo por su accesibilidad y bajo costo; es de gran relevancia que se evalúen los diferentes aspectos relacionados con su uso y aplicación en la construcción y que se investiguen con un enfoque innovador los elementos, dosimetrías,

aditivos y tratamientos que este podría recibir para tener un mayor y mejor desempeño en aspectos como su resistencia mecánica.

A través de la investigación de estas posibilidades se puede asegurar que este material siga siendo útil en la construcción de infraestructura; y estos conocimientos son de relevancia en el acervo teórico y práctico del ingeniero civil quien, al conocer mejor el comportamiento y capacidad del material, podrá hacer un mejor uso de este en el proceso de su carrera profesional.

Considerando el valor y relevancia de la investigación como estrategia de desarrollo y ampliación del conocimiento teórico y práctico, en el presente documento se aborda un enfoque analítico en el que se examina, considera y contrasta información disponible respecto al uso del poliestireno expandido (EPS) como aditivo del concreto, y su impacto en las propiedades de resistencia mecánica y sismo-resistencia de acuerdo a los estándares de la norma NSR-10

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Identificar la(s) dosimetría de EPS en concreto cuya resistencia mecánica cumpla las especificaciones técnicas de la NSR-10 en elementos estructurales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Comprender las especificaciones técnicas del concreto según la NSR-10 para la construcción de elementos estructurales.
2. Determinar el comportamiento mecánico de especímenes realizados a partir de diferentes dosimetrías de EPS en concreto.
3. Analizar comparativamente la resistencia mecánica de especímenes realizados a partir de diferentes dosimetrías de EPS en concreto.

5. MARCO TEÓRICO

La ingeniería civil, la responsabilidad social y la ética en el uso de materiales para la construcción.

La ingeniería civil es un área de acción profesional de gran responsabilidad en la que es de gran valor el profesionalismo de quienes la ejercen; por tanto, es imperativo que la formación académica de los actuales y futuros ingenieros civiles responda a estándares enmarcados en

“...fundamentos sólidos de física, química y matemáticas; conocimientos vastos de los procedimientos de diseño e ingeniería aplicada que les permita, creativa y críticamente, plantear soluciones específicas a los problemas de infraestructura; capacidad de evaluar el contexto socioeconómico y ambiental del problema para hacer una correcta valoración del balance costo-beneficio en todos los ámbitos; empatía con los diversos actores con los que requiere interactuar durante su desarrollo profesional y la capacidad de transmitirles claramente sus ideas; y una integridad y ética profesional con los más altos estándares acompañada de una vocación de servicio a la sociedad.” (Fernández Sola, 2020)

Para el propósito del presente proyecto, es primordial que, a través del análisis documental, se identifiquen las dosimetrías del poliestireno expandido en el concreto, que cumplan con las características de resistencia mecánica que se especifican en NSR-10 en elementos estructurales; por lo que, en primer lugar se abordarán los aspectos conceptuales necesarios para la comprensión de este propósito, a continuación se analizarán las generalidades de los materiales objeto de este estudio y la evolución práctica de su uso y aplicación a la luz de su potencialidad y posibilidades, basados en casos de éxito y experiencias existentes para, por último, observarlo desde la perspectiva de la normatividad colombiana, de manera específica la NSR-10, la cual es la principal norma nacional en términos de sismo resistencia estructural.

El concreto, materia prima de la construcción.

Al pensar en construcción a nivel mundial, y por supuesto a nivel nacional, uno de los materiales que destaca por su uso en las estructuras, es el concreto; su importancia en la industria de la construcción radica en que es un material versátil y el desarrollo tecnológico actual permite que su desempeño sea más alto, sus usos más variados y sus aplicaciones más amplias; por lo que no es de extrañar que sea el material de construcción más utilizado en la actualidad. (Ceballos Arana, 2016, pág. 24)

Dentro de los aspectos funcionales del concreto es importante que se tenga presente que este es producto de una combinación de materiales, por lo que, según la cantidad de cada componente utilizado repercute en sus características. Así pues, el concreto, u hormigón, es la mezcla de dos componentes; en primer lugar, la pasta, que está compuesta de cemento portland y agua, y en segundo lugar los agregados, que normalmente son arena y grava (piedra triturada piedra machacada, pedrejón); de la combinación de estos componentes se obtiene el material que tras su aplicación y curado crea una masa similar a una roca. (GEOSEISMIC EXPLORACIONES, 2017)

Si bien la composición del concreto parece ser de carácter sencillo, este material posee grandes ventajas que lo hacen indispensable en los proyectos de construcción respondiendo de manera eficiente a los principales desafíos de infraestructura; esto gracias a que este tiene una gran capacidad de resistencia a la exposición, es durable y resiliente a las condiciones ambientales extremas lo que le provee una vida útil amplia; es un material versátil, por lo que sus aplicaciones estéticas dan pie a que la arquitectura pueda ser innovadora; su fabricación es posible en todo el mundo, por lo que disponibilidad es alta y su costo es bajo; (Ceballos Arana, 2016, pág. 24)

Las ventajas y características del concreto que le hacen un material tan utilizado, en términos generales, son aspectos que todo ingeniero civil debe conocer y tener en cuenta a la hora de usarlo; esto, teniendo en cuenta que el material debe de responder a los estándares técnicos establecidos por manuales y normas relacionadas, cumpliendo con aspectos como la resistencia a la compresión, la tracción y la durabilidad; además de que estos respondan a condiciones futuras de seguridad y calidad en la estructura. Con este propósito el ingeniero civil debe realizar las mediciones y pruebas suficientes para crear la mezcla de concreto idónea para el caso, en este proceso, la dosimetría es un aspecto fundamental, ya que a través de ella se obtiene una mezcla homogénea en todo momento, tanto para las pruebas como en la construcción misma.

Así pues, la medición e implementación de las proporciones de los componentes de la mezcla de la que se encarga la dosimetría, es un factor esencial en la construcción del que el ingeniero civil es responsable y quien posee la idoneidad suficiente para ello. Al experimentar con diferentes dosimetrías y probarlas a través de diferentes métodos, es posible que el ingeniero civil establezca las condiciones y proporciones de los componentes de forma que respondan a las necesidades estructurales con calidad y seguridad.

