

# **MEZCLA SUSTITUTA DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA Y SU PROCESO DE OBTENCIÓN**

## **CAMPO DE LA INVENCION**

5

El campo de la invención se relaciona con el aprovechamiento de diferentes residuos de construcción para obtención de mezclas sustitutas de concreto. Particularmente, la presente divulgación se refiere a una mezcla sustituta de concreto que aprovecha y emplea agregados finos y gruesos provenientes de residuos de construcción, materiales de celulosa y residuos de PET. La presente invención tiene aplicación en el sector de la construcción sostenible, sostenibilidad ambiental, gestión de residuos, y uso de materiales reciclados.

## **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

15

Actualmente el concreto hidráulico no está alineado con las condiciones mundiales de objetivos de desarrollos sostenibles, ya que según estadísticas es el culpable del 8% de las emisiones globales de efecto invernadero, además que para elementos estructurales son necesarias altas masas de este concreto que consumen altas dosis de agua, según estudios un solo m<sup>3</sup> de concreto necesita 600 litros de agua en todo su proceso desde la extracción de agregados, fabricación de cemento, fabricación de concreto y limpieza. Además de utilizar grandes cantidades de refuerzos en acero debido a la complejidad de fabricar concretos superiores a 6000 psi.

25

Es así que se han propuesto varias herramientas y estrategias para enfrentar los desafíos ambientales en la industria de la construcción: (a) aumentar el uso de materiales de desecho, especialmente aquellos que son subproductos de procesos industriales; (b) usando materiales reciclados en lugar de recursos naturales; y (c) mejorar la durabilidad, las propiedades mecánicas y de otro tipo, al reducir la cantidad de materiales necesarios para el reemplazo, a su vez divulgan que los materiales poliméricos se utilizan como material de refuerzo en concretos debido a sus excelentes propiedades. Propiedades generales de polímeros tales como su capacidad de aislamiento térmico y eléctrico, y la resistencia a los efectos químicos y ambientales son de suma importancia para la industria

de la construcción. Así mismo, propiedades como baja resistencia al corte, alta resistencia a la tracción y compresión, tiempo de endurecimiento efectivo y alta dureza superficial.

El uso de polímeros en elementos estructurales se puede agrupar en tres: una combinación de polímero y concretos de cemento Portland (PCC), concretos impregnados con polímeros (PIC) y concretos de resina sintética (concretos poliméricos, PCs). En la producción de PCC, los polímeros se añaden directamente al hormigón mediante consideración del peso del cemento. La permeabilidad y la resistencia a la compresión aumentan para este tipo de concreto, debido a la disminución de la relación de vacíos. Los PCC se utilizan generalmente en elementos de construcción que necesitan reparaciones. Por otro lado, los PIC se obtienen impregnando el monómero en el concreto endurecido. El monómero es introducido en el polímero con ayuda de altas presiones, este proceso se aplica generalmente a los elementos estructurales que necesitan refuerzo. En el caso de los PCs, corresponden a una mezcla (compósito) en el cual el material aglutinante consiste en un polímero sintético y se une a agregados de diferente naturaleza especialmente agregados inorgánicos (como arena, grava o cenizas volantes). En PCs no se utiliza cemento y agua en la producción del concreto (Martínez-López et al, 2015).

Los avances en el desarrollo y conocimiento de los concretos poliméricos han sido graduales y hoy en día ofrecen muchas ventajas sobre los concretos minerales, pero existe aún potencial de mejoramiento. Los mejoramientos al PCT se han centrado en el reforzamiento de estos concretos por medio de la adición de fibras y partículas de diferentes tamaños.

Por otro lado, La generación de residuos sólidos de concreto hidráulico, considerados como desecho, está convirtiéndose en un problema medioambiental. El uso de agregados triturados provenientes de demolición de concreto hidráulico se aprovecha para generar concreto hidráulico reciclado, un material que puede abatir costos, disminuir la contaminación y abaratar la edificación. Sin embargo, la elaboración de concreto reciclado se enfrenta a la búsqueda de diseños óptimos para lograr el mayor desempeño mecánico bajo solicitaciones estáticas y dinámicas (Martínez Molina et al, 2015).

Por ejemplo, La patente US7815729B2 reivindica el uso potencial de cualquier material proveniente de construcciones o demoliciones, como un material susceptible de ser usado

como material de relleno para diferentes aplicaciones en construcciones civiles, en incluso susceptible de ser vendido directamente como material fino para la construcción. Este mismo documento reivindica el uso de hasta 80% de material reciclado, como relleno de la formulación del concreto, siendo la presente invención costo-efectiva en el sentido de usar valores superiores de uso de RCD con un valor de hasta el 87,9%.

La patente US5525153 reivindica la preparación de mezclas de concreto listas para ser usadas, que contienen o pueden contener material reciclado de tipo RCD; sin embargo, no describe una formulación como la reivindicada en este documento. Adicionalmente, hace la descripción del proceso de obtención de las mezclas de forma genérica, sin hacer mención a un atributo de bajo consumo de agua que hace parte de los atributos de la presente invención.

Adicionalmente, la patente MX2007015473 hace referencia a una composición novedosa de concreto polimérico, que se caracteriza por la eliminación total del cemento tipo Pórtland como elemento aglutinante o de liga, así como la eliminación total del agua como elemento catalizador o agente endurecedor, y establece el uso agregados minerales junto con resinas poliméricas de diversa naturaleza que le proporcionan mayor resistencia a la tensión, sin embargo no hace referencia al uso de material RCD ou otros residuos industriales para su fabricación.

