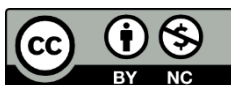


PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE UN CONCRETO CONVENCIONAL DE
3000 PSI Y UN CONCRETO CON AGREGADO GRUESO A PARTIR DE 50%,
75% Y 100% DE RCD



Por:
Cristian Mateo Alape Esguerra
Alexandra Santos Piñeros



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN ESTUDIO
COMPARATIVO ENTRE UN CONCRETO CONVENCIONAL DE 3000 PSI Y UN
CONCRETO CON AGREGADO GRUESO A PARTIR DE 50%, 75% Y 100% DE
RCD**



Por:
Cristian Mateo Alape Esguerra
Alexandra Santos Piñeros

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional
de ingeniero civil

Aprobado por:
Ing. Emiro Andrés Lozano Perez
Director

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Fray José Gabriel Mesa Ángulo, O.P.
Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.
Vicerrector Académico General

Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.
Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Manuel Eduardo Herrera Pabón.
Decano Facultad de Ingeniería Civil

Nota de aceptación

ING. MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN
Decano Facultad Ingeniería Civil

EMIRO ANDRÉS LOZANO PÉREZ
Director Trabajo de Grado

Villavicencio, 24 de octubre de 2020

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a Dios por todas las bendiciones y oportunidades que me ha brindado durante la vida, por acompañarme y fortalecerme en los momentos difíciles, gracias por guiarme en mi camino y siempre estar conmigo.

Todo este esfuerzo va dedicado a mi madre Shirley por darme la vida, porque eres un ejemplo de lo que es nunca desistir y persistir por nuestros sueños, gracias por brindarme tu apoyo, tu amor y tu comprensión incondicional, porque nunca me abandonaste en los momentos de crisis. Gracias a tu esfuerzo he podido cumplir esta meta y etapa de la vida, porque no son solos mis metas si no nuestras.

Alexandra Santos Piñeros

Dedico esta tesis a Dios quien es el autor de la vida y el conocimiento, pues en él está la vida, todo viene de él y todo vuelve a él.

Quiero dedicar este proyecto de grado a mi familia quienes han sido siempre mi apoyo y soporte espiritual y emocional a lo largo de este proceso.

Cristian Mateo Alape Esguerra

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a mi familia y a cada persona que me motivo a nunca rendirme, a mis amigos por siempre haberme dado la mano en aquellos momentos de estrés y ansiedad, por la paciencia y el cariño que me brindaron durante toda la carrera, Mateo, David y Yeffer.

Alexandra Santos Piñeros

Agradezco en primer lugar a Dios al cual debo todo lo que tengo y lo que soy.

Agradezco el apoyo y ayuda de mis padres y hermano, personas sin las cuales no podría haber culminado este proceso, también quiero dar gracias a los miembros de la comunidad Cristiana Carismática Filadelfia.

Cristian Mateo Alape Esguerra

Finalmente agradecemos en unanimidad al Ingeniero Emiro Andrés Lozano por su paciencia e instrucción para llevar a cabo la culminación de este proyecto y ser un amigo más en este proceso profesional, a todas las autoridades y personal de la Universidad Santo Tomas por abrirnos las puertas, a todos los profesores que con sus enseñanzas y conocimientos nos hicieron crecer como profesionales día a día. Gracias...

RESUMEN

Esta investigación se inició llevando a cabo la clasificación de una muestra de RCD (Residuos de construcción y demolición) con un peso de (135.78) Kilogramos. La cual, se sustrajo de una remodelación estructural desarrollada en una edificación doméstica en el barrio Quintas de las acacias en la ciudad de Villavicencio - Meta; realizada esta actividad, se procede a realizar las mezclas en distintas dosificaciones con cemento ARGOS, reemplazando el agregado grueso de cantera, por RCD en porcentajes 50%, 75% y 100%, para un total de 36 cilindros de concreto.

Mediante los ensayos de esfuerzo a compresión y demás se determinan las propiedades mecánicas tales como la resistencia, módulo de elasticidad y la relación de Poisson. Realizado esto se llevó a cabo la comparación de dichas propiedades con el fin de establecer el porcentaje más óptimo de agregado grueso a partir de RCD con mejores características.

El agregado grueso a partir de RCD, se puede utilizar en la industria de la construcción siempre y cuando se tengan en cuenta los parámetros de la normatividad, pues este material puede ser un sustituto adecuado del convencional debido a las características similares que contiene. Sin embargo, es de suma importancia tener en cuenta que la manejabilidad de la pasta con RCD al realizar la mezcla es más complicada ya que sus partículas son heterogéneas.

Aunque el enfoque principal de esta investigación era analizar y probar el comportamiento del concreto con altos porcentajes de agregado grueso a partir de RCD para encontrar la dosificación óptima y con mejores características, los datos arrojaron que la dosificación con mayor resistencia en las tres edades analizadas (14, 28 y 56 días) ante una carga aplicada es la del 50% RCD con valores de 22.1 Mpa, 31.3 Mpa y 41.8 Mpa respectivamente, no obstante también es importante resaltar que sus resultados se ubicaron un 5,98% por encima del concreto convencional; aunque no se pueda reemplazar el 100% del agregado convencional por el reciclado, es una opción conveniente gracias a la reducción en su costo de fabricación además de sus propiedades mecánicas. En cuanto al comportamiento evidenciado en sus deformaciones tras aplicada una fuerza axial los módulos de elasticidad y la relación de Poisson, demuestran que los especímenes al ser ensayados se mantienen en un rango elástico y dentro de los parámetros establecidos.

Palabras Clave: *Concreto reciclado, residuos de construcción y demolición, resistencia, módulo de elasticidad, relación de poisson.*

ABSTRACT

This investigation was initiated by sorting a sample of RCD (Construction and Demolition Waste) with a weight of (135.78) Kilograms. Which, subtracted from a structural remodeling developed in a domestic building in the neighborhood Quintas de las acacias in the city of Villavicencio - Meta; carried out this activity, only the concrete residues were taken as a coarse aggregate to produce different concrete mixtures in different dosages, where the coarse aggregate was replaced by RCD (50%, 75% and 100%) for a total of thirty-six (36) cylinders with ARGOS cement.