Las propiedades mecánicas, lo que se mide para determinar la calidad del material.

Teniendo claro que las estructuras responden a características y necesidades específicas que darán cuenta de su calidad, durabilidad y resistencia, desde la perspectiva del carácter de la estructura y el concreto endurecido que le resulta más acorde, se tienen en cuenta las propiedades mecánicas del concreto endurecido para aplicar la mezcla idónea en la estructura. Las propiedades mecánicas dan cuenta de los aspectos físicos del concreto y dependen, por supuesto, de su composición, por lo que en principio la dosimetría química del material es un factor determinante para obtener los resultados necesarios respecto a las propiedades mecánicas del concreto.

La comprensión y evaluación de las propiedades mecánicas del material son necesarias y exigidas por la ley en la medida que, de estas, dependen aspectos como la calidad y durabilidad de las estructuras; a continuación, se observan las diferentes propiedades y su relación.

- Resistencia a la compresión: es la característica mecánica más relevante del material, y se entiende como la capacidad de carga de un área en términos del esfuerzo de esta para soportar el peso, por lo que se puede representar en términos de $\text{Peso}/\text{Área}$ (Kg/cm^2 ó Lp/In^2) (CEMEX, 2019)

- Resistencia a la flexión: observa la resistencia a la tracción del material y se expresa como el módulo de rotura (L_p/I_n^2)
- Resistencia al corte:
- Módulo de elasticidad: da cuenta de la relación esfuerzo y deformación unitaria del material y representa la rigidez del material al imponerle una carga. Se habla de que un material es elástico cuando esta relación es lineal, se mantiene constante y el esfuerzo no alcanza el límite de proporcionalidad. (Osorio)
- Ductilidad: se refiere a la capacidad de deformación visible del concreto sin llegar a un punto de ruptura; es decir, la posibilidad de estiramiento del material antes de que este se rompa. (EcuRed)
- Flujo plástico: trata de la redistribución de los esfuerzos del material y las deformaciones de este en el tiempo. (Palomino Tamayo, 2005)

De las características y propiedades del concreto, es determinante para este proyecto, la resistencia mecánica de acuerdo a las especificaciones normativas y prácticas de sismo resistencia; por tal razón, reconocer los posibles fallos del material y las condiciones internas y externas a las que este puede estar sometido, representan un tema de interés a saber que el objetivo de este proyecto es la identificación de la dosimetría de poliestireno expandido (EPS) en concreto en el que la resistencia mecánica cumpla las especificaciones técnicas de la NSR-10 en elementos estructurales.

Aditivos para el mejoramiento de la resistencia mecánica del concreto.

La resistencia mecánica es una importante propiedad del concreto y depende de su calidad, por lo que los componentes utilizados y las proporciones de estos repercuten directamente en esta. En actualidad se utilizan diferentes aditivos en el concreto, se están investigando y evaluando sus aportes a la calidad del material, y considerando la implementación y uso de otros posibles aditivos para la mezcla.

Los aditivos son componentes adicionales del concreto, además de la pasta y los agregados, que se incorporan a la mezcla previamente o durante el proceso de mezclado. Los aditivos tienen el propósito de alterar las propiedades propias del concreto para que este sea más apto a requisitos y especificaciones de una estructura. (Silva)

Dentro de la amplia gama de posibles aditivos a la matriz de concreto se encuentra el poliestireno expandido que, entre otras cosas, contribuye a las propiedades físico-mecánicas del concreto; comprender las posibilidades de la adición de este material a la mezcla y la dosimetría necesaria para que el poliestireno expandido aporte a la resistencia mecánica del concreto dentro de los estándares técnicos de sismo resistencia de la norma RSN-10 es un factor importante para el ejercicio presente y futuro del ingeniero civil y se verá reflejado en las obras de infraestructura y su durabilidad, calidad y resistencia a los eventos sísmicos que pudieran presentarse; disminuyendo costos en el presente y riesgos en el futuro, pero también participando en la resolución de problemáticas externas como lo son los efectos contaminantes del poliestireno expandido y la disminución de su impacto ambiental al ser reciclado y usado dentro de las estructuras de concreto.

Poliestireno expandido, un aditivo de alto impacto.

En términos sencillos, el poliestireno expandido es un material plástico con características de espuma que ya se ha usado en la construcción con propósitos aislantes de carácter térmico y acústico (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido ANAPE). Debido a su composición plástica, el poliestireno expandido es un material que tarda cientos de años en biodegradarse, característica que no es favorable a nivel ambiental, pero que sí lo es en el área de la construcción, ya que la durabilidad es uno de los factores que se requieren, tanto en las estructuras como, en los materiales usados.

La adición de fibra de poliestireno expandido a la mezcla de concreto es un área de investigación y prueba que ya se ha puesto en marcha en el ámbito académico y práctico de la ingeniería civil, sin embargo, es un área en la que todavía hay mucho por decir, ejemplo de ello es la identificación de dosimetrías de las proporciones de este material en el concreto, que respondan de mejor manera a los requerimientos técnicos de la norma NSR-10 y las características de sismo resistencia en Colombia.

Concreto y poliestireno.

La mezcla de la que se obtiene el concreto (Cemento, agua, agregados) provee un material de construcción que al endurecerse se caracteriza por su resistencia y versatilidad de uso en obras de pavimentación, edificios y otras estructuras de construcción. Si bien en la actualidad el concreto es un material de alta demanda en la construcción, existen otros materiales que se han usado a lo largo de la historia humana, entre ellos que se incluyen las fibras orgánicas, sintéticas, de acero y de vidrio que se han utilizado por siglos en la construcción. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, pág. 153) Al ser reforzado con la adición de fibras se están modificando las propiedades mecánicas del concreto, logrando que resista mayores deformaciones y mantenga la carga, dotándolo de una mayor ductilidad o capacidad residual, lo que es medible en cuanto a la absorción de energía.

