

**PROCESO DE OBTENCIÓN DE ELEMENTOS DECORATIVOS,
ARQUITECTONICOS Y/O MOBILIARIO RÍGIDO A PARTIR DE RESIDUOS
DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) Y SU PRODUCTO OBTENIDO**

5

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se marca dentro de la ingeniería, específicamente en el
área de ingeniería civil, en el desarrollo de nuevos materiales, específicamente
en el reaprovechamiento de residuos de construcción/demolición (RCD) tipo
10 escombros a través de métodos mecánicos, para la obtención de materiales con
potencial conglomerante y su uso en la fabricación de diversos objetos sólidos.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 La sobreproducción de residuos de demolición y construcción como consecuencia
de los procesos de urbanización ha ocasionado problemáticas ambientales y
sociales como consecuencia de la carencia de espacios para su disposición final
y procesos de aprovechamiento de estos residuos, es por lo anterior que la
presente invención utiliza como materia prima estos elementos residuales en la
20 elaboración de composiciones granulares que posteriormente formuladas, tienen
un potencial de conglomeración que permite la fabricación de diversos objetos
sólidos, tales como elementos decorativos y mobiliario rígido, siendo al mismo
tiempo una alternativa al cuidado ambiental alineada a los modelos de economía
circular.

25

Una de las formas de clasificación internacional es catalogar los RCD de acuerdo
a su procedencia¹:

- Materiales de excavación: tierra, arena, grava, rocas, etc.
- Construcción y mantenimiento de obras civiles: asfalto, arena, grava y
30 metales, etc.
- Materiales de demolición: bloques de hormigón, ladrillos, yeso, porcelana y
cal-yeso.

De acuerdo a esta clasificación, dentro de los RCD se tienen en cuenta las tierras
35 de excavación limpias, sin embargo, el Plan Nacional de Residuos de
Construcción y Demolición 2001-2006 de España² menciona que dichas tierras
son excluidas al no ser consideradas residuos. De conformidad con lo anterior,

¹ D. Fatta, A. Papadopoulos, E. Avramikos, E. Sgourou, K. Moustakas, F. Kourmoussis, A. Mentzis, M. Loizidou, "Generation and management of construction and demolition waste in Greece-an existing challenge", Resources, Conservation and Recycling, vol. 40, no. 1, pp. 81-91, 2003. doi:10.1016/S0921-3449(03)00035-1

² Ministerio de Medio Ambiente Español, "BOE 166 Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006", Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2001.

los RCD se dividen en tres grandes grupos, con sus respectivas subdivisiones como se describe en la siguiente tabla³:

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
RCD aprovechables	I. Residuos mezclados	Residuos pétreos	Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosín, mortero y materiales no pasantes al tamiz #200
		Residuos finos no expansivos	Arcilla, limos y residuos inertes que sobrepasen el tamiz #200
	II. Residuos de material fino	Residuos finos expansivos	Arcillas y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz #200
		Residuos no pétreos	Plásticos, PVC, maderas, papel, siliconas, vidrios, cauchos
	III. Otros residuos	Residuos de carácter metálico	Acero, hierro, cobre, aluminio
		Residuos orgánicos	Residuos de tierra negra
		Residuos orgánicos vegetales	Residuos vegetales y otras especies bióticas
	IV. Residuos peligrosos	Residuos corrosivos, reactivos, radioactivos, explosivos, tóxicos y patógenos	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, resinas, plastificantes, tintas, betunes
RCD No aprovechable	V. Residuos especiales	No definida	Poliestireno, icopor, cartón, yeso (drywall)
	VI. Residuos contaminados con otros residuos	Residuos contaminados con residuos peligrosos	Materiales pertenecientes a los grupos anteriores que se encuentren contaminados con residuos peligrosos
		No definida	Residuos contaminados con otros residuos que hayan perdido las características propias de su aprovechamiento
		No definida	Residuos que por requisitos técnicos no es permitido su reuso en obras
Otros	VII. Otros residuos	No definida	