The mechanical properties such as strength, modulus of elasticity and the Poisson ratio are determined by the compression stress tests and others. This was done by comparing these properties in order to establish the most optimal percentage of coarse aggregate from RCD with better characteristics.

The coarse aggregate from RCD can be used in the construction industry as long as the parameters of the regulation are taken into account, as this material can be an adequate substitute for conventional due to the similar characteristics it contains. However, it is of utmost importance to note that the manageability of the paste with RCD when making the mixture is more complicated as its particles are heterogeneous.

Although the main focus of this research was to analyze and test the behavior of the concrete with high percentages of coarse aggregate from RCD to find the optimal dosage and with better characteristics, the data showed that the dosage with the highest resistance in the three ages analyzed (14, 28 and 56 days) before an applied load is 50% RCD with values of 22.1 Mpa, 31.3 Mpa and 41.8 Mpa respectively, however, it is also important to note that its results were 5.98% higher than conventional concrete; although 100% of the conventional aggregate cannot be replaced by recycling, is a convenient option thanks to the reduction in its manufacturing cost in addition to its mechanical properties. As for the behavior evidenced in their deformations after applying an axial force the elasticity modules and the Poisson relation, demonstrate that the specimens when tested are kept in an elastic range and within the established parameters.

Key Word: *Recycled concrete, Construction and demolition waste, resistance, elasticity module, poisson ratio.*

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	14
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
3.	JUSTIFICACIÓN.....	16
4.	OBJETIVOS.....	17
4.1.	OBJETIVO GENERAL	17
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
5.	ALCANCE.....	18
6.	MARCO DE REFERENCIA	19
6.1.	MARCO TEÓRICO	19
6.1.1	Ensayo de asentamiento.....	19
6.1.2	La resistencia	20
6.1.3	Relación agua cemento.....	20
6.1.4	Características de los agregados	21
6.1.5	Fraguado y curado del concreto.....	21
6.1.6	Edad del concreto	22
6.1.7	Ensayo de resistencia a la compresión	22
6.1.8	Módulo de elasticidad.....	23
6.1.9	Ensayo del módulo de elasticidad y relación de Poisson	24
6.2.	MARCO CONCEPTUAL	24
6.2.1	Concreto.....	24
6.2.2	Cemento portland.....	25
6.2.3	Agregados.....	26
6.2.4	Residuos de construcción y demolición (RCD)	28
6.3.	ESTADO DEL ARTE.....	29
6.4.	MARCO NORMATIVO.....	33
7.	EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA	34
8.	METODOLOGÍA	35
8.1.	DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS	36
9.	ETAPA 1, CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	38
9.1.	PROCESO DE TRANSFORMACIÓN RCD	38
9.1.1	Obtención de RCD	38
9.1.2	Clasificación Manual	38
9.1.3	Triturado Manual y Mecánico	39
9.1.4	Tamizaje.....	40
9.2.	GRANULOMETRIA DE LOS MATERIALES.....	41
9.2.1	Agregado fino y grueso	41
9.2.2	Agregado RCD.....	43
10.	ETAPA 2, DISEÑO DE MEZCLA.....	46
10.1.	DISEÑO DE MEZCLA.....	46
10.2.	DOSIFICACIÓN DE MEZCLA	52
11.	ETAPA 3, FABRICACIÓN DE ESPECIMENES.....	54
11.1.	PRODUCCIÓN DE CILINDROS EXPERIMENTALES.....	54
11.2.	PROCESO DE FRAGUADO Y CURADO.....	54
12.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	55

12.1. ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS.....	55
12.2. ENSAYO MODULO ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON.....	62
12.3. ANÁLISIS DE COSTOS.....	65
13. RESULTADOS E IMPACTOS	66
14. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	68
14.1. CONCLUSIONES	68
14.2. TRABAJOS FUTUROS.....	70
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 6-1. Clasificación de los Agregados según su tamaño	26
Tabla 6-2. Clasificación de los agregados según su densidad.....	27
Tabla 6-3. Clasificación de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) ...	28
Tabla 6-4. Resistencia al esfuerzo de la compresión; promedio de tres probetas por edad de acuerdo con la NTC 1377 (ASTM C192).....	29
Tabla 6-5. Precios unitarios para la elaboración de Concreto con agregados a partir de RCD	30
Tabla 6-6. Resistencias diferentes para distintas proporciones de material reciclado	31
Tabla 6-7. Normatividad	33
Tabla 7-7-1. Equipo de Investigación	34
Tabla 8-1. Fabricación de Especímenes	37
Tabla 9-1. Granulometría de Agregado Fino	41
Tabla 9-2. Granulometría de Agregado Grueso	42
Tabla 9-3. Caracterización de Agregado Fino	42
Tabla 9-4. Caracterización de Agregado Grueso	43
Tabla 9-5. Granulometría de Agregado Grueso RCD	43
Tabla 9-6. Comparación Curva Granulométrica de agregado grueso de Cantera respecto a RCD.....	44
Tabla 9-7. Caracterización de Agregado Grueso de RCD	45
Tabla 10-1. Propiedades del Cemento	46
Tabla 10-2. Propiedades de los Agregados	46
Tabla 10-3. Resistencia Requerida	46
Tabla 10-4. Contenido de Aire Atrapado	47
Tabla 10-5. Volumen Unitario de Agua	47
Tabla 10-6. Relación Agua/Cemento por Resistencia.....	48
Tabla 10-7. Peso del Agregado Grueso por Unidad de Volumen del Concreto ...	49
Tabla 10-8. Proporción del diseño de mezcla Convencional.....	51
Tabla 10-9. Proporción del diseño de mezcla 50% RCD	51
Tabla 10-10. Proporción del diseño de mezcla 75% RCD	52
Tabla 10-11. Proporción del diseño de mezcla 100% RCD	52
Tabla 10-12. Volumen total de concreto para especímenes	52
Tabla 10-13. Mezcla de concreto convencional	53
Tabla 10-14. Mezcla de concreto con 50% RCD.....	53
Tabla 10-15. Mezcla de concreto con 75% RCD.....	53
Tabla 10-16. Mezcla de concreto con 100% RCD.....	53
Tabla 12-1. Promedio de resultados de ensayo a compresión.....	55
Tabla 12-2. Resultado Promedio de todas las mezclas para el ensayo a	56
Tabla 12-3. Resultado Promedio de todas las mezclas para el ensayo a	57
Tabla 12-4. Resultado Promedio de todas las mezclas para el ensayo a	58
Tabla 12-5. Mosaico de Fallas obtenidas a Compresión.....	62
Tabla 12-6. Relación de Poisson a los veintiocho días (28) de edad	64
Tabla 12-7. Comparación Modulo De Elasticidad Teórico Vs Experimental	65
Tabla 12-8. Comparación costos de mezclas para 1m ³ de concreto	65