Las fibras en la industria de la construcción aportan distintos beneficios, entre los que destacan el control de las fisuras, la resistencia al impacto, al fuego, a la flexión y aumento de la tenacidad, entre otros. (Santillán, 2020)

El proceso de adición de las fibras al concreto es de carácter inicial y responde a condiciones de secuencia y temporalidad de mezcla de acuerdo a la tipología de la fibra adicionada. La distribución aleatoria de la fibra dentro de la matriz genera conectividad entre las grietas características del concreto fresco, además de ello, al endurecer acota una mayor ductilidad que le dota de una mayor capacidad de absorción de energía, proveyéndole de una mayor durabilidad y resistencia a presentar alguna falla de agrietamiento, deformación, resistencia a la tracción, flexión e impacto. (Santillán, 2020)

6. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la investigación, se realizará un análisis bibliográfico que ayudara a identificar la resistencia que tiene el concreto al combinarlo con poliestireno expandido reciclado y así según los datos encontrados, analizar cuál de estos cumple con las especificaciones técnicas dadas por la norma (NSR-10) para elementos estructurales.

Los pasos a llevar serán:

1. Estudio sobre la información que brinda la norma en base la investigación.
2. Revisión de la literatura existente para tomar como guía los estudios ya realizados y de esta manera identificar el comportamiento de la matriz del concreto al ser mezclado con el EPS.
3. Realizar comparación cuantitativa entre los resultados encontrados en las diferentes combinaciones y matrices de concreto con EPS
4. Seleccionar dosimetría cuyas especificaciones encontradas se asemejen y cumplan con los requerimientos dados por la norma.

7. CRONOGRAMA

Actividad	Meses			
	1	2	3	4
Ajustes a proyecto	X			
Estudio de la norma		X		
Revisión de literatura		X	X	
Cuadro comparativo				X
Informe final con resultados				X

1. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La observación de fuentes bibliográficas con el enfoque analítico correspondiente permite que se puedan extraer de ellas los elementos necesarios para el presente proyecto.

En el proceso se ha establecido que una de las fuentes de principal consideración respecto al tema es el **Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 en su título C: Concreto Estructural** que suministra de forma específica los requerimientos que se deben cumplir en materia de diseño y construcción de estructuras de concreto en cualquier obra que se construya dentro de los parámetros establecidos en el **NSR-10** y que a su vez está basado en el documento dispuesto por el **Comité ACI 318 del American Concrete Institute** respecto a los requisitos que reglamentan el concreto estructural; teniendo en cuenta los aspectos relacionados al contexto nacional.

Dentro de los aspectos de mayor relevancia para este documento, los elementos de que trata el **capítulo 5 del Título C del NSR-10** son de suma importancia, por ello se tratan a continuación y se correlacionan más adelante en este apartado, con otros elementos de carácter teórico y práctico.

En primer lugar, teniendo en cuenta que el propósito de este proyecto es identificar la dosimetría dentro de los estándares del **NSR-10** se establece que es requisito fundamental que la dosimetría del concreto proporcione una resistencia a la compresión superior a **17MPa (Megapascales)**, siendo este un criterio de referencia para la selección de las dosimetrías más apropiadas para el cumplimiento de la norma. El **título C de la NSR-10** también establece que los ensayos de resistencia a la compresión deben ser de una periodicidad de 28 días y que de ser un caso diferente esto debe especificarse en los planos o especificaciones de diseño de la estructura, por lo que el tiempo de curado de los elementos puestos a prueba en las diferentes fuentes consultadas también constituye un criterio de referencia a saber.

La norma también se refiere a los estándares de resistencia a la tracción por hendimiento e indican que los resultados de las pruebas realizadas para este caso se corresponden a lo dispuesto en la **NTC 4045**, sin embargo, aclara que los resultados de estos ensayos no deben usarse como criterio de aceptación del concreto a usar en la obra. Así mismo se establece que al uso de concreto reforzado con fibra de acero se debe hacer de acuerdo a la **NTC 5541** e igualmente cumplir con una resistencia a la compresión superior a 17 MPa, reafirmando este valor como criterio de referencia en el análisis de los resultados de las pruebas de resistencia mecánica descritas en las fuentes consultadas para el presente trabajo.

Los aspectos relacionados a las características de resistencia del concreto se abordan de manera más amplia más adelante en el **Título C del NSR-10** en el que en su segundo apartado se expone que la dosificación de los materiales componentes del concreto es necesaria en cuanto, a través de esta, es posible lograr que el concreto sea trabajable y consistente para su colocación en el encofrado y alrededor del refuerzo, que posea resistencia a exposiciones especiales y esté en conformidad con los requisitos de ensayo previstos en la norma.

Así pues, la **NSR-10** aporta elementos teóricos y de referencia que favorecen el desarrollo de este trabajo y propenden a la construcción de análisis coherentes con el contexto nacional. A estos criterios de referencia se agregan también los relacionados con factores de carácter económico, ambiental y funcional que se transversalizan con los demás criterios normativos para permitir un análisis más detallado y amplio de los usos del concreto estructural.

Al momento de elaborar el análisis comparativo de las diferentes fuentes consultadas se tiene en cuenta la estandarización de los datos obtenidos de cada una de ellas, procurando así que estos sean comparables, por lo que los elementos más relevantes a considerar son la dosificación de los materiales (Cemento, agua, agregado fino y grueso, y poliestireno expandido). Con este propósito se realiza la conversión de los datos de las fuentes que así lo requieren, de manera que todos se expresen de la misma manera y de acuerdo a la normativa correspondiente al caso colombiano, por lo que los resultados de las fuentes analizadas que se expresan en unidades de peso diferentes se convirtieron a kilogramos en todos los casos y las pruebas de resistencia a la compresión se representa en megapascales.

Al obtener una información expresada de manera homogénea es posible hacer un comparativo apropiado de la misma, razón por la que, teniendo en cuenta las cantidades variables del concreto estructural usados para las pruebas según las diferentes fuentes, se hace una última conversión basada en la relación de los materiales con el cemento como referente principal, en el que las relaciones se expresan a partir de un kilo de cemento en todas las dosimetrías.

Tras la elaboración del cuadro comparativo se realizará una descripción breve de los resultados allí expuestos y los aspectos relevantes considerados para el presente proyecto, de manera que estos puedan ser interpretados y comprendidos de forma acertada en el futuro y, consultados y evaluados de acuerdo a su fuente inicial.