5

Aunque el “desarrollo sostenible” conocido como *“aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para solventar sus propias necesidades”*⁴, ha sido un tema de interés y

³ Guía para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición RCD en obra, Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., 2015 [10].
⁴ Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo en el Informe Brundtland, 1987.

preocupación global; se ha hecho evidente la necesidad de redirigir no sólo las políticas sino también la cultura de las industrias hacia este fin. Es por eso que actualmente se trabaja a nivel mundial sobre una nueva tendencia para edificar, la “construcción sostenible”, que tiene en cuenta dentro de sus parámetros de calificación de los procesos, aquellos que van desde la extracción hasta la transformación de materias primas, cambiando considerablemente el ciclo de vida de los materiales de la industria de la construcción.

En este orden de ideas, no sólo son importantes los procesos que se llevan a cabo para obtener los materiales necesarios para esta industria, sino también el tratamiento que se le da a los residuos generados por los procesos de construcción y demolición, que además de contaminar al no tener una adecuada disposición, implican la subutilización de recursos que podrían ser ampliamente aprovechados. Los procesos de construcción requieren materiales que provienen de diferentes fuentes, en su mayoría no renovables, es así como además de tener actividades económicas que impactan el desarrollo, se tienen desechos generados que impactan el medio ambiente.

Investigaciones como las realizadas en Honk Kong (Secretaría Distrital del Ambiente, 2012), Tanzania (Silva, Brito, & Dhir, 2014), Vietnam (Simon Lockrey, 2016), entre otras, en las que se estudiaron los factores que influyen en la generación de desechos de demolición, indican la necesidad de cada país para optimizar estos desechos e incorporarlos a los procesos productivos de la construcción. Colombia no es la excepción y es así como actualmente se cuenta con la Resolución 1115 de 2012 (Xi Chen, 2017) emitida por la Secretaría Distrital del Ambiente en la que se reglamenta según el Artículo 34 del Decreto Ley 2811 de 1974 el manejo de los residuos sólidos, basuras, desechos y desperdicios. Para responder con este requerimiento, actualmente Bogotá a través del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) exige a los contratistas a construir un 20% de las vías contratadas utilizando RCD. Esto indica el compromiso que nuestro país tiene con el manejo de estos residuos⁵.

Un adecuado manejo en los residuos de construcción y demolición RCD, debe sustentar su reciclaje, en la reutilización de materiales recuperados como fuente de energía o materias primas, esto con la finalidad de preservar el medio ambiente, así como al uso racional de los recursos naturales. En la recuperación y reciclado de residuos de construcción y demolición RCD, es importante considerar que en la actividad de reciclaje intervienen aspectos económicos y del medio ambiente en el mismo punto. El desafío para futuros contratos es el

⁵ Ana Sofía Figueroa-Infante; Karen Ferrucho; Efraín Bernal-Alzate; Silvia Forero Bonilla; Humberto Ramírez. “Opciones de utilización de residuos de construcción y demolición-RCD en la infraestructura vial”. Revista VIAL. julio 20, 2021.

de conseguir compatibilizar los fines económico de los proyectos con la preservación del medio ambiente que la sustenta; en este sentido son prioritarias todas las actividades recuperadoras y recicladoras⁶.

En EEUU la asociación federal de carreteras realiza actividades de reciclaje de pavimentos en hormigón, un ejemplo de ello fue la construcción en Wyoming de 7000 carreteras, en donde se aprovechó dicho material para la construcción de bases y sub-bases granulares; actividad que generó un ahorro del 16% respecto a la construcción con materiales convencionales. En Dinamarca, Holanda, Gran Bretaña, Alemania, y Japón, se manejan programas de aprovechamiento de materiales RCD, lo cual indica que el término reutilización o reciclaje de materiales es un término mundialmente utilizado y aplicado en proyectos de infraestructura, por lo que es necesario continuar en la labor de estudiar de manera consistente⁷.