Tabla 13-1. Resultados esperados del trabajo investigativo	66
Tabla 13-2. Impactos obtenidos del trabajo investigativo	67

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 6-1. Clasificación del concreto según su consistencia	20
Ilustración 6-2. Resistencia a la Compresión en función de A/C	21
Ilustración 6-3. Esfuerzo en función de la deformación unitaria	24
Ilustración 6-4. Resistencia al Esfuerzo de la Compresión	30
Ilustración 6-5. Resistencia a la Compresión de Diferentes tipos de Mezcla	31
Ilustración 8-1. Metodología de la Investigación.....	35
Ilustración 8-2. Composición en peso de los RCD	36
Ilustración 9-1. Muestra Fotográfica de obtención del material	38
Ilustración 9-2. Muestra fotográfica clasificación manual RCD.....	39
Ilustración 9-3. Proceso de triturado manual del material	39
Ilustración 9-4. Proceso de triturado mecánico del material	40
Ilustración 9-5. Muestra de RCD triturada lista para ser tamizada	40
Ilustración 9-6. Curva granulométrica Agregado Fino	41
Ilustración 9-7. Curva granulométrica Agregado Grueso	42
Ilustración 9-8. Curva granulométrica Agregado Grueso RCD.....	44
Ilustración 9-9. Comparación Curva Granulométrica de agregado grueso de Cantera respecto a RCD.....	45
Ilustración 12-1. Comparación de resistencias promedio a compresión	55
Ilustración 12-2. Análisis de Resistencia a compresión a los 14 días	56
Ilustración 12-3. Análisis de Resistencia a compresión a los 28 días	57
Ilustración 12-4. Análisis de Resistencia a compresión a los 56 días	58
Ilustración 12-5. Análisis de Resistencia a compresión de las Mezcla.....	59
Ilustración 12-6. Simulación porosidad del concreto	60
Ilustración 12-7. Patología de porosidad en muestra de espécimen	60
Ilustración 12-8. Análisis del incremento de la relación A/C	61
Ilustración 12-9. Fallas producidas en el ensayo a compresión para probetas	61
Ilustración 12-10. Módulo de elasticidad a los veintiocho días (28) de edad.....	63
Ilustración 12-11. Módulo de elasticidad para todas las mezclas.....	63

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un país se puede relacionar con la producción del concreto, debido a que es un material con alta demanda que contribuye con el progreso social y económico de las ciudades a través de las construcciones que mejoran la calidad de vida de las personas. Es uno de los materiales más importantes que se utilizan en el área de la construcción debido a sus características propicias durables, versátiles, rentables, disponibles, y su alta resistencia a la compresión.

El concreto al ser uno de los materiales más utilizados, genera una gran demanda de explotación de recursos naturales, teniendo la consecuencia de poder agotar en cierta forma la reserva de los mismos y aumentar el costo en cuanto a su producción [1]. La magnitud del problema ha presentado múltiples métodos que pretenden mitigar el impacto con el reciclaje de este material ya utilizado en las construcciones, implementando los residuos como componente principal al reemplazar algún agregado natural en la producción de la mezcla y así reducir en cierta medida el consumo de energía y los recursos naturales disponibles [2].

La generación de escombros procedentes de construcciones y demoliciones (RCD) se han convertido en un problema de contaminación ambiental, saturando así los sitios de acopio residuales con materiales de obra civil como, el parque ecológico reciclante que se encuentra ubicado en la vereda Juan Bosco km 18 vía puerto Porfía; contemplando esta problemática se han implementado varios mecanismos para el reciclaje de residuos de demolición en la ingeniería, donde se realizan estudios de las propiedades y su uso en concreto estructural a partir de mezclas que contienen otros desechos de materiales, estos varían según el tipo de material con el que se haya construido la estructura destruida.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál será el comportamiento mecánico y físico de un concreto elaborado con material RCD como reemplazo del agregado grueso en comparación de un concreto convencional de 3000 psi?

La ciudad de Villavicencio ha venido creciendo en gran manera los últimos años, se puede resaltar que se están desarrollando varios proyectos constructivos de vías y edificaciones tanto por entidades privadas como públicas. Esto se evidencia en las estadísticas del DANE con respecto al censo de edificaciones en el sector constructivo en donde afirma que para el 2015 el área urbana aumento un 66,4% en comparación al 2014 esto indica que hay un comportamiento positivo de crecimiento en el número de obras culminadas y en proceso [3].

Cabe resaltar que en el incremento de la construcción de edificaciones se generan residuos que hacen parte de los contaminantes atmosféricos como partículas en suspensión como polvos minerales (cemento, caliza, carbón, cenizas) también parte de estos contaminantes provienen de la minería a cielo abierto que son utilizados para la fabricación del concreto.