En el proceso de investigación se analizaron un total de 84 fuentes, de las que se descartaron un total de 38 debido a que no contenían información útil para el presente trabajo, su antigüedad es mayor a 10 años o no constaba en ellas el sustento bibliográfico que diera cuenta de su veracidad y confiabilidad, por lo que finalmente se conservan 46 fuentes de referencia que se caracterizan por ser artículos publicados en fuentes confiables.

Durante la realización del proceso de caracterización de las fuentes seleccionadas se tuvieron en cuenta criterios de veracidad, fiabilidad, procedencia y tipología; por lo que se utilizaron finalmente, investigaciones respaldadas por su procedencia de publicación, bases de datos y con un índice Q aprobado.

Gráfico 1. Medios de publicación

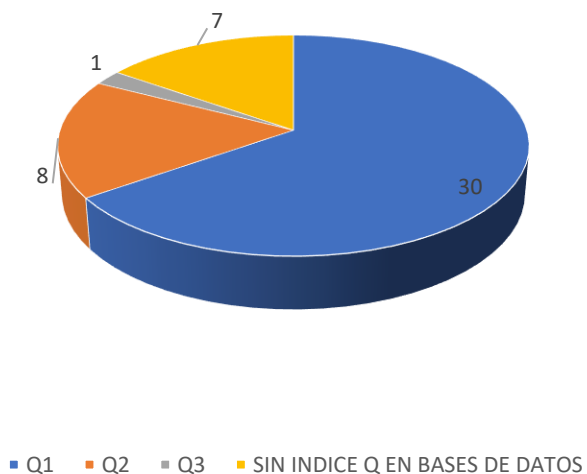


Elaboración Propia

15 de las fuentes seleccionadas fueron publicadas en la revista *Construcción and Building Materials*, lo cual corresponde al 32.6% del total de las analizadas y es el mayor porcentaje en una misma revista.

Gráfico 2 Índice Q.

Calidad de bibliografía



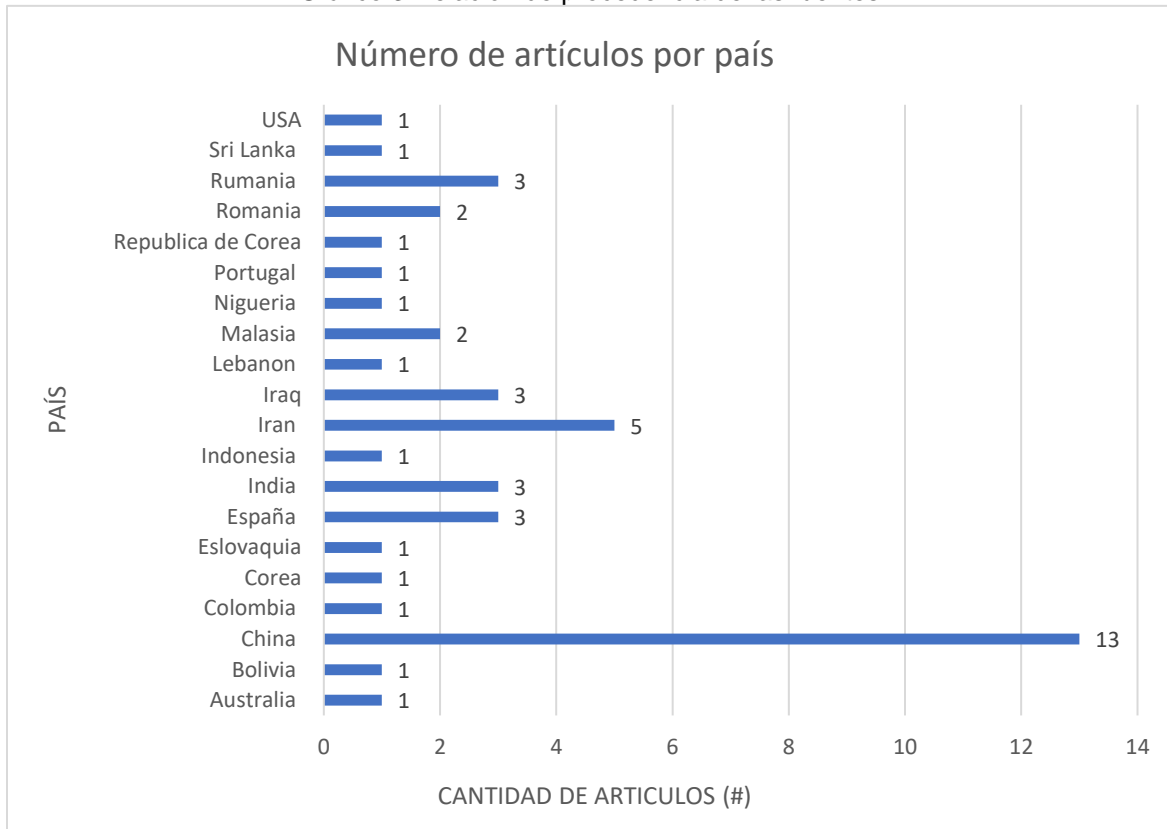
Elaboración Propia

En términos de la calidad de las revistas científicas éstas se clasifican con un índice de factor de impacto el cual se mide a través del índice Q este va organizado de Q1 a Q4, siendo Q1 el mayor factor de impacto y Q4 el menor.

Después de identificar los índices correspondientes a las fuentes analizadas se logra encontrar que la mayoría cuentan con un índice Q1, lo que refiere que esta investigación esta soportada por trabajos que han tenido un impacto alto en el área investigada.

Se aceptaron algunas fuentes que no están reconocidas por un índice Q, pero son publicadas en bases de datos como Publindex, Scielo, Latindex entre otros.

Gráfico 3 Relación de procedencia de las fuentes.