Las patentes ES2673977, EP0842328 y WO2019177193 divulgan de forma separada la utilización de residuos de concreto triturado o agregados de diferentes tamaños de partícula (finos y gruesos) para sustituir hasta un 20% (relación másica) de los agregados gruesos o cemento convencionales utilizados en la fabricación de concreto junto con la adición de resinas poliméricas y aglutinantes. Así mismo establecen el efecto de diferentes porcentajes de concreto reciclado sobre los resultados de asentamiento y la resistencia muestran una reducción en el valor de asentamiento con el aumento del porcentaje de reemplazo de los agregados gruesos con concreto triturado reciclado. Sin embargo, no hacen referencia al uso de combinación material RCD, ni a la presencia de materiales de desecho industrial adicionales en la mezcla.

Por otro lado, autores como Tawfik et al 2006, Ghuhel et. al. 2016, y Martínez-López et. al. 2015 hacen referencia a la obtención de concretos polímeros con resistencia similar a

la del concreto Portland a partir de la unión de agregados de diferente granulometría que incluye el uso de arena, gravilla, etc, junto con residuos provenientes de fibras de poliéster, polietilentereftalato (PET) o residuos de Tetrapack®.

- 5 Si bien en el estado del arte se encuentran distintos estudios relacionados con la generación de cementos poliméricos obtenidos a partir de residuos RCD y de combinación con PET, aún existe la necesidad de generar mezclas que utilicen materiales de desecho tanto de construcción como de la industria en general (material celulósico, PET, etc), que presenten una disminución en el peso, no utilizan agua para su mezcla, una
- 10 mayor resistencia mecánica y a los rayos UV, y que no requieran el empleo de acero como medio para refuerzo.

### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN**

- 15 La presente invención se refiere a una mezcla sustituta de concreto de alta resistencia comprende una resina a base de poliéster, agregados finos y gruesos tipo RCD (residuos de construcción y demolición), agregados finos y gruesos no RCD, residuos de celulosa proveniente de madera, archivo de oficina, papel periódico entre otros; y residuos de polietilentereftalato (PET) y que dicha mezcla no incluye o incorpora cemento ni agua.

20

- Particularmente, la presente invención se refiere a una mezcla de concreto de alta resistencia donde la resina de poliéster se encuentra en un porcentaje entre 15% y 25% en peso, los agregados finos no RCD se encuentra en un porcentaje entre 20 y 50% en peso, los agregados gruesos no RCD se encuentran en un porcentaje entre 0 y 30 % en peso,
- 25 los agregados finos RCD se encuentran en un porcentaje entre 0 y 35% en peso, los agregados gruesos RCD entre el 15 y el 25% en peso, Los residuos de celulosa se encuentran en un porcentaje entre 0 y 17% en peso y los residuos de polietilentereftalato (PET) se encuentran en un porcentaje entre 0 y 3% en peso.

- 30 Adicionalmente, la mezcla de concreto de alta resistencia tiene un catalizador que permite acelerar la reacción de polimerización de la resina para que se presente la unión o agregación de estos componentes de la mezcla. Este catalizador se encuentra en un porcentaje entre 0, 1 y 0,25% en peso en la mezcla de concreto.

Los resultados de las propiedades mecánicas de esta mezcla mostraron una resistencia en promedio entre 30MPa y 97MPa, excelente comportamiento en ambientes corrosivos y a la compresión, por lo que permite ser aligerado y por ende tener un peso apropiado para facilitar la maniobrabilidad de los productos y la instalación, también se caracteriza por ser resistentes a rayos UV y poseer propiedades ignífugas.

Una gran diferencia de la presente invención es que no necesita agua para proporcionar propiedades de fraguado y endurecimiento a fin de formar un sólido compacto con los agregados. El agua en el concreto es fundamental porque al relacionarla con la cantidad de cemento contenido en la mezcla (relación agua/cemento), es que se determina la resistencia del mismo y las condiciones normales su durabilidad. Sin embargo, la presente invención tiene como ventaja que obtiene excelentes resultados de resistencia mecánica sin agua.

Adicionalmente, la presente invención se refiere a un proceso para la obtención de esta mezcla sustituta de concreto de alta resistencia el cual comprende las siguientes etapas:

- Tamizar los agregados finos no RCD y agregados finos RCD secos con tamiz No. 4;
- Tamizar los agregados gruesos no RCD y agregados gruesos RCD secos con tamiz No. 5;
- Pesar los residuos provenientes de madera, archivo de oficina, papel periódico o sus mezclas;
- Elaborar paneles de celulosa mediante compresión de los residuos provenientes de madera, archivo de oficina, papel periódico o sus mezclas;
- Triturar o moler residuos de botellas PET;
- Pesar los residuos de botellas PET;
- Mezclar por separado la resina poliéster junto con todos los agregados finos y homogenizar;
- Adicionar a la mezcla anterior los agregados gruesos, residuos de celulosa y residuos de botellas PET y homogenizar;
- Pesar y agregar el catalizador y permitir la reacción de polimerización durante un tiempo de 1 a 5 horas;
- Fraguar la mezcla en diferentes moldes o encofrados para obtener diferentes configuraciones de forma, tamaño, volumen.;
- Determinar las características fisicoquímicas finales de la mezcla sustituta de concreto.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

**Figura 1.** Se muestran las proporciones de los agregados en tres diferentes realizaciones de la invención.

**Figura 2.** Se muestra el comportamiento de la granulometría de agregados finos no RCD.

**Figura 3.** Se muestra el comportamiento de la granulometría de agregados gruesos no RCD.

### DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

Para propósitos de interpretar los términos usados a lo largo del presente documento se debe tener en cuenta su significado usual en el campo técnico, a menos que se incorpore una definición particular o el contexto indique claramente lo contrario. Adicionalmente, los términos utilizados en forma singular también incluirán la forma plural.