La explotación a cielo abierto de las canteras que proveen a las concreteras de material grueso y fino afecta el medio ambiente por la remoción del suelo superficial lo cual afecta la estabilidad del subsuelo y el paisaje el cual alberga diferentes ecosistemas y especies además del costo que tiene este tipo de explotación [4].

Estos Residuos de Construcción y Demolición serán utilizados para reemplazar el agregado grueso en una nueva mezcla de concreto, de esta manera poder analizar el comportamiento físico y mecánico de este. Se medirá el módulo de elasticidad, resistencia a compresión, granulometría de los agregados y ensayos de asentamiento, fraguado y curado.

3. JUSTIFICACIÓN

Al utilizar el RCD como material de agregado grueso minimiza el impacto ambiental que se genera por la acumulación residuos contaminantes en donde se aglomeran bacterias que afectan la salud pública además de modificar negativamente el paisajismo de la ciudad, por lo tanto, se propone darle uso como material para nuevas edificaciones [5].

Esta propuesta no solo ayuda a eliminar la acumulación de residuos sino también permite la reducción de los costos por consumo de energía en transporte y producción de agregados, lo cual influye en la disminución de las partículas de polvo contaminantes que se generan por la minería a cielo abierto para la extracción de agregados gruesos y finos, esto se ve reflejado en la calidad del aire y mejora cuanto a calidad de vida

Por otra parte, el concreto con agregados reciclados a partir de RCD reduce los costos de producción lo cual hace factible la construcción de estructuras de complejidad baja como casas de interés social, sardineles, andenes y demás que no tienen requerimientos técnicos rigurosos, beneficiando a diferentes tipos de comunidades, además este concreto tiene ventajas relacionadas con la longevidad lo cual implica sostenibilidad en el tiempo, esto se ve reflejado en la reducción de costos por remodelación y mantenimiento. Esta investigación atrae el interés de entidades tales como el gobierno que actualmente impulsa el desarrollo social, calidad de vida y económico mediante proyectos relacionados con la construcción de viviendas de bajo costo y concreteras que quieran ofrecer opciones de calidad a un precio asequible [5].

Este proyecto pretende hacer uso de los materiales residuales de construcción reemplazando el agregado grueso en diferentes porcentajes en mezclas de concreto y compararlo con un concreto convencional de 3000 psi que dependiendo sus propiedades se determinara en que puedan ser utilizado mitigando el impacto ambiental que estos contaminantes tienen sobre la salud humana y el medio ambiente [6].

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades físicas y mecánicas de un concreto con agregado grueso a partir de residuos de construcción y demolición (RCD) en tres diferentes proporciones (50%, 75%, 100%), para comparar su desempeño con respecto a un concreto convencional de 3000 psi.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Clasificar el material útil como agregado grueso de la muestra de residuos de construcción y demolición.
- Fijar las cantidades del diseño de mezcla de concreto variando el porcentaje de RCD.
- Determinar el módulo de elasticidad del concreto y la relación de Poisson, de acuerdo a la norma NTC 4025.
- Comparar el desempeño y costos del concreto convencional frente al concreto con agregado grueso a partir de RCD, a partir de las propiedades físicas y mecánicas obtenidas.

5. ALCANCE

Esta investigación se llevará a cabo en la ciudad de Villavicencio en los laboratorios de la Universidad Santo Tomas, a partir de la elaboración de 36 especímenes de los cuales 9 tendrán agregado convencional en su diseño de mezcla y 27 tendrán agregado grueso a partir de RCD (50%, 75%, 100%), pues la mayoría de las investigaciones de este tema abarcan porcentajes del 10% 25%, 50%, y no porcentajes entre el 50% y 100%; para la mezcla de agregado grueso a partir de RCD, se clasificara residuos, a fin de identificar la composición porcentual de los escombros de acuerdo con la actividad de demolición. Los entregables de esta investigación se llevarán a cabo de acuerdo a las normativas nacionales e internacionales relacionadas con las especificaciones de los agregados del concreto, Determinar la consistencia normal del concreto, Elaboración y curado de especímenes de concreto, Ensayo de la resistencia a compresión, Ensayo para determinar el módulo de elasticidad y relación de Poisson. A partir de los resultados obtenidos de dichas pruebas se analizarán las propiedades mecánicas y físicas, para determinar las diferencias entre el concreto convencional y el que contiene agregados gruesos a partir de RCD.

Una vez determinado el comportamiento físico mecánico del concreto con agregado RCD se propone su uso estructural o mampostería. De acuerdo al desempeño de este material y su aplicabilidad se plantea como una propuesta alternativa para empresas productoras de concreto y también para entidades que usan este material en grandes cantidades con proyectos que se sujetan a la economía, calidad y durabilidad. No obstante, este proyecto también apunta hacia las futuras investigaciones relacionadas con la mejora, optimización y ventajas del uso de los RCD para la mezcla de concreto.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO TEÓRICO

El concreto se analiza en estado fresco y endurecido, en ambas etapas se realizan laboratorios para conocer su comportamiento, en este caso la manejabilidad es una característica que se conoce en estado fresco la cual se puede medir a través de los siguientes conceptos [7].

6.1.1 Ensayo de asentamiento

Este ensayo se realiza por medio del cono de Abrams permite conocer el grado de fluidez del concreto en estado plástico, es decir cuan fluida o espesa es la mezcla de concreto y tiene por objetivo medir su consistencia.

El ensayo consiste en sujetar fuerte el cono de Abrams sobre una superficie plana horizontal presionando de tal manera que no tenga la posibilidad de salirse el material por la parte inferior, luego este se llena en tres etapas del concreto a estudiar, cada una de las tres veces el concreto se deben dar 25 golpes por toda el área para reducir el aire con una varilla de 60 cm de longitud y 16 mm de diámetro. Luego se elimina el exceso con un palustre o la misma varilla de manera que la superficie del cono quede nivelada, lo siguiente es levantar de manera vertical y cuidadosamente el cono de manera que este no altere la muestra. Una vez hecho esto se procede a medir cuánta fue la diferencia entre la altura del cono y el asentamiento que tuvo la mezcla. La norma que estipula el procedimiento de este ensayo es la NTC 396 y ASTM C143.