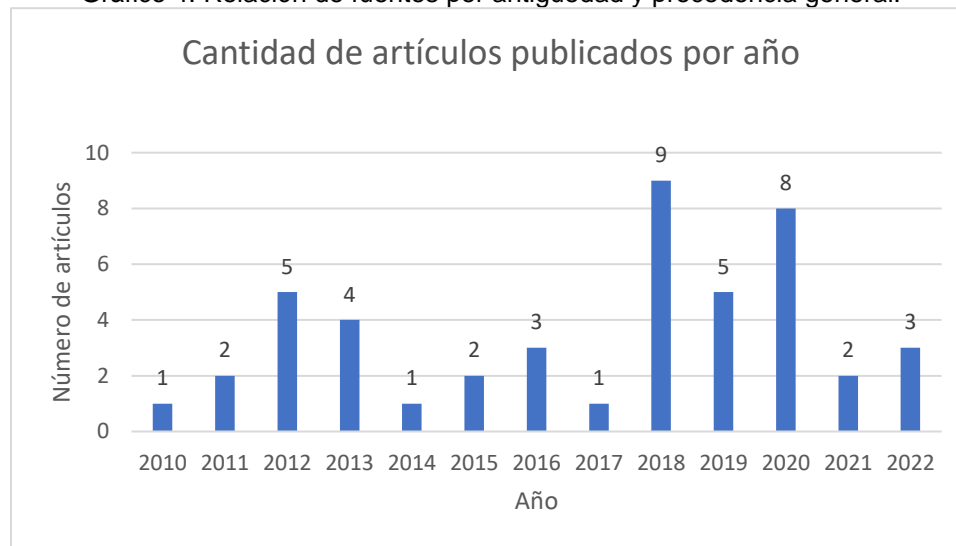
Elaboración Propia

Dentro de las características generales de las fuentes seleccionadas se identifica que la gran mayoría de estas se produjeron en China, un total de 13 que corresponde al 28.2% del total de las fuentes, mientras que 33 de las fuentes fueron producidas en otros países, de esta manera se encuentra que dentro de las bases de datos se realizó un barrido a nivel internacional.

Otro factor a considerar en la selección y caracterización de las fuentes es su antigüedad, comprendiendo que, dado su carácter práctico y actual, no es apropiado que estas posean características de anterioridad muy altas y estableciendo un periodo aproximado de 10 años como máximo de antigüedad a la fecha actual, lo que implica que las fuentes tengan un rango antigüedad que comprende desde el 2010 al 2022, por lo que se procura en todo momento que las fuentes no superen la antigüedad establecida y que la gran mayoría sean lo más actuales posibles.

En correlación de los datos obtenidos en la caracterización de las fuentes; también se observa su antigüedad y se compara la producción anual respecto a la región y el mundo, esto con el propósito de comprobar la pertinencia del tema de estudio y el interés académico y sectorial al respecto; lo cual se puede observar en el gráfico 4.

Gráfico 4. Relación de fuentes por antigüedad y procedencia general.



Elaboración propia

A continuación, la caracterización se torna más específica en lo que respecta al objeto de estudio de este trabajo, el poliestireno expandido como agregado a la matriz de concreto y la obtención de una dosimetría que cumpla los estándares legales de la NSR-10 en sismo resistencia.

A partir de este punto, los criterios de caracterización giran alrededor de tres elementos fundamentales, las dosimetrías correspondientes a cada fuente consultada, los materiales y componentes, proporciones y relación, y los resultados de las pruebas de resistencia mecánica aplicadas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se elaboran diferentes gráficos y tablas que permiten tener los datos dispuestos de manera ordenada y entendible para su correcto análisis; de manera que se pueden obtener los insumos suficientes para proceder con el análisis de los elementos ya establecidos.

Debido a que los resultados de las pruebas de la resistencia mecánica son producto de las dosimetrías utilizadas y éstas a su vez están relacionadas con los componentes y materiales se realiza una caracterización de estos para identificar los aspectos comunes al contexto colombiano; teniendo presente que los materiales a considerar son:

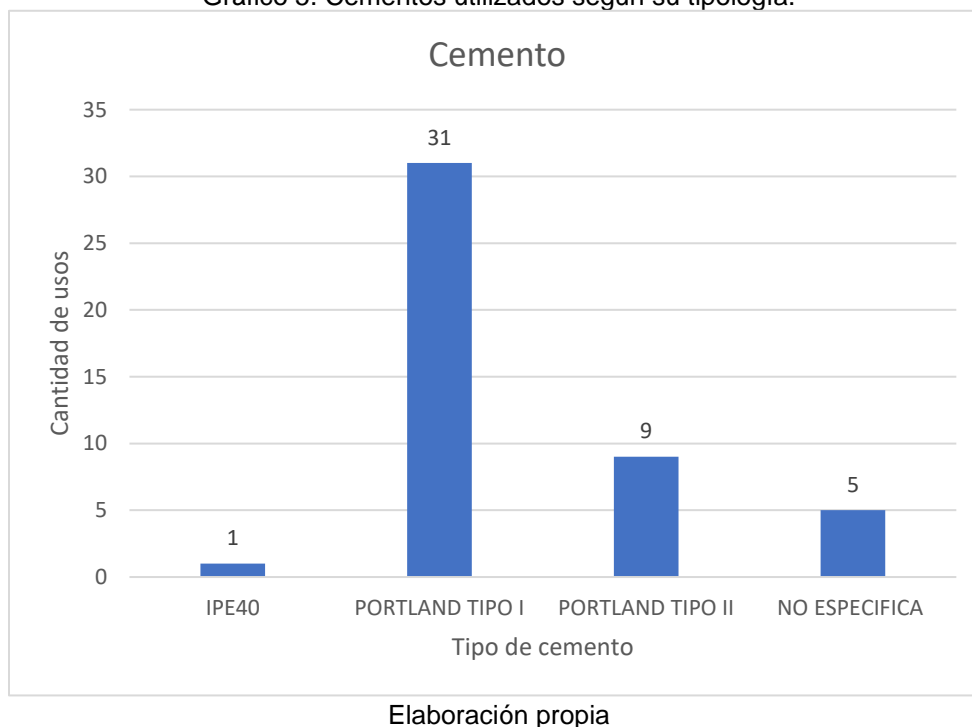
- Cemento
- Agregado fino
- Agregado grueso
- Agua
- Poliestireno expandido

Estos materiales se consideran por ser los más constantes en las matrices de concreto expuestas en las diferentes fuentes consultadas, seleccionadas y caracterizadas.

El cemento.