La presente invención se refiere a una mezcla sustituta de concreto de alta resistencia se obtiene a partir de una mezcla de ingredientes en los que no se usa cemento ni agua, además promueve la transición hacia una economía circular ya que se utiliza RCD (residuos de construcción y demolición), así como residuos como celulosas, polietilentereftalato (PET) para su fabricación. Dentro de las características de este concreto se encuentra la posibilidad que tiene de ser aligerado gracias a su resistencia a la compresión lo que brinda un valor agregado al producto desde su inicio de ciclo de vida, es decir, desde el diseño.

Para efectos de la presente divulgación, una resina poliéster corresponde a resinas que son endurecidas mediante reacción térmica, para esto es necesario el catalizador. Las resinas de poliéster son resinas sintéticas insaturadas formadas por la reacción de ácidos orgánicos dibásicos y alcoholes polihídricos. Entre ellas se encuentran resinas poliéster no saturadas, tereftálicas modificadas, de reactividad media, resilientes, con viscosidad baja y preaceleradas para ser curada a temperatura ambiente mediante la adición de un catalizador.

30

Un catalizador hace referencia a una sustancia acelerante encargado del secado de la mezcla. El catalizador de la presente invención está constituido por una solución de peróxido de ciclohexanona en dimetil ftalato, más específicamente peróxido de

metiletilcetona (MECK) conocido comercialmente como Perexter B18 y que se usa en combinación con un acelerador de cobalto.

5 Los residuos de construcción y demolición (RCD) hace referencia a materiales producto de demolición y sobrantes de construcción que hacen que la mezcla sustituta de concreto sea considerada como una solución verde y sostenible ya que se reutilizan residuos y son reincorporados a la cadena de suministro agregándole más valor.

10 Para efectos de la presente invención los agregados divulgados se distribuyen en agregados finos y agregados gruesos, los cuales pueden ser de origen RCD o no RCD. Los agregados gruesos son materias entre el 70 y el 100% provenientes de clasificación de RCDs.

15 Los agregados finos hacen referencia a materiales provenientes de diferentes tamices de arena y tamices de RCD con adiciones de carbonatos.

20 Los residuos de origen industrial corresponden a los residuos de celulosa y/o residuos obtenidos de botellas de polietilentereftalato (PET). Es así, que los residuos de celulosa hacen referencia a residuos provenientes de desechos de maderas, archivos de oficinas, papeles periódicos o sus mezclas; y los residuos PET corresponden a residuos triturados y/o molidos de botellas PET usadas.

25 La mezcla de concreto de alta resistencia está compuesta de: una resina de poliéster que se encuentra en un porcentaje entre 13% y 25% en peso de la mezcla de agregados, agregados finos no RCD que se encuentra en un porcentaje entre 20 y 50% en peso total, agregados gruesos no RCD que se encuentran en un porcentaje entre 0 y 30 % en peso total, agregados finos RCD que se encuentran en un porcentaje entre 0 y 35% en peso total, agregados gruesos RCD que se encuentran entre el 15 y el 25% en peso total, residuos de celulosa que se encuentran en un porcentaje entre 0 y 17% en peso total y s  
30 residuos de polietilentereftalato (PET) que se encuentran en un porcentaje entre 0 y 3% en peso total. El catalizador acelerar la reacción de polimerización de la resina que cumple la función de unión o agregación de los componentes. El catalizador se encuentra en un porcentaje entre 0,1 y 0,25% en peso total y se calcula teniendo en cuenta que corresponde al 1% del peso en Kg de resina.

Preferentemente, la presente invención se refiere a una mezcla de concreto de alta resistencia caracterizada porque sus componentes incluyen: una resina de poliéster se encuentra en un porcentaje entre 15% y 20% en peso de la mezcla de agregados, agregados finos no RCD que se encuentra en un porcentaje entre 23 y 48% en peso total, agregados gruesos no RCD que se encuentran en un porcentaje entre 0 y 23 % en peso total, agregados finos RCD que se encuentran en un porcentaje entre 0 y 25% en peso total, agregados gruesos RCD que se encuentran entre el 16,5 y el 22% en peso total, residuos de celulosa que se encuentran en un porcentaje entre 0 y 16,5% en peso total y residuos de polietilentereftalato (PET) que se encuentran en un porcentaje entre 0 y 2,5% en peso total. El catalizador se encuentra en un porcentaje entre 0,13 y 0,20% en peso total y se calcula teniendo en cuenta que corresponde al 1% del peso en Kg de resina.

Más preferentemente, la presente invención se refiere a una mezcla de concreto de alta resistencia caracterizada porque sus componentes incluyen: una resina de poliéster se encuentra en un porcentaje entre 16% y 19,5% en peso de la mezcla de agregados, agregados finos no RCD que se encuentra en un porcentaje entre 23,8 y 47,5% en peso total, agregados gruesos no RCD que se encuentran en un porcentaje entre 0 y 23 % en peso total, agregados finos RCD que se encuentran en un porcentaje entre 0 y 21,5% en peso total, agregados gruesos RCD que se encuentran entre el 17,5 y el 21,2% en peso total, residuos de celulosa que se encuentran en un porcentaje entre 0 y 15,5% en peso total y residuos de polietilentereftalato (PET) que se encuentran en un porcentaje entre 0 y 2,25% en peso total. El catalizador se encuentra en un porcentaje entre 0,13 y 0,20% en peso total y se calcula teniendo en cuenta que corresponde al 1% del peso en Kg de resina.