Recientemente, en la revista de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, se presentaron los resultados en laboratorio de mezclas asfálticas con material alternativo para pavimentos, a fin de contribuir a una solución técnica y ambiental en términos de aprovechamiento de residuos sólidos y contribuir para el desarrollo de la infraestructura vial del país⁸:

- Caracterización física de los agregados convencionales y alternativos, los cuales cumplen con las especificaciones del INVIAS 2013 para la fabricación de mezclas asfálticas drenantes, a excepción del ensayo de solidez.
- La evolución de la resistencia a la tracción y el desgaste cántabro determinados a 25 y 60 °C para las mezclas asfálticas drenantes con AC y RCA respectivamente.
- A partir de los resultados de tracción indirecta, es posible evidenciar que el contenido de asfalto de 5% en la mezcla con agregados reciclados presenta un comportamiento similar a la mezcla de control con agregados convencionales.
- Sin embargo, se presenta aumento del desgaste a la abrasión.
- El aumento del contenido de asfalto puede ser atribuido a la elevada absorción de asfalto del agregado RCA, lo cual fue evidenciado en el ensayo de absorción.

⁶ Reciclaje y reutilización de materiales residuales de construcción y demolición de Natalini, Mario B. - Klees, Delia R. - Tirner, Jirina. (2000).

⁷ Elizabeth Cristina Jimenez Montero. Hernán Miguel García Torres. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA. FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL. ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. APROVECHAMIENTO DE LOS RCD EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS. Bogotá, Colombia, 2016.

⁸ Juan Gabriel Bastidas Martínez, Nicolás Infante Rodríguez & Hernán Darío Torres Daza. APLICACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO RCA EN MEZCLAS ASFALTICAS DRENANTES. Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, Colombia. 2020.

En la misma publicación se concluye:

- De forma general, la aplicación del agregado reciclado de concreto RCA al ser sometido al proceso de trituración previa cumple con los requisitos mínimos para la fabricación de mezclas asfálticas drenantes, excepto el desgaste por la acción del sulfato de sodio y el desgaste en la máquina de los ángeles. Sin embargo, tratamientos adicionales pueden ser realizados sobre el RCA con el objetivo de minimizar el desgaste a la abrasión y a la acción química.
- La aplicación del agregado reciclado de concreto RCA en mezclas asfálticas drenantes de la forma propuesta puede considerarse viable desde el punto de vista técnico y ambiental, por presentar similitud en el comportamiento físico-mecánico del material convencional y permitir una alternativa de disposición final segura y ambientalmente correcta.

Como podemos apreciar hasta el momento, las principales aplicaciones que se les dan a los RCD en la reutilización tienen que ver con la construcción de la maya vial, es decir como aditivos en composiciones asfálticas.

Aunque también existen esfuerzos para el uso de escombros, desperdicios y residuos de elementos estructurales de concreto armado y no estructurales de mampostería de bloques y ladrillos, combinados con otros aditivos (como poliestireno expandido) para la elaboración de paneles prefabricados de bajo costo⁹.

La patente china CN113582641 por su parte menciona un método para preparar una mezcla inorgánica a partir de reciclados de residuos de construcción que comprende preparar los reciclados con diferentes granulometrías procedentes de residuos de construcción en proporción, y luego añadir cemento para preparar la mezcla, en donde los tamaños de partículas de los reciclados con diferentes tamaños de partículas obtenidos a partir de los residuos de la construcción son: 20-31,5 mm, 10-20 mm, 5-10 mm y 0-5 mm, respectivamente. Las proporciones de reciclados con diferentes tamaños de partículas son en porcentaje en peso: 10% de los áridos reciclados con un tamaño de partículas de 20-31,5 mm, 25% de los áridos reciclados con un tamaño de partículas de 10-20 mm y 5% de los áridos reciclados con un tamaño de partícula de 10-20 mm. - 30% de árido regenerado de 10mm, 35% de árido regenerado de granulometría 0-5mm.