Considerando el hecho de que es el material base para la elaboración del concreto, este es el primer material a observar. En este caso se tuvo en cuenta su tipología como criterio de observación.

Gráfico 5. Cementos utilizados según su tipología.



Los resultados obtenidos arrojan que, un 10.8%, correspondiente a 5 fuentes, no especifican la tipología del cemento utilizado en sus correspondientes matrices, sin embargo, esto no impide que exista una notoria diferencia respecto a las tipologías de cemento menos usados y el Portland Tipo I, que es el de mayor uso en relación a todos los demás, encontrándose identificado en 31 fuentes de las ya seleccionadas; representando así un 67% de la muestra general y permitiendo afirmar que es el uso más común.

Agregado fino

El agregado fino es un elemento común en la elaboración de las matrices de concreto, por lo que también se analiza su tipología respecto a las matrices obtenidas de las diferentes fuentes consultadas, seleccionadas y caracterizadas.

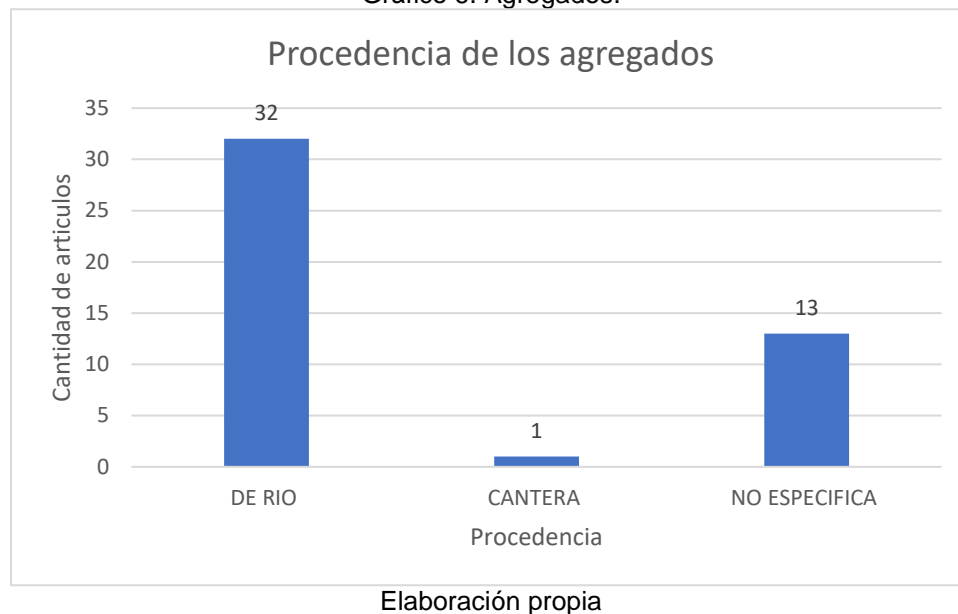
Dentro de los criterios principales para identificar su tipología se considera la procedencia del mismo, teniendo presente que la extracción de este tipo de material se realiza fundamentalmente de dos fuentes, las canteras y los ríos.

Agregado grueso

Al igual que con el agregado fino, el agregado grueso es un componente comúnmente utilizado en las matrices de concreto, por lo que es apropiado considerarlo dentro de la elaboración de dosimetrías de esta mezcla.

En este caso también se considera que procede principalmente de canteras y ríos, por lo que estos son lugares en donde se puede obtener fácilmente y no requiere de procesos que en otras fuentes de explotación y extracción si son necesarios.

Gráfico 6. Agregados.



De los resultados obtenidos se observa que el 23.9% de las fuentes no especifican la procedencia o tipología de los agregados, sin embargo, como se había considerado antes, del 71.7% de las fuentes restantes se identifica que el 71,7% se corresponde con las dos fuentes principales consideradas, Canteras y Ríos, en una proporción igualitaria de 69.5% y 2.7% respectivamente y proporcionando un porcentaje menor al 5% de otras fuentes y tipologías del componente.

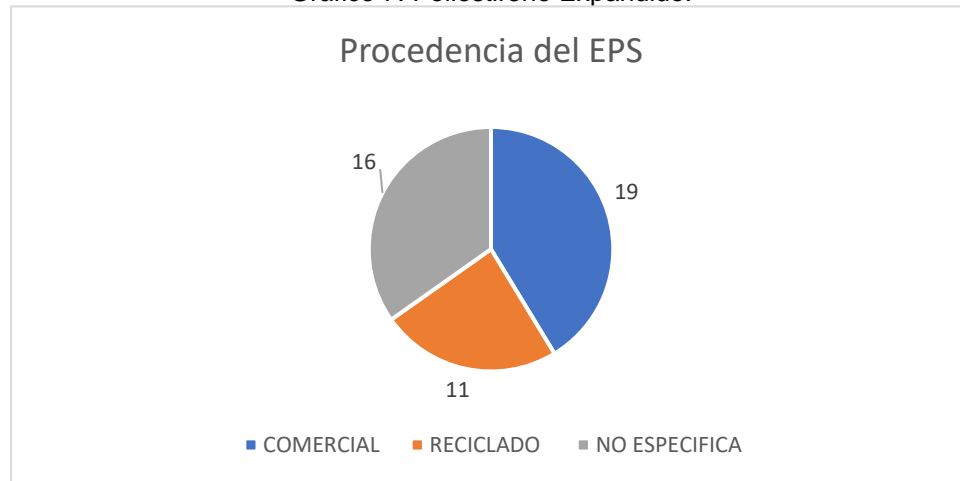
Poliestireno expandido.

En el caso específico de las matrices de concreto comunes, el poliestireno expandido no es un material de uso común, sin embargo si ha usado anteriormente, y hoy, se están comprobando sus aplicaciones prácticas como aditivo del concreto; por esta razón se elabora el presente trabajo y, por supuesto, como lo demuestra el análisis bibliográfico realizado, es un tema que ya se está investigando ampliamente y del que se están identificando nuevas posibilidades, aplicaciones, usos e implementaciones.