Adicionalmente, la presente invención se refiere a una mezcla de concreto de alta resistencia caracterizada porque los agregados finos RCD y no RCD, presentan tamaños de partícula inferiores a 4,75mm; los agregados gruesos RCD y no RCD presentan tamaños de partícula inferiores a 12,7mm y los residuos de botella PET deben ser molidos, pero no presentan un tamaño de partícula definido.

Los resultados de las propiedades mecánicas de esta mezcla mostraron una resistencia en promedio entre 30MPa y 97MPa, excelente comportamiento en ambientes corrosivos y a la compresión, por lo que permite ser aligerado y por ende tener un peso apropiado para

facilitar la maniobrabilidad de los productos y la instalación, también la presente invención se caracteriza por ser resistentes a rayos UV y poseer propiedades ignífugas.

- Adicionalmente, la presente invención se refiere a un proceso para la obtención de esta
- 5 mezcla sustituta de concreto de alta resistencia el cual comprende los siguientes pasos: a) Tamizar los agregados finos no RCD y agregados finos RCD secos con tamiz estándar No. 4; b) Tamizar los agregados gruesos no RCD y agregados gruesos RCD secos con tamiz estándar No. ½”; c) Pesar los residuos provenientes de madera, archivo de oficina, papel periódico o sus mezclas; d) Elaborar paneles de celulosa mediante compresión de
- 10 los residuos provenientes de madera, archivo de oficina, papel periódico o sus mezclas; e) Triturar o moler residuos de botellas PET; f) Pesar los residuos de botellas PET; g) Mezclar por separado la resina poliéster junto con todos los agregados finos y homogenizar; h) a la mezcla anterior adicionar los agregados gruesos, residuos de celulosa y residuos de botellas PET y homogenizar; i) Pesar y agregar el catalizador y
- 15 permitir la reacción de polimerización durante un tiempo de 1 a 5 horas; j) Fragar la mezcla en diferentes moldes o encofrados para obtener diferentes configuraciones de forma, tamaño, volumen.; k) Determinar las características fisicoquímicas finales de la mezcla sustituta de concreto.
- 20 Todas las proporciones indicadas en la presente invención varían según el volumen del prefabricado y estas se dan en unidades de peso (Kg). También es importante resaltar que existen distintas realizaciones de la mezcla y sus agregados que se pueden adaptar según el objetivo del producto.

## 25 EJEMPLOS

La presente invención se presenta en detalle a través de los siguientes ejemplos, los cuales son suministrados solamente con propósitos ilustrativos y no con el objetivo de limitar su alcance.

30

### **Establecimiento y escogencia de agregados finos y gruesos no RCD**

Para la determinación de los mejores agregados tanto finos como gruesos se procedió a realizar el acondicionamiento de los materiales.

Para el caso de agregados finos no RCD, el acondicionamiento inicia por el lavado de las arenas (Arena Santo Tomas y Juan de Acosta), las cuales después de secarlas pasaron por un proceso tamizaje por una batería de tamices (tamices 1 a 200 con tamaño de partícula entre 25,4mm y 0,075mm), tal como se muestra en la figura 2, en la cual hay un límite inferior y un límite superior, entre la cual se encuentran los tamaños adecuados de esta mezcla.

A partir de este proceso de tamizaje se logró obtener agregados finos no RCD obtenidos separadamente de Arena Santo Tomas con un tamaño de partícula entre 0,3 y 4,75 mm, tal como se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Granulometría Arena Santo Tomás

| Tamiz | Tamiz | Masa del Tamiz | Masa Total | Masa retenida | % Individual retenido | % Total Retenido | % Total pasa |
|-------|-------|----------------|------------|---------------|-----------------------|------------------|--------------|
| No    | (mm)  | (g)            | (g)        | (g)           |                       |                  |              |
| 1     | 25,4  | 636,8          | 636,8      | 0,0           | 0%                    | 0%               | 100%         |
| 3/4"  | 19    | 692,2          | 692,2      | 0,0           | 0%                    | 0%               | 100%         |
| 1/2"  | 12,7  | 693,2          | 693,2      | 0,0           | 0%                    | 0%               | 100%         |
| 3/8"  | 9,51  | 655,8          | 655,8      | 0,0           | 0%                    | 0%               | 100%         |
| 4     | 4,75  | 674,6          | 674,6      | 0,0           | 0%                    | 0%               | 100,0%       |
| 8     | 2,63  | 572,7          | 572,7      | 0,0           | 0%                    | 0%               | 100,0%       |
| 16    | 1,18  | 550,9          | 553,6      | 2,7           | 1%                    | 0,9%             | 99,1%        |
| 30    | 0,6   | 498,5          | 617,8      | 119,3         | 39%                   | 39,5%            | 60,5%        |
| 50    | 0,3   | 463,3          | 590,5      | 127,2         | 41%                   | 80,6%            | 19,4%        |
| 100   | 0,15  | 459,1          | 508,3      | 49,2          | 16%                   | 96,5%            | 3,5%         |
| 200   | 0,075 | 451,7          | 460,7      | 9,0           | 3%                    | 99,5%            | 0,5%         |
| Fondo |       | 563,7          | 565,4      | 1,7           | 1%                    | 100,0%           | 0,0%         |