⁹ <http://repositorio.uq.edu.ec/handle/redug/11462>

Este tipo de aprovechamiento, también se enfoca en un uso estructural de la composición final de reciclados (con cemento y otros aditivos), por lo que utiliza una granulometría y proporciones distintas a lo relacionado a la presente invención, que está enfocada en las características de aglomeración para su modelamiento o aplicación final en moldes.

Por su parte, la patente china CN111574165 menciona un material a base de piedra triturada estabilizada con cemento de residuos sólidos completos de baja fisuración y un método de preparación y construcción, útil, principalmente, para prolongar la vida útil del pavimento; en donde la proporción en masa del material base es la siguiente: 2100-2300 partes de agregado mineral, 70-110 partes de escoria de azufre y/o cemento de aluminato férrico y 100-115 partes de agua. Si los requisitos de resistencia son relativamente altos, se pueden agregar de 1,5 a 2,2 partes de fibra; la resistencia a la compresión no confinada de 7 días del material base es mayor o igual a 5 MPa; el material mineral es el reciclado procesado a partir de residuos sólidos de construcción; el árido reciclado es el material portante de los residuos de construcción. Los bloques de hormigón de la estructura se procesan para obtener piedra triturada con un tamaño de partícula de 0-31,5 mm.

De acuerdo a lo anterior, se concluye que las soluciones propuestas en el estado de la técnica no resuelven la necesidad de diseñar mezclas a partir de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), con una granulometría y distribución específicas para la obtención de un material con potencial aglomerante para ser moldeado o verterse en moldes, con la finalidad de obtener productos con un valor agregado desde la micro y arquitectura intermedia correspondiente a elementos decorativos y/o mobiliario rígido.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención hace referencia a un proceso de obtención de elementos decorativos, arquitectónicos y/o mobiliario rígido a partir de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) que comprende otros materiales, adicionales a los agregados alternativos correspondientes a Residuos de Construcción y Demolición, estos últimos con tamaños de partículas específicos; donde la composición consiste en general: 25% - 30% de Cemento, 70% - 75% de agregados residuales pertenecientes a RCD triturados y tamizados, cuyo módulo de finura corresponde a 2.93 y tamaño de partículas variables entre 0.075mm - 4.75mm, con una cantidad y distribución porcentual particular de agregados residuales a utilizar.

La mezcla conglomerante obtenida a través de RCD, resulta útil para la fabricación de elementos sólidos tipo, ornamentación, acabados arquitectónicos y mobiliario, se caracteriza por tener una composición granular única, lo que hace que, tras su preparación como mezcla húmeda y posterior secado, pueda moldearse o configurar una gran variedad de piezas sólidas.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Figura 1 muestra una fotografía de la primera parte del proceso en donde se hace la selección del material RCD a ser triturado.

La Figura 2 muestra una fotografía de la segunda etapa del proceso en donde se seleccionan y mezclan diversos tamaños de partícula del material RCD previamente triturado.

La Figura 3 muestra una fotografía del mobiliario rígido en molde obtenido a través del secado de la mezcla con potencial aglomerante, después de su aplicación con agua y cemento adicionados, el desencofrado de la pieza y el acabado del mismo.

La Figura 4 muestra fotografías de otros objetos terminados que también son obtenidos a través del secado de la mezcla con potencial aglomerante, después de su aplicación con agua y cemento adicionados.

La Figura 5A muestra el tiempo de fraguado (aparato de Vicat modificado según parámetros normativos establecidos por la NTC 4088) para la mezcla obtenida con material RCD de la presente invención.