Este ensayo a fin de cuentas permite conocer la variación de los materiales además de verificar los tamaños de partícula que pueden ser perjudiciales para el concreto.

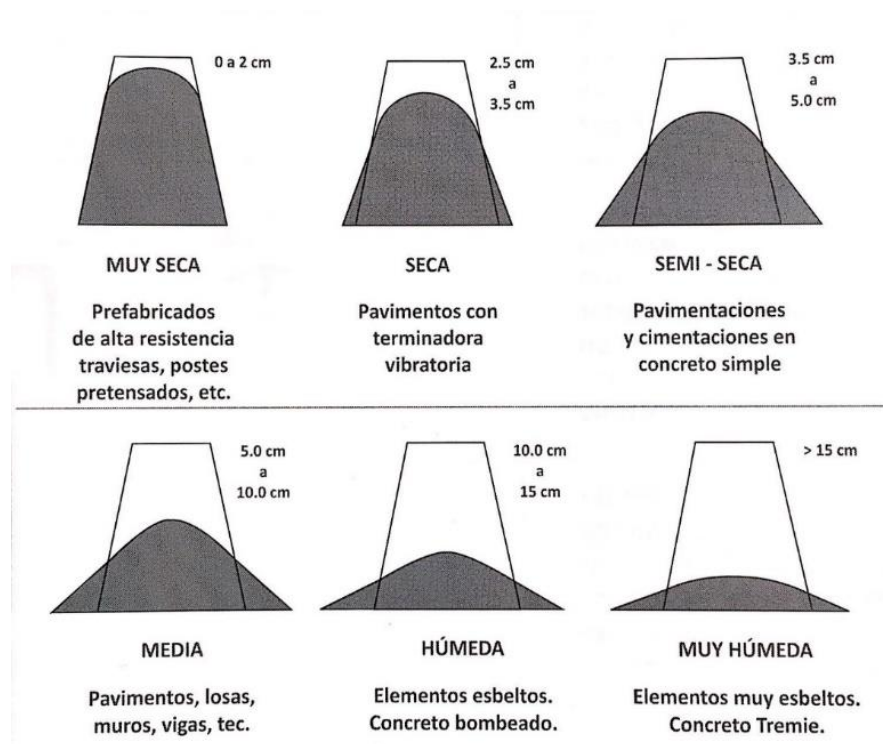


Ilustración 6-1. Clasificación del concreto según su consistencia

Fuente: Tecnología del Concreto, Tercera edición [7]

6.1.2 La resistencia

Es la capacidad del concreto de resistir esfuerzos los cuales se pueden presentar de cuatro formas: compresión, tracción, flexión y corte. La más importante de ellas es la compresión debido a que el concreto es más resistente en este aspecto y débil en los demás, no obstante, el concreto que está debajo de los 6000 psi a sus 28 días edad en la que adquiere su mayor resistencia se considera un concreto de resistencia normal, y los que están por encima de este margen son de alta resistencia [8].

El concreto se ve afectado si alguna de sus propiedades se altera por ejemplo su relación agua cemento, contenido o tipo de cemento, características de los agregados, Fraguado, Curado, Edad.

6.1.3 Relación agua cemento

Esta es una de las propiedades del concreto más importantes e influye directamente en el resultado de una resistencia adecuada, ya que está relacionada con la cantidad de agua que se le agrega a la mezcla la cual es capaz de activar el cemento formando la pasta que une los agregados. Cuando a este aspecto no se le brinda importancia se puede cometer el error de adicionar más agua de lo suficiente, lo que puede ser perjudicial para el concreto puesto que si el agua aun después de

evaporarse sigue concentrada en pequeños depósitos de partículas hacen más poroso el concreto y disminuyen directamente su resistencia [9].

De acuerdo con lo anteriormente mencionado se han desarrollado graficas que demuestran que a mayor relación agua cemento disminuye la resistencia del concreto a compresión:

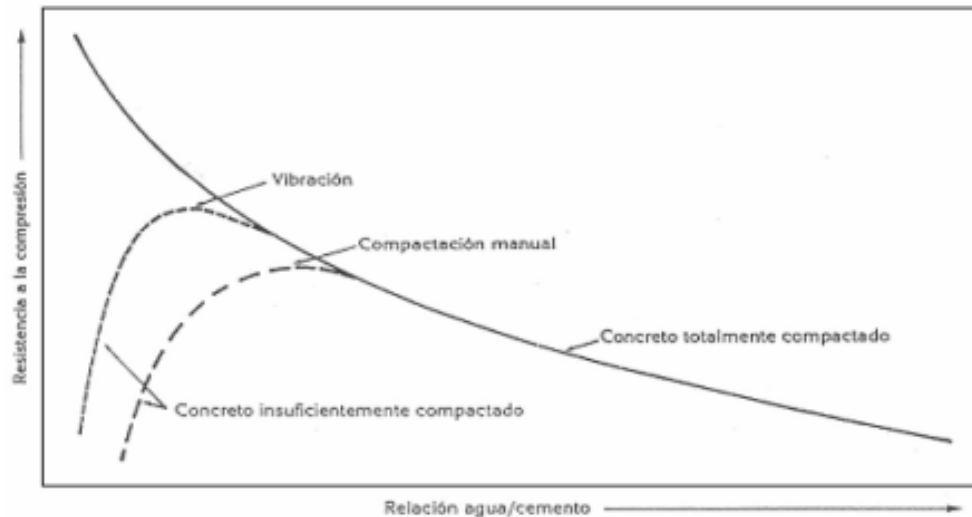


Ilustración 6-2. Resistencia a la Compresión en función de A/C

Fuente: Tecnología del Concreto, Tercera edición [7]

6.1.4 Características de los agregados

En la elaboración de la mezcla del concreto se puede apreciar claramente que los agregados con forma angular o rugosa ayudan a aumentar la resistencia debido a que su forma permite un mayor agarre de las partículas mucho mejor que si estas se presentaran de manera circular y lisa.