Por su parte de arena Juan de Acosta con un tamaño de partícula entre 0,3 y 9,51mm, tal como se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Granulometría Arena Juan de Acosta

| Tamiz | Tamiz | Masa del Tamiz | Masa Total | Masa retenida | % Individual retenido | % Total Retenido | % Total pasa |
|-------|-------|----------------|------------|---------------|-----------------------|------------------|--------------|
| No    | (mm)  | (g)            | (g)        | (g)           |                       |                  |              |
| 1     | 25,4  | 636,8          | 636,8      | 0,0           | 0%                    | 0%               | 100%         |
| 3/4"  | 19    | 692,2          | 692,2      | 0,0           | 0%                    | 0%               | 100%         |
| 1/2"  | 12,7  | 693,2          | 693,2      | 0,0           | 0%                    | 0%               | 100%         |
| 3/8"  | 9,51  | 655,8          | 655,8      | 0,0           | 0%                    | 0%               | 100%         |
| 4     | 4,75  | 674,6          | 710,0      | 35,4          | 9%                    | 9,5%             | 90,5%        |
| 8     | 2,63  | 572,7          | 650,0      | 77,3          | 21%                   | 30,1%            | 69,9%        |
| 16    | 1,18  | 550,9          | 620,0      | 69,1          | 18%                   | 48,6%            | 51,4%        |
| 30    | 0,6   | 498,5          | 556,5      | 58,0          | 16%                   | 64,2%            | 35,8%        |
| 50    | 0,3   | 463,3          | 541,5      | 78,2          | 21%                   | 85,1%            | 14,9%        |
| 100   | 0,15  | 459,1          | 504,6      | 45,5          | 12%                   | 97,2%            | 2,8%         |
| 200   | 0,075 | 451,7          | 460,1      | 8,4           | 2%                    | 99,5%            | 0,5%         |
| Fondo |       | 563,7          | 565,6      | 1,9           | 1%                    | 100,0%           | 0,0%         |

Posteriormente se procedió a combinar los dos tipos de arena (Arena Santo Tomas y Juan de Acosta), que llevo a la obtención de un agregado fino no RCD combinado que presentó un tamaño de partícula entre 0,15 y 4,75 mm, tal como se observa en la Tabla 3.

5                      Tabla 3. Granulometría agregado fino no RCD combinado

| Tamiz        | Tamiz | Total pasa | Límite Inf | Limite Sup |
|--------------|-------|------------|------------|------------|
| No           | (mm)  | (%)        | (%)        | (%)        |
| 1            | 25,4  | 100,0      |            |            |
| 3/4"         | 19    | 100,0      |            |            |
| 1/2"         | 12,7  | 100,0      |            |            |
| 3/8"         | 9,51  | 100,0      | 100,0      | 100,0      |
| 4            | 4,75  | 95,3       | 95,0       | 100,0      |
| 8            | 2,63  | 84,9       | 80,0       | 100,0      |
| 16           | 1,18  | 75,2       | 50,0       | 85,0       |
| 30           | 0,6   | 48,2       | 25,0       | 60,0       |
| 50           | 0,3   | 17,2       | 10,0       | 30,0       |
| 100          | 0,15  | 3,1        | 2,0        | 10,0       |
| 200          | 0,075 | 0,5        | 0,0        | 3,0        |
| <b>Fondo</b> |       |            |            |            |

10                      Para el caso de agregados gruesos no RCD, el acondicionamiento inicia por el lavado de gravillas de ciénaga triturada (Gravilla Ciénaga y Gravilla Arroyo), las cuales después de secarlas pasaron por un proceso tamizaje por una batería de tamices (tamices 1 a 8 con tamaño de partícula entre 25,4mm y 2,63mm) de tal forma de determinar el tamaño adecuado de este material, tal como se observa en la Figura 3.

15                      A partir de este proceso de tamizaje se logró obtener agregados gruesos no RCD obtenidos separadamente de gravilla Ciénaga y gravilla con tamaños de entre 12,7mm y 2,63mm cada una, tal como se observa en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4. Granulometría agregado grueso no RCD gravilla Ciénaga

| Tamiz        | Tamiz | Masa del Tamiz | Masa Total | Masa retenida | Individual reteni | % Total Retenido |
|--------------|-------|----------------|------------|---------------|-------------------|------------------|
| No           | (mm)  | (g)            | (g)        | (g)           |                   |                  |
| 1            | 25,4  | 636,8          | 636,8      | 0,0           | 0%                | 0%               |
| 3/4"         | 19    | 692,2          | 692,2      | 0,0           | 0%                | 0%               |
| 1/2"         | 12,7  | 693,2          | 870,0      | 176,8         | 44%               | 44%              |
| 3/8"         | 9,51  | 655,8          | 835,7      | 179,9         | 45%               | 90%              |
| 4            | 4,75  | 674,6          | 705,6      | 31,0          | 8%                | 97%              |
| 8            | 2,63  | 573,7          | 583,2      | 9,5           | 2%                | 100%             |
| <b>Fondo</b> |       | 563,7          | 564,2      | 0,5           | 0%                | 100%             |