La Figura 5B muestra el tiempo de fraguado (aparato de Vicat modificado según parámetros normativos establecidos por la NTC 4088) para las mezclas con agregado natural.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

El proceso de obtención de elementos decorativos, arquitectónicos y/o mobiliario rígido a partir de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), se fundamenta en una mezcla conglomerante obtenida a través de RCD, que resulta útil para la fabricación de elementos sólidos tipo, ornamentación, acabados arquitectónicos y mobiliario, se caracteriza por tener una composición granular única, lo que hace que tras su preparación como mezcla húmeda y posterior secado, pueda moldearse o configurar una gran variedad de piezas sólidas.

Esta composición comprende otros materiales, adicionales a los agregados alternativos correspondientes a Residuos de Construcción y Demolición, estos últimos con tamaños de partículas específicos; donde la composición consiste en general: 25% - 30% de Cemento, 70% - 75% de agregados residuales pertenecientes a RCD triturados y tamizados, cuyo módulo de finura corresponde a 2.93 y tamaño de partículas variables entre 0.075mm - 4.75mm, con una cantidad y distribución porcentual particular de agregados residuales a utilizar.

Haciendo referencia a la figura 1, en la cual se observa que los primeros manejos que se le dieron al material RCD, fue seleccionar entre escombros, cerámicas y concreto, para luego triturar mecánicamente y tamizarlos, donde el paso 1 mostrado en la figura 1 hace referencia a los residuos de demolición y construcción, siendo 2, el proceso de trituración del material residual, siendo 3, el material residual triturado. Inicialmente no se fijó un porcentaje fijo de este tipo de elementos, sino que se utilizaron indiscriminadamente para su posterior trituración.

Posteriormente, tal como se observa en la figura 2, se realiza el proceso de tamizaje granulométrico, siendo 2, la separación y clasificación por tamaños, siendo 3, la mezcla proporcional de agregados residuales. Se encontró que al hacer una selección del material RCD inicial, en donde, cuando el RCD de escombros de morteros era 10%, cuando el RCD de escombros cerámicos era 5% y el RCD de escombros de concreto era 85%, la mezcla triturada comprendía unas propiedades aglomerantes mejoradas.

Por experiencia y por la revisión que se hizo respecto al estado de la técnica, reconocíamos que tamaños de partícula mayores a los 4 o 5 mm generaban materiales porosos y con características mecánicas distintas a las deseadas en la presente invención, muchas de estas utilizadas como material de refuerzo o de estructuración, y no con una capacidad de conglomeración que permitiera la modelación de diversas formas sólidas. Así que decidimos usar tamaños de partícula mucho menores.

En la siguiente tabla, se puede apreciar el tamaño de partículas de los agregados residuales sólidos para una mezcla de polvos obtenida por trituración de RCD:

Tabla 1. Tamaño de partículas de los agregados residuales sólidos para mezcla conglomerante residual.

Tamaño de partícula agregados residuales (mm)	Rangos porcentuales con relación a los tamaños de partículas residuales
4.75	0.0531 – 0.0649

2.36	1.6038 – 1.9602
1.18	2.4354 – 2.9766
0.600	2.4561 – 3,0019
0.300	2.3733 – 2.9007
0.150	0.9351 – 1.1429
0.075	0.3483 – 0.4257

Posteriormente, observamos que una relación agua-cemento, correspondiente a 50% de agua con relación a la cantidad total del cemento adicionado, con una variación de 20% del agua, y dependiendo de la adsorción de los agregados residuales, comenzaba a generar una mezcla húmeda que permitía su modelación o conformación de diversos sólidos, que al secarse presentaban una resistencia a la compresión de 14.29 Mpa a los 28 días de su solidificación, una adsorción de 4.5%, una masa unitaria suelta con una densidad de 1.39g/cm3 y masa unitaria compacta con una densidad de 1.53 g/cm3. Estas características de masa unitaria suelta y masa unitaria compacta, y sus respectivas densidades, corresponden a una propiedad de los agregados en el momento de su caracterización, este ensayo nos permite saber la relación masa/volumen para realizar el diseño de mezcla.