Entre más parejo sea el tamaño de los agregados tendrá una buena densidad de dicho material que aportara resistencia al concreto.

Dentro de la caracterización de la granulometría de los agregados influye bastante el tamaño de los agregados de acuerdo a estudios realizados se ha demostrado que si se requiere mayor resistencia del concreto este debe tener un tamaño máximo de agregado menor que el utilizado para desarrollar un concreto de menor resistencia.

6.1.5 Fraguado y curado del concreto

La temperatura del medio ambiente afecta la rapidez con que el concreto adquiere su resistencia mecánica, por ejemplo en climas fríos el proceso de fraguado es mucho más lento y el calor de hidratación se pierde lo que hace que la mezcla se tarde más en adquirir la resistencia, por otra parte, en climas cálidos el proceso sufre una madurez muy temprana pero al séptimo día disminuye su resistencia debido a

que se produce una hidratación superficial de los granos de cemento los cuales aparentan formar una pasta la cual realmente es probablemente porosa y pobre.

Dentro de un periodo de por lo menos 7 días el concreto debe permanecer a una temperatura de más o menos 23 a 32°C (depende de la resistencia del concreto). Este proceso es conocido como curado el cual tiene por objetivo mantener y cuidar el medio ambiente en el que el concreto adquiere madurez se relaciona directamente con la temperatura puesto que el concreto es susceptible a cambios bruscos a nivel químico lo que puede producir, por ejemplo, una aceleración innecesaria del proceso de hidratación que puede resultar en resistencias desfavorables posteriormente como también una mala hidratación del concreto afecta la participación activa de todas las partículas del cemento aportando a la resistencia.

Este proceso se realiza cubriendo el concreto con algún tipo de material como las membranas protectoras o los compuestos curadores de factores, a manera de temperatura y humedad del medio. El curado debe realizarse por lo menos hasta que el concreto haya adquirido como mínimo el 70% de su resistencia.

6.1.6 Edad del concreto

Según estudios el concreto adquiere su resistencia de diseño a los 28 días para un concreto de condiciones normales, sin embargo, para concretos de alta resistencia su máxima capacidad se puede presentar hasta los 56 a 90 días debido a que pasados el día 28 su crecimiento de resistencia es significativo mientras que en los anteriores no.

Por otra parte, los concretos con altas resistencias son más susceptibles al agrietamiento debido a que su contracción por fraguado es mucho mayor, pero al ser más densos les permite ser más resistentes al intemperismo y menos permeables.

6.1.7 Ensayo de resistencia a la compresión

El procedimiento para este ensayo está estipulado por las normas ASTM C39, ASTM C31, NTC 550 y NTC 673. El ensayo consiste en medir la resistencia a la compresión del concreto colocando un espécimen cilíndrico a determinada edad en una prensa hidráulica la cual ejerce una carga a cierta velocidad especificada hasta el momento en que falla. El valor de dicha falla queda registrado en un panel digital que tiene la máquina este proceso puede durar alrededor de 2 a 3 minutos una vez obtenida la carga en la que el cilindro falla esta se divide por el área de la sección transversal dando como resultado el esfuerzo de rotura del concreto.

$$f_c = \frac{P_{max}}{\text{Área}}$$

Ecuación 6-1. Resistencia a la Compresión

Donde:

P_{max} es la carga máxima aplicada sobre la muestra de concreto.

Área es el área transversal donde se aplica la carga.

Para concretos de resistencias normales es común que este dentro de los 21 y 28 Mpa lo que equivalente a 3000 y 4000 Psi. Las muestras cilíndricas son afectadas por la fricción de los platos de la máquina, lo que en algunos casos no corresponde a la resistencia a la compresión simple, si se realizan ensayos con diferentes geometrías tales como cubicas, prismática, etc. Con la misma mezcla los resultados varían entre sí para esto se puede aplicar la corrección de la resistencia del cilindro.

- Cuando el medio en que se realiza el curado de los cilindros presenta altas temperaturas tiende adquirir un crecimiento notable de resistencia hasta los 7 días luego incrementa en un bajo nivel lo cual es peligroso puesto que puede llegar a los 28 días sin cumplir con la resistencia esperada.
- En la primera parte del curado se debe mantener una humedad adecuada para evitar que la resistencia en edades próximas no sea baja.
- Se puede perder alrededor del 10% de la resistencia del concreto si los especímenes son expuestos a altas temperaturas en las primeras 24 horas.
- Los factores que afectan la resistencia a la compresión son las dimensiones del espécimen, la máquina de ensayo, velocidad de carga y la forma.

6.1.8 Módulo de elasticidad

Conocido como el módulo de Young, indica la relación entre el incremento de los desplazamientos denominada deformación unitaria y los esfuerzos producidos por la carga a la cual está sometido el elemento. El cual se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{d\sigma}{d\epsilon}$$

Ecuación 6-2. Módulo de Elasticidad

En el concreto la primera etapa de deformaciones se conoce como zona elástica donde el comportamiento es lineal lo que quiere decir que al ser descargado regresara a su condición inicial o por lo menos muy cercana a esta, este límite se encuentra entre el 40% y 45% de F'_c , cuando el esfuerzo sigue aumentando sobrepasando el umbral de la zona elástica entra en una zona conocida como plástica donde el concreto resiste el esfuerzo generado por la carga pero sus deformaciones unitarias se vuelven permanentes en esto punto interiormente se producen micro fisuras, y por ultimo si la carga aumenta el espécimen falla.