Tabla 5. Granulometría agregado grueso no RCD gravilla Arroyo

| Tamiz | Tamiz | Masa del Tamiz | Masa Total | Masa retenida | Individual reteni | % Total Retenido |
|-------|-------|----------------|------------|---------------|-------------------|------------------|
| No    | (mm)  | (g)            | (g)        | (g)           |                   |                  |
| 1     | 25,4  | 636,8          | 636,8      | 0,0           | 0%                | 0%               |
| 3/4"  | 19    | 692,2          | 692,2      | 0,0           | 0%                | 0%               |
| 1/2"  | 12,7  | 693,2          | 1097,5     | 404,3         | 65%               | 65%              |
| 3/8"  | 9,51  | 655,8          | 805,2      | 149,4         | 24%               | 89%              |
| 4     | 4,75  | 674,6          | 728,3      | 53,7          | 9%                | 98%              |
| 8     | 2,63  | 573,7          | 586,3      | 12,6          | 2%                | 100%             |
| Fondo |       | 563,7          | 565,0      | 1,3           | 0%                | 100%             |

### Acondicionamiento y preparación de agregados finos y gruesos tipo RCD

- 5 Los residuos tipo RDC se obtienen mediante aliados estratégicos del sector construcción quienes necesitan realizar disposición final de los mismos.

Los residuos tipo RCD son triturados en maquina trituradora y posteriormente se realiza una selección entre los RDC gruesos y finos mediante un proceso tamizaje por una batería de tamices.

- 10 Para los residuos RDC finos, se recoge el material obtenido luego de ser tamizados por los tamices 4 a 200 con tamaño de partícula entre 4,75mm y 0,075mm).

Para los residuos RCD gruesos, se recoge el material obtenido luego de ser tamizados por los tamices ½" a 8 con tamaño de partícula entre 12,7mm y 2,63mm).

### 15 Acondicionamiento de residuos industriales (celulosa y PET)

Los residuos de celulosa se obtienen mediante aliados estratégicos del sector construcción quienes necesitan realizar disposición final de papelería, cartones, etc.

- 20 Los residuos de PET se obtienen mediante aliados estratégicos recicladores quienes recolectan, limpian y trituran las botellas PET.

Debido a que es material reciclado solo se requiere que este esté limpio y seco para que el proceso de triturado sea uniforme y no se presenten residuos de otra naturaleza.

- 25 el triturado PET puede realizarse como proceso previo a la adquisición de la materia prima o de manera posterior antes de la mezcla con los agregados finos y gruesos.

### Elaboración de cuerpos de ensayo

Para la elaboración de estructuras o cuerpos de ensayos (cilindros o tapas) obtenidos con la mezcla sustituta de concreto y la realización de las mediciones de compresión, se tuvo en cuenta los requerimientos de la norma NTC 673/2010 “*Concretos: ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*”.

5

Para el inicio del proceso de elaboración se requirieron cinco etapas a seguir:

### **Etapas 1: Diseño de las mezclas**

- 10 Teniendo en cuenta que las materias primas incluyen residuos no RCD y RCD así como residuos industriales provenientes de celulosa y botellas PET y que no son estandarizados todos en su tamaño y composición, se hace necesario siempre ajustar la mezcla sustituta de concreto de acuerdo a los resultados de las etapas anteriores del proceso de obtención de la mezcla para cada uno de estos componentes en la mezcla final para que esta cumpla
- 15 con las especificaciones finales del producto.

Con los datos de las etapas anteriores, se procede a realizar el diseño de las mezclas para la elaboración de los cuerpos de ensayo.

- 20 Las diversas mezclas y proporciones de los componentes (de ahora en adelante realizaciones) se describen a continuación:

### **Realizaciones para un volumen de 0,0245 m<sup>3</sup>**

#### **25 Realización 1**

| <b>Componentes</b>     | <b>Cantidad (kg)</b> | <b>Porcentaje p/p %</b> |
|------------------------|----------------------|-------------------------|
| Resina                 | 8,998                | 16,91%                  |
| Catalizador            | 0,089                | 0,17%                   |
| Agregados finos no RCD | 15,450               | 29,04%                  |
| Agregado grueso RCD    | 10,000               | 18,80%                  |
| Agregado fino RCD      | 9,132                | 17,17%                  |
| Agregado grueso no RCD | 9,531                | 17,92%                  |
| <b>TOTAL</b>           | <b>53,200</b>        | <b>100,00%</b>          |

#### Realización 2

| <b>Componentes</b>     | <b>Cantidad (kg)</b> | <b>Porcentaje p/p%</b> |
|------------------------|----------------------|------------------------|
| Resina                 | 7,796                | 16,64%                 |
| Catalizador            | 0,077                | 0,16%                  |
| Agregado fino no RCD   | 11,450               | 24,44%                 |
| Agregado grueso RCD    | 10,000               | 21,34%                 |
| Agregado fino RCD      | 10,000               | 21,34%                 |
| Celulosa               | 1,000                | 2,13%                  |
| PET                    | 1,000                | 2,13%                  |
| Agregado grueso no RCD | 5,531                | 11,80%                 |
| <b>TOTAL</b>           | <b>46,854</b>        | <b>100,00%</b>         |

#### 5 Realización 3

| <b>Componentes</b>     | <b>Cantidad (kg)</b> | <b>Porcentaje p/p%</b> |
|------------------------|----------------------|------------------------|
| Resina                 | 8,850                | 16,64%                 |
| Catalizador            | 0,088                | 0,17%                  |
| Agregado fino no RCD   | 25,040               | 47,07%                 |
| Agregado grueso no RCD | 9,605                | 18,05%                 |
| Agregado grueso RCD    | 9,615                | 18,07%                 |
| <b>TOTAL</b>           | <b>53,200</b>        | <b>100,00%</b>         |