Esta mezcla inicial resultó ser una alternativa a las mezclas de cemento empleados en la elaboración de mobiliario, elementos de ambientación y decoración de uso interior y exterior, pertenecientes a la microarquitectura, donde se valoriza el uso de RCD correspondientes a escombros de morteros, cerámicos y concretos como materias primas, logrando elementos decorativos y mobiliario con características de estabilidad, funcionalidad y estética.

Finalmente, y tras variar las proporciones de los diversos tamaños de partícula del material RCD triturado y tamizado, pudimos obtener los siguientes siete grupos de tamaños de partícula/gránulos, con mayor función aglomerante:

Tabla 2. Tamaños de partícula del material RCD triturado y tamizado de la invención

4.75 ± 0.475
2.36± 0.236
1.18± 0.118
0.600± 0.0600
0.300± 0.0300
0.150± 0.0150
0.075± 0.0075

Posteriormente, mezclamos estos siete grupos de tamaños de partículas/gránulos hasta obtener una mezcla homogénea con distintas composiciones porcentuales, hasta llegar a la siguiente composición porcentual, que tuvo los mejores resultados:

5

Tabla 3. Composición porcentual de la presente invención

Rangos de tamaño de partícula material RCD triturado y tamizado (mm)	Rangos porcentuales con relación a los tamaños de partícula/gránulos del material RCD triturado y tamizado
4.75 ± 0.475	50.451±5.045
2.36± 0.236	25.066±2.506
1.18± 0.118	12.533±1.253
0.600± 0.0600	6.373±0.637
0.300± 0.0300	3.186±0.318
0.150± 0.0150	1.593±0.159
0.075± 0.0075	0.797±0.079

Diversos porcentajes de esta mezcla así caracterizada fueron a su vez mezcladas con diversas proporciones de cemento, siendo un porcentaje del 25% hasta el 30% de cemento mezclado con un 70% a 75% de la mezcla RCD con el perfil granulométrico indicado, los que mejores resultados arrojaron. A esta combinación entre la mezcla de composición granular definida y obtenida del material RCD seleccionado, triturado y tamizado, la definimos como mezcla seca final.

15

Posteriormente, diversas proporciones de esta mezcla seca final se combinaron con diversas proporciones de agua, para la conformación de una mezcla húmeda final, siendo el 50% de agua con relación a la cantidad total del cemento adicionado, con una variación de 20% del agua, la proporción que arrojó los mejores resultados.

20

Ya definidas las mejores proporciones de cada uno de los elementos de estas mezclas: (1) mezcla de material RCD triturado y tamizado, en los rangos de tamaño de partícula y las proporciones granulométricas definidas, que denominaremos mezcla RCD inicial; (2) la mezcla RCD inicial con una proporción de cemento que denominaremos mezcla seca final; y (3) la mezcla seca final con un porcentaje de agua adicionado que denominaremos la mezcla húmeda final, se procedió a definir las mejores condiciones de preparación para cada una de las mezclas.

25

30

Se empleo un mezclador eléctrico de eje vertical para mortero, tanto para la mezcla de polvos de la mezcla RCD inicial y la mezcla seca final como para la mezcla húmeda final. Este tipo de mezclador comprende una capacidad nominal de 0.5m³, una capacidad de llenado 750 litros, una potencia del motor de accionamiento 22 kW, una cantidad máxima de cierres por mezclador de 3 y un rango de revoluciones del mezclador 26 rpm.

Para la mezcla RCD inicial, la mezcla de polvos se realizó, agregando en un mezclador eléctrico de eje vertical para mortero, un peso total de 50 kg de los siete grupos de tamaños de partícula resultantes de la trituración y tamizaje del material RCD inicial, previamente seleccionado, a una velocidad de 285 rpm $\pm$ 10 rpm y por un tiempo de 4.3 min – 5 min.