En este caso es necesario tener presente que este material posee características, producto de su fabricación, que lo hacen durable y contaminante, aspecto que se considera en el desarrollo de este trabajo y por el cual tuvo en cuenta que las fuentes consultadas, seleccionadas y caracterizadas hicieran mención de la calidad y procedencia del material,

esto con el propósito de identificar aspectos de reciclaje y reutilización del mismo, disminuyendo su impacto ambiental.

Gráfico 7. Poliestireno Expandido.



Elaboración propia.

Se observa que un 23.9% de las fuentes elaboran las matrices para sus experimentos haciendo uso de poliestireno expandido reciclado, reutilizando este como aditivo para la mezcla con propósitos como el aliviamiento del material, la disminución de costos, el aislamiento acústico y térmico, minimizar el impacto ambiental e identificar sus efectos en las propiedades mecánicas del concreto estructural.

Tabla de referencia; elaboración y análisis.

Para lograr hacer un análisis comparativo amplio y detallado se construye una tabla en la que se relacionan los datos de las dosimetrías de las diferentes fuentes considerando los materiales y componentes anteriormente analizados; esto con el propósito de realizar la comparación de los factores de relación y peso de cada material dentro de la mezcla e identificar en estas aquellos que poseen mejores condiciones de costo-beneficio, impacto ambiental y cualidades físicas.

Dentro de los factores considerados en la construcción de la tabla se resalta la necesidad de expresar todos los datos en una misma forma, lo que se corresponde con la especificación de las proporciones, dado que en las diferentes fuentes existen variaciones considerables respecto a las cantidades de concreto fabricado para las muestras. La matriz se construye teniendo un kilo de cemento (1 Kg) como base para todas las dosimetrías, representando estas en su relación 1:1 en las que todos los resultados se interpretan en un mismo criterio permitiendo la comparación y análisis de toda la información.

Tabla 1. Comparativo de resultados de las fuentes.

Artículo	NORMALIZACIÓN					Resistencia (MPA)
	Cemento (kg)	A. Grava (kg)	A. Aridos (kg)	Agua (l)	Poliestireno (kg)	
1	1	0.832	1.648	0.448	0.500	17.50
2	1	0.000	3.000	0.330	0.433	18.00
3	1	1.633	1.367	0.400	0.410	18.40
4	1	2.619	2.231	0.478	1.167	17.50
5	1	0.000	1.913	0.450	0.933	18.56
6	1	0.000	0.817	0.339	0.017	20.30
7	1	2.268	1.025	0.525	0.006	21.31
8	1	0.000	1.100	0.225	0.698	65.15
9	1	0.676	0.529	0.280	0.016	28.00
10	1	1.733	1.969	0.534	0.008	29.70
11	1	1.435	1.757	0.493	1.124	23.40
12	1	0.000	2.400	0.550	0.079	28.90
13	1	1.368	2.018	0.456	0.439	37.90
14	1	0.000	1.722	0.500	0.630	20.77
15	1	1.876	1.652	0.402	0.001	28.00
16	1	2.730	5.540	2.020	3.387	18.50
17	1	1.741	1.562	0.500	2.154	21.00
18	1	1.789	1.847	0.420	1.340	47.60
19	1	1.553	2.231	0.478	1.167	17.50
20	1	0.000	1.320	0.285	0.010	25.90
21	1	0.871	1.542	0.317	0.011	18.10
22	1	0.000	3.000	0.450	1.650	44.00
23	1	2.619	2.231	0.500	0.485	22.89
24	1	0.000	1.572	0.420	1.050	23.10
25	1	1.011	1.232	0.450	0.008	23.90
26	1	0.000	2.000	0.550	0.900	31.45
27	1	0.000	0.817	0.447	0.641	19.90
28	1	1.462	1.293	0.305	0.300	32.90
29	1	0.871	1.542	0.317	2.857	18.10
30	1	1.078	1.550	0.413	1.313	19.90
31	1	0.000	2.000	0.625	0.847	30.90
32	1	0.000	1.101	0.220	1.436	27.40
33	1	0.000	1.279	0.355	1.066	35.00
34	1	0.000	3.000	0.546	0.600	35.50
35	1	1.676	1.000	0.300	0.933	31.00
36	1	1.129	2.004	0.397	0.510	29.71
37	1	0.000	2.400	0.550	0.178	28.80
38	1	0.000	0.405	0.845	0.700	17.50
39	1	0.000	3.000	0.500	1.013	28.00
40	1	0.000	1.667	0.111	1.667	17.51
41	1	0.000	2.076	0.554	1.798	33.00
42	1	1.353	2.359	0.547	1.700	25.00
43	1	2.100	1.360	0.390	1.213	28.00
44	1	0.690	1.580	0.430	1.295	19.00
45	1	3.501	1.168	0.501	1.851	27.50
46	1	0.000	3.000	0.400	0.430	23.70

Elaboración propia

Así pues, se relacionan, en términos de proporción y resistencia mecánica, los datos extraídos de las fuentes consultadas, seleccionadas y caracterizadas de manera que las 46 diferentes dosimetrías propuestas en las fuentes, y sus resultados de la prueba a la resistencia mecánica, puedan contrastarse, compararse, analizarse y considerarse de manera rápida y sencilla.

En la tabla 1 en la que 46 fuentes seleccionadas proveen dosimetrías con resultados a las pruebas de resistencia superiores a los 17 Megapascales que es la resistencia mínima exigida por la norma NSR-10 y que, por tanto, se consideran resultados útiles para el logro de los objetivos del presente trabajo; se aplicará ahora un nuevo criterio de análisis de manera que, progresivamente se reduzca el grupo de análisis, acercando el proceso a la identificación de la dosimetría apropiada.

Para el análisis efectivo de estos datos se identifican tres fuentes teniendo en cuenta que contarán con la mayor cantidad de poliestireno en la dosimetría y la resistencia a la compresión fuese muy cercana a la mínima requerida por la NSR-10.

Así que, basados en la variedad y amplitud de los resultados, se describen una por una las 3 fuentes.

Fuente 16

Esta fuente corresponde a un trabajo realizado en China por Xianhui Feng con la finalidad de comprender las características de deformación y los mecanismos de fallo del hormigón del poliestireno expandido, el artículo fue publicado el 6 de enero del 2022 en la revista Engineering Fracture Mechanics y al día cuenta con un índice de impacto Q1.