#### Realización 4

| <b>Componentes</b>   | <b>Cantidad (kg)</b> | <b>Porcentaje p/p%</b> |
|----------------------|----------------------|------------------------|
| Resina               | 8,850                | 19,24%                 |
| Catalizador          | 0,088                | 0,19%                  |
| Celulosa             | 7,033                | 15,29%                 |
| Agregado fino no RCD | 20,424               | 44,40%                 |
| Agregado grueso RCD  | 9,605                | 20,88%                 |
| <b>TOTAL</b>         | <b>46,000</b>        | <b>100,00%</b>         |

## Realizaciones para un volumen de 0,008547 m3

### Realización 1

| Componentes            | Cantidad (kg) | Porcentaje p/p% |
|------------------------|---------------|-----------------|
| Resina                 | 3,960         | 21,79%          |
| Catalizador            | 0,0396        | 0,22%           |
| Agregados finos no RCD | 6,000         | 33,02%          |
| Agregado grueso no RCD | 3,170         | 17,45%          |
| Agregado grueso RCD    | 5,000         | 27,52%          |
| <b>TOTAL</b>           | <b>18,170</b> | <b>100,00%</b>  |

### 5 Realización 2

| Componentes          | Cantidad (kg) | Porcentaje p/p% |
|----------------------|---------------|-----------------|
| Resina               | 4,000         | 28,57%          |
| Catalizador          | 0,400         | 0,29%           |
| Agregado fino no RCD | 3,000         | 21,43%          |
| Agregado grueso RCD  | 3,000         | 21,43%          |
| Celulosa             | 3,960         | 28,29%          |
| <b>TOTAL</b>         | <b>14,000</b> | <b>100,00%</b>  |

### Realización 3

| Componentes          | Cantidad (kg) | Porcentaje p/p% |
|----------------------|---------------|-----------------|
| Resina               | 8,998         | 16,40%          |
| Catalizador          | 0,900         | 1,64%           |
| Agregado fino no RCD | 15,450        | 28,15%          |
| Agregado fino RCD    | 10,000        | 18,22%          |
| Agregado grueso RCD  | 10,000        | 18,07%          |
| Agregado fino RCD    | 9,531         | 17,37           |
| <b>TOTAL</b>         | <b>54,879</b> | <b>100,00%</b>  |

### Realización 4

| Componentes   | Cantidad (kg) | Porcentaje p/p% |
|---------------|---------------|-----------------|
| <b>Resina</b> | <b>7,796</b>  | <b>16,35%</b>   |

|                        |               |                |
|------------------------|---------------|----------------|
| Catalizador            | 0,900         | 1,89%          |
| Agregado fino no RCD   | 11,450        | 24,02%         |
| Agregado grueso RCD    | 10,000        | 20,97%         |
| Agregado fino RCD      | 10,000        | 20,97%         |
| Celulosa               | 1,000         | 2,10%          |
| PET                    | 1,000         | 2,10%          |
| Agregado grueso no RCD | 5,531         | 11,60%         |
| <b>TOTAL</b>           | <b>46,854</b> | <b>100,00%</b> |

### Alistamiento y pesaje de los componentes (materias primas)

A partir de los diseños de composición para cada una de las realizaciones se procedió a realizar el pesaje de cada uno de los componentes iniciando con el pesaje de la resina poliéster S119 HPR High performance (Tabla 6) y el pesaje del catalizador correspondiente a la mezcla MEKP/AAP (metilqueton peróxido/acetil acetona peróxido); posteriormente luego de escoger los agregados finos y gruesos no RCD y los agregados finos y gruesos RCD se procedió a pesar los agregados finos secos RCD y agregados gruesos RCD y dejarlos separados para su posterior utilización y de la misma forma se realizó el pesaje y separación de los agregados finos y gruesos no RCD.

Las características de la resina se presentan a continuación:

Tabla 6. Características fisicoquímicas de la resina líquida

| Características              | Rangos              | Unidad de medida | Método   |
|------------------------------|---------------------|------------------|----------|
| Aspecto                      | Líquido turbio azul |                  |          |
| Viscosidad @ 25°C            | 550-650             | mPa-s            | I.O.369  |
| Tix Index                    | 3,0-3,5             |                  | I.O.369  |
| Tiempo de hiel @ 25°C        | 18,0-22,0           | Minutos          | I.O.1000 |
| Tiempo al pico               | 9,0-13,0            | Minutos          | I.O.1000 |
| Pico exotérmico              | 175,0-195,0         | °C               | I.O.1000 |
| Contenido en estireno        | 41,0-45,0           | %                | I.O.349  |
| Contenido en agua            | Max 0,15            | %                | I.O.360  |
| Estabilidad a 65°C           | ;in. 6              | Días             | I.O.375  |
| Estabilidad a almacenamiento | Min. 6              | Meses            | I.O.998  |

(\*) Brookfield RVF Spindle

(\*\*) Brookfield RVF

(\*\*\*) Condiciones de catálisis: 100g resina + 1,50 g MEKP 50 (LUPEROX K1)

(\*\*\*\*) Valores no descritos en boletín de análisis

Para el caso de las realizaciones que adicionaban residuos de celulosa, se procedió de forma separada a pesar los residuos celulosa triturados provenientes de madera, archivo

de oficina, papel periódico, o sus mezclas y se procedió a elaborar unos paneles de celulosa mediante compresión de estos residuos teniendo en cuenta el porcentaje que se debía adicionar a cada una de las realizaciones.