Para obtener la mezcla seca final, se adiciona la mezcla RCD con el cemento. En una realización preferida se obtuvo la mezcla seca final colocando un peso total de mezcla RCD inicial de 50 kg, correspondiente al 70% - 75% de la mezcla con un peso de cementos de 21.5 kg correspondiente al 25% - 30% de la mezcla en un equipo mezclador eléctrico de eje vertical para mortero a una velocidad de 285 rpm $\pm$ 10 rpm y por un tiempo de 4.3 min – 5 min.

Para obtener la mezcla húmeda final, se agregaron en proporciones de peso iguales, agua y mezcla seca final, a un mezclador eléctrico de eje vertical para mortero, durante 4.3 min – 5 min a 285 rpm $\pm$ 10 rpm (de acuerdo con lo especificado en la norma NTC 112) hasta obtener una mezcla homogénea de consistencia pastosa.

Tras moldear la mezcla húmeda final o verter en moldes y dejar secar a temperatura ambiente o entre un rango de 18°C - 28°C y un tiempo correspondiente a un rango entre 20 horas a 24 horas, obtuvimos lo que denominaremos (4) un material solidificado final, tal como se observa en la figura 3, en la cual se observa que 1 y 2, el proceso de desmoldado, siendo 3, la aplicación de acabados.

Para este material solidificado final, como los mostrados en la figura 4, obtenido a través de las formulaciones de la presente invención, se realizó el ensayo de tiempo de fraguado de morteros de cemento hidráulico, mediante el aparato de Vicat modificado, según parámetros normativos establecidos por la NTC 4088. Se establece que el tiempo de fraguado para las mezclas de la presente invención (con RCD) es 135 minutos y para las mezclas con agregado natural a 94 minutos, tal y como se puede apreciar en las gráficas de la Figura 5.

También se realizaron análisis de resistencia a la penetración de humedad por método RILEM¹⁰.

Tabla 4. Datos del análisis de resistencia a la penetración de humedad por método RILEM

Mezcla conglomerante con agregados residuales (%)	Resistencia a la penetración de humedad por método RILEM posterior a 600s, (m³/s)
100	8.33e-10
0	1.75e-8

Ensayos complementarios

Como ensayos complementarios a la composición granular sólida con potencial aglomerante, los agregados residuales correspondientes a RCD, fueron sometidos a pruebas de desgaste en Micro-Deval (es una medida de la resistencia a la abrasión y de la durabilidad de agregados minerales, como resultado de una acción combinada de abrasión y molienda con esferas de acero en presencia de agua) a través de parámetros normativos como la Norma INVIAS-E-245-13 en comparación a los agregados tradicionales como la arena de pega; como resultados obtenidos se determina que el porcentaje de perdida para los RCD posterior a 15 minutos de proceso de degradación corresponde a 19.1% de la masa analizada correspondiente a 500g y para los agregados naturales el porcentaje fue de 16.8, con una variación del 2.3%, con relación a los procesos de perdida por lavado y Micro-Deval según el número de malla US estándar se tienen los siguientes valores en Tabla 5.

Tabla 5. Relación entre material lavado y Micro-Deval de RCD vs relación entre material lavado y Micro-Deval de arena de pega

# Tamiz	RCD		Arena de pega ¹¹	
	Material lavado ¹² (g)	Micro-Deval (%)	Material lavado (g)	Micro Deval (%)
#8	50	35,5	50	30,56
#16	125	50,85	125	45,21
#30	125	84,06	125	52,08
#50	100	76,24	100	72,46
#100	75	98,25	75	131,35

¹⁰ RILEM, *CPC 11.2 Absorption of water by concrete by capillarity*. 1994.
¹¹ Agregado fino de tamaño máximo N°4 (4.76mm), ideal para la realización de mezclas de morteros para pega.
¹² El lavado de arena o material lavado es un proceso que consiste básicamente en hacer pasar agua para separar la arena. En este tipo de procesos, existen perdidas de arena al eliminarse partículas de arena de una granulometría superior a 63 – 75 micras aproximadamente.