La resistencia mecánica de la mezcla se prueba con un periodo de 28 días de curado y el resultado es de 18.50 MPa.

La relación de los materiales por un kilo de cemento, teniendo en cuenta una mezcla de Cemento, Agregado grueso, Agregado fino, Agua y Poliestireno expandido es 1:2,730:5,540:2,020:3,387.

El poliestireno expandido es producto comercial; en el caso de los agregados se indica que el fino se obtiene de río y el grueso de roca natural, se observa que el cemento es un Portland tipo 1.

Fuente 17

Esta fuente corresponde a un trabajo realizado en Australia por Espiga de Wca con la finalidad de caracterizar el comportamiento de fluencia del concreto agregado de poliestireno, el artículo fue publicado el 23 de noviembre del 2013 en la revista Construction and Building Materials y al día cuenta con un índice de impacto Q1.

La resistencia mecánica de la mezcla se prueba con un periodo de 28 días de curado y el resultado es de 21 MPa.

La relación de los materiales por un kilo de cemento, teniendo en cuenta una mezcla de Cemento, Agregado grueso, Agregado fino, Agua y Poliestireno expandido es 1:1,741:1,562:0,5;2,154.

El poliestireno expandido es producto comercial; en el caso de los agregados se indica que el fino se obtiene de río y el grueso de roca natural, se observa que el cemento es un Portland tipo 1.

Fuente 29

Esta fuente corresponde a un trabajo realizado en Irak por Hasan Jasim Mohamed con la finalidad de investigar la resistencia a la flexión y monitorear las grietas y el modo de falla de las vigas de hormigón armado de poliestireno expandible sujetas a carga estática, el artículo fue publicado el 10 de septiembre del 2020 en la revista Journal of Building Engineering y al día cuenta con un índice de impacto Q1.

La resistencia mecánica de la mezcla se prueba con un periodo de 28 días de curado y el resultado es de 18.10 MPa.

La relación de los materiales por un kilo de cemento, teniendo en cuenta una mezcla de Cemento, Agregado grueso, Agregado fino, Agua y Poliestireno expandido es 1:0,871:1,542:0,317:2,857.

El poliestireno expandido es producto reciclado; en el caso de los agregados se indica que el fino se obtiene de río y el grueso de roca natural, se observa que el cemento es un Portland tipo 1.

Las fuentes seleccionadas son la 16, 17 y 29 de las que se encuentran aspectos comunes como el uso del cemento Portland Tipo I, la adición de poliestireno expandido corresponde a los valores mayores en cantidad comparado con las otras fuentes analizadas y el índice de factor de impacto de las tres es de Q1.

Dosimetría seleccionada.

Finalmente, y tras la realización de procesos de análisis y filtrado es seleccionada la fuente 29 cuyas características respecto a la dosimetría, materiales, resultados de la prueba de resistencia mecánica, porcentaje de poliestireno expandido y relación de costo beneficio se observa como la más apta de entre todas las fuentes.

2. CONCLUSIONES

Se comprendió la dinámica de la dosimetría del concreto en términos de la funcionalidad de la relación agua cemento y del poliestireno tanto comercial como reciclado; también se identifica que la relación entre la cantidad de poliestireno en la dosimetría y la resistencia a la compresión son inversamente proporcionales, puesto que en las fuentes consultadas generalmente realizaban varios especímenes de prueba donde variaba el porcentaje de poliestireno agregado a las muestras y los resultados del ensayo a compresión arrojaban una tendencia que lo confirma.

La respuesta a la resistencia mecánica esta modulada por las propiedades anteriormente mencionadas como lo son la relación agua cemento y el porcentaje de poliestireno agregado a las dosimetrías y se encontró que los materiales o dosimetrías que mejor exhiben resistencia mecánica son: 1:2,730:5,540:2,020:3,387. - 1:1,741:1,562:0,5;2,154. - 1:0,871:1,542:0,317:2,857. Teniendo en cuenta que las dosimetrías están representadas proporcionalmente, siendo 1 kilogramo de cemento la base de referencia para los demás materiales y que las relaciones están expresadas en cemento, agregado grueso, agregado fino, agua y poliestireno respectivamente.

El objetivo de este trabajo se centraba en darle un segundo uso al poliestireno expandido que fuera de material reciclable, del análisis internacional que se desarrolló con una base de datos de 46 fuentes se encontró un artículo que cumple con las especificaciones técnicas del manual NSR-10 el cual especifica una resistencia a la compresión mínima de 18.1 MPa y que tiene una relación de dosimetría con una configuración 1:0,871:1,542:0,317:2,857.

De las dosimetrías identificadas la más viable económicamente es la seleccionada porque los costos de generación de la mezcla son los más bajos ya que las cantidades de los materiales con respecto a un kilogramo de cemento son menores en relación a las otras dos dosimetrías, también cabe anotar que esta dosimetría es identificada en un estudio internacional, pero es altamente aplicable a Colombia debido a que los materiales utilizados son de fácil adquisición en esta zona del mundo.

Se recomienda realizar un diseño experimental para desarrollar un ejercicio de laboratorio que ponga en marcha la dosimetría identificada y compruebe dichos resultados de manera práctica.

Carolina Chica A.

FIRMA DEL AUTOR 1

Manuela Pérez Rojas

FIRMA DEL AUTOR 2

Vo. Bo Coordinador de Comité de Trabajo de Grado

AUTORIZACIÓN DE TRATAMIENTO DE DATOS PERSONALES

La Universidad Católica Luis Amigó solicita su autorización para la recopilación, almacenamiento y tratamiento de sus datos personales y le informa que estos datos se utilizarán únicamente para las siguientes finalidades: PROPUESTA DE TRABAJO DE GRADO y demás finalidades descritas en la Política de Tratamiento y Protección de Datos Personales de la institución académica.

Sus datos personales son tratados y protegidos de acuerdo a lo que reglamenta dicha política con apego a lo dispuesto por la normativa colombiana sobre Tratamiento de Datos Personales, Ley 1581 de 2012 y el Decreto 1377 de 2013. Consulte nuestras Políticas para el Tratamiento y Protección de Datos en www.ucatolicaluisamigo.edu.co