Conocer el módulo de elasticidad es importante puesto que dicha característica del concreto afecta directamente en las derivas (desplazamientos de la estructura), deflexiones y rigidez de la estructura, además de estimar el comportamiento de la estructura frente a un sismo y conocer hasta qué punto el concreto resiste los esfuerzos ejercidos por la carga.

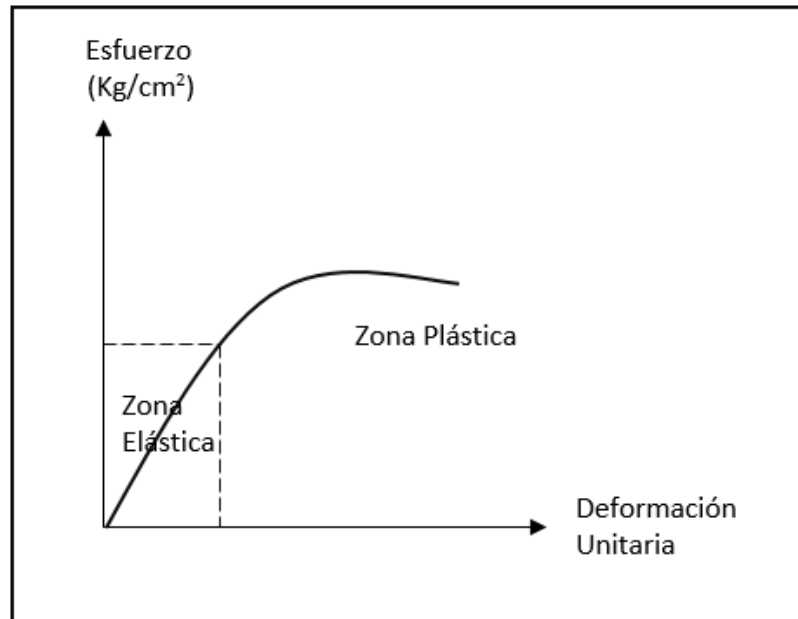


Ilustración 6-3. Esfuerzo en función de la deformación unitaria
Fuente: Concreto Argos S.A

6.1.9 Ensayo del módulo de elasticidad y relación de Poisson

Este ensayo consiste en la medición de las deformaciones verticales (para el módulo de elasticidad) y horizontales (relación de Poisson) que un espécimen cilíndrico de concreto presenta cuando es sometido hasta una carga límite de 40% de F'_c mediante una prensa hidráulica la cual va incrementando poco a poco la carga hasta alcanzar dicho límite a través del cual se logra la obtención de los desplazamientos.

6.2. MARCO CONCEPTUAL

6.2.1 Concreto

También llamado hormigón, es una mezcla de materiales unidos por cemento el cual es un aglutinante (es decir que mantiene unida la forma), dentro de esta mezcla también encontramos agregados, aditivos y agua los cuales conforman un sólido compacto para soportar las cargas.

La proporción aproximada por volumen de cada uno de los componentes del concreto es:

Cemento: 7 a 15%

Agua: 16 a 21%

Aire: 0,5 a 3%

Agregados: 56 a 81%

6.2.2 Cemento portland

Gracias al avance tecnológico de los últimos años se puede producir concreto de acuerdo a las necesidades del entorno de trabajo y las propiedades adecuadas para cumplir su labor en diferentes actividades.

El cemento portland es una mezcla de materiales minerales que tienen la capacidad de unir los fragmentos minerales de los agregados finos y gruesos del concreto, tiene la propiedad que le permite fraguar y endurecer en presencia del agua, en un proceso químico que se denomina hidratación [10].

6.2.2.1 Clasificación

En la actualidad se fabrican diferentes tipos de cemento. La norma NTC 30 estipula once clases que se agrupan en 5 principales:

Cemento Portland tipo 1: De uso general este cemento es destinado para obras en donde el concreto no esté expuesto a factores agresivos que deterioren sus propiedades físicas y químicas por ejemplo el ataque de sulfatos, aumento significativo de temperatura. Algunos de sus usos incluyen: Estructuras de vías férreas, Depósitos, Tanques, tubería, mampostería, edificios en concreto reforzado, Pavimentos y Pisos.

Cemento Portland tipo 2: Este cemento sirve en condiciones donde haya presencia moderada de sulfatos o niveles freáticos ricos en dicho compuesto, los cuales al entrar en contacto con el cemento crea un compuesto que tiende a ocupar volumen lo que genera esfuerzos internos que pueden llegar a desintegrar la mezcla. Este cemento ayuda a reducir el aumento de temperatura lo cual es favorable en temperaturas cálidas.

Cemento Portland tipo 3: Este cemento adquiere altas resistencias a una edad temprana aproximadamente una semana o menos lo cual es usado en casos en donde se necesite ahorrar tiempo.

Cemento Portland tipo 4: Es usado generalmente en presas grandes por gravedad o estructuras de concreto masivo. Su propiedad principal es que mantiene la cantidad de calor y la velocidad de hidratación.

Cemento Portland tipo 5: Al igual que el concreto tipo 2 resiste el alta de concentración de sulfatos del medio ambiente ya sea en los suelos o el nivel freático,

lo que hace que este cemento adquiera lentamente su resistencia. Es débil contra las soluciones acidas y sustancias altamente corrosivas.

6.2.3 Agregados

Son cualquier tipo de material solido que ocupa la mayor proporción en la mezcla de concreto pues hace lo hace más económico, aporta resistencia mecánica, se encarga de controlar cambios volumétricos que se dan durante el proceso de fraguado o por los cambios en la humedad. Principalmente pueden ser gravas y arenas que dependiendo su mineralogía pueden alterar las propiedades del concreto [8].

Para poder clasificarlos existen dos tipos arenas y gravas depende de su tamaño las arenas o finos van desde los 4,76 mm a 0,075mm mientras que las gravas o gruesos van desde los 4,76 mm en adelante.