- 5 Para el caso de las realizaciones que adicionaban residuos molidos de botellas de PET, se procedió de forma separada a pesar dichos residuos teniendo en cuenta el porcentaje que se debía adicionar a cada una de las realizaciones.

### **Mezcla e incorporación de los componentes (materias primas)**

- 10 Luego del pesaje de todos los componentes por separado, se procedió a realizar la mezcla inicial de todos los agregados finos, tanto RCD como no RCD, con la resina poliéster agitando constantemente para una total incorporación y homogenización de la mezcla, posteriormente de manera gradual, se incorporaron los agregados gruesos, tanto RCD como no RCD, y según el caso se adicionaron los residuos de celulosa y/o los residuos molidos de botellas PET. Esta mezcla e incorporación se realiza gradualmente en un trompo mezclador, manteniendo la homogenización y condiciones de la mezcla.
- 15 Luego de obtener una mezcla uniforme se procedió a adicionar la cantidad de MEKP/AAP necesaria para realizar el proceso y reacción de polimerización. Esta polimerización se realizó a temperatura ambiente (20-25°C) en la que se obtiene el producto de polimerización luego de 3 horas de reacción, este proceso de polimerización alcanza temperaturas entre 50 y 60°C.
- 20 Para lograr los cilindros o la forma, tamaño o volumen deseado, la mezcla sustituta de concreto se coloca en un recipiente adecuado según la forma y se deja secar.

### **Determinación de medidas de resistencia a la compresión**

- 25 Luego de obtener los cuerpos de ensayo (cilindros o tapas) de la mezcla sustituta de concreto de acuerdo con las diferentes realizaciones diseñadas y elaboradas, se procedió a realizar los ensayos de resistencia a la compresión de acuerdo con la NTC 673/2010 “*Concretos: ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*”

Tabla 7. Resultados de resistencia a la compresión para los diferentes cuerpos de ensayo según los volúmenes de ensayo y las diferentes realizaciones.

| Realizaciones para un volumen de 0,0245 |                             | Realizaciones para un volumen de 0,008547 |                             |
|-----------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|
| Realización                             | Resistencia a la compresión | Realización                               | Resistencia a la compresión |
| 1                                       | 70MPa (10.152,60 psi)       | 1                                         | 97MPa (14107,00 psi)        |
| 2                                       | 60MPa (8.702,26 psi)        | 2                                         | 60MPa (8122,00 psi)         |
| 3                                       | 97MPa (14107,00 psi)        | 3                                         | 70MPa (10.152,60 psi)       |
| 4                                       | 56MP (8122,00 psi)          | 4                                         | 60MPa (8702,26 psi)         |

- 5 Adicionalmente, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión luego de 3 y 7 días de elaborado el cuerpo de ensayo presentándose los siguientes resultados para la realización 1 del volumen 0,0245.

Tabla 8. Resultados de resistencia a la compresión a los 1, 3 y 7 días para la realización 1 (volumen 0,0245)

| Muestra N° | Localización                  | Fecha de toma (aa-mm-dd) | h (cm) | h1 (cm) | D (cm) | A (cm²) | Relación (h/D) | Edad (Días) | Fecha ensayo (aa-mm-dd) | Peso (g) | Factor Correc. | Densidad (g/cm³) | Carga máxima (N) | Esfuerzo corregido (Kg/cm²) | Esfuerzo corregido (MPa) | fc (MPa) | Desarrollo (%) | Forma de Falla |
|------------|-------------------------------|--------------------------|--------|---------|--------|---------|----------------|-------------|-------------------------|----------|----------------|------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------|----------|----------------|----------------|
| CP1        | CILINDROS CONCRETO POLIMERICO | 2019-05-22               | 20.1   | 20.1    | 10.1   | 80.1    | 1.99           | 1           | 2019-05-23              | 3434     | 1.00           | 2.132            | 397700           | 506.2                       | 50.0                     | 70       | 71.4           | Columnar       |
| CP1        | CILINDROS CONCRETO POLIMERICO | 2019-05-22               | 20.1   | 20.1    | 10.1   | 80.1    | 1.99           | 3           | 2019-05-25              | 3591     | 1.00           | 2.230            | 456300           | 580.8                       | 57.3                     | 70       | 81.9           | Columnar       |
| CP1        | CILINDROS CONCRETO POLIMERICO | 2019-05-22               | 20.1   | 20.1    | 10.1   | 80.1    | 1.99           | 7           | 2019-05-29              | 3564     | 1.00           | 2.213            | 499300           | 635.5                       | 62.7                     | 70       | 89.6           | Columnar       |

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 15 - C. Nikoloz et al. Production of Corrosion-Resistant Polymer Concrete Reinforced with Various Fibers. IOP Conf. Ser.: Earth Environmental Science. 2019. 362. 012118
- M. E. Tawfik and S. B. Eskander. Polymer Concrete from Marble Wastes and Recycled Poly(ethylene terephthalate). Journal of Elastomers and Plastics 2006 38: 65
- 20 - Y. M. Ghugal and S.V. Naghate. Performance of extruded polyester fiber reinforced concrete. Journal of Structural Engineering. 2016. 43: 3; 247-257

- Miguel Martínez-Lopez et al. Waste Materials from Tetra Pak Packages as Reinforcement of Polymer Concrete. International Journal of Polymer Science. 8 (2015) 763917; 8
- M. Batayneh, et al. Use of selected waste materials in concrete mixes. Waste Management 27 (2007) 12; 1870-1876.

5