6.2.3.1 Clasificación de los agregados

Según su procedencia: los agregados provienen de distintas fuentes o lugares por ejemplo se encuentran en Glaciares, arrastres fluviales, piedras naturales, piedras naturales y diversas rocas.

Según su tamaño: Se clasifican los agregados mediante la granulometría que es la distribución del material por su tamaño:

Tabla 6-1. Clasificación de los Agregados según su tamaño

Tamaño de las partículas en mm (Tamiz)	Denominación corriente	Clasificación como agregado para concreto
< 0,002	Arcilla	Fracción muy fina
0,002 – 0,074 (No. 200)	Limo	
0,075 – 4,76 (No. 200) - (No. 4)	Arena	
4,76 – 19,1 (No.4) – (3/4")	Gravilla	Agregado Fino
19,1 – 50,8 (3/4") – (2")	Grava	
50,8 – 152,4 (2") – (6")	Piedra	
>152,4 (6")	Rajón	
	Piedra boa	

Fuente: Tecnología del Concreto, Tercera edición [7]

Según su densidad: Se la relacionan por la cantidad de volumen que ocupa su masa mediante la siguiente tabla sirve para agregados artificiales y naturales.

Tabla 6-2. Clasificación de los agregados según su densidad

Clasificación del agregado	Masa unitaria aproximada (Kg/m ³)		Variedades más comunes de agregados	Ejemplos de uso
	Del agregado	Del concreto		
Liviano	480-1300	13-100 500-1350	Pizarras expandidas, esquistos, escoria, arcilla	Concretos livianos estructurales
Normal	1300-2000	2000-2500	Arena, grava, piedra triturada, Clinker, escoria de fundación	Obras en concreto en general arena, grava, piedra
Pesado	2000-5600	>2500	Barrita, limonita, magnetita, limadura de acero, hematita	Concreto para macizos de anclaje, para protección contra radiaciones, etc

Fuente: Tecnología del Concreto, Tercera edición [7]

6.2.3.2 Propiedades de los agregados

Carácter de trabajo: En el ámbito de la ingeniería muchos son los usos del concreto y para dependiendo cada caso debe tener ciertas características por ejemplo el concreto utilizado para el pavimento los agregados deben tener bastante resistencia a la flexión, por otra parte, en las presas el concreto debe tener propiedades que ayuden a mantener el calor de hidratación y absorción de agua. Esto quiere decir que parte de la eficiencia que desarrolla el concreto se debe gracias a la calidad de los agregados [10].

Condiciones Climáticas: De acuerdo a la mineralogía de los agregados se determina que tan resistentes son estos a las condiciones climáticas que algunos casos pueden ser agresivas deteriorando o rompiendo el material.

Factores que afectan la Durabilidad: ya que el principal factor resistente a la erosión y la abrasión del concreto son los agregados estos juegan un papel importante frente a las condiciones en contacto con el agua.

Economía: para seleccionar los agregados del concreto es necesario tener los siguientes aspectos que pueden influir en el costo de producción.

- Según la facilidad y velocidad con la que el agregado afecte la colocación se debe justificar el precio.

- De acuerdo al grado de deterioro del concreto se determina el costo de los agregados además del mantenimiento que se requiere.
- Según la calidad del concreto se determina el costo del agregado.
- De acuerdo con las medidas de diseño del concreto por ejemplo las juntas.
- El uso del concreto pobre o de baja calidad puede ser utilizado en algunos casos donde puede tener mayor durabilidad.

6.2.4 Residuos de construcción y demolición (RCD)

Proviene de la destrucción de obras civiles (ferrocarril, canal, aeropuerto, presas, instalaciones deportivas y demás) las cuales se convierten en agentes de impacto negativo pues afectan el paisajismo y la estética visual, además del daño ambiental que producen dichos materiales. Dentro de estos desechos existen diversos materiales que pueden clasificarse de acuerdo a las cantidades representativas, tales como: material asfáltico, productos cerámicos, residuos de hormigón y en menor proporción de otros componentes como vidrio, plásticos, madera, etc. Las dos grandes clasificaciones de este son escombros de hormigón, escombros mixtos o cerámicos [11].

Tabla 6-3. Clasificación de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

CATEGORÍA	GRUPO	CLASE	COMPONENTES
A. RCD APROVECHABLES	I. Residuos Mezclados	Residuos Pétreos	Concreto, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, baldosín, mortero
		Residuos Finos no Expansivos	Arcilla, limos y residuos inertes, poco o no plásticos
	II. Residuos de Material Fino	Residuos Finos Expansivos	Arcillas y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos
		Residuos No Pétreos	Plásticos, PVC, maderas, cartones, papel, silicona, vidrios, cauchos
		Residuos de Carácter Metálico	Acero, hierro, cobre, aluminio, estaño y zinc
	III. Otros Residuos	Residuos Orgánicos de Pedones	Residuos de tierra negra
		Residuos Orgánicos de Cespedones	Residuos Vegetales y otras especies Bióticas

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
B. RCD NO APROVECHABLES	IV. Residuos Peligrosos	Residuos corrosivos, reactivos, radioactivos, explosivos	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, resinas, etc

Fuente: Fabio Andrés Lizaraso Guacaneme [12]

6.3. ESTADO DEL ARTE

Título 1: El Concreto con Agregados Reciclados como Proyectos de Sostenibilidad
Universidad: Universidad Nacional Colombia, Universidad Internacional Iberoamericana.

Autor: Carlos Bedoya; Luis Dzu

Año: 2015

Esta investigación afirma que el porcentaje ideal para un concreto de agregado RCD en comparación con un diseño de mezcla convencional es del 25%, pues en este punto las características de la resistencia a compresión son similares, este resultado es relativo dependiendo las condiciones del medio en que se desarrollaron los laboratorios como la humedad, temperatura, calidad y cuidado del procedimiento para garantizar una madurez correcta de los especímenes, esto para un concreto de 26 Mpa, o 3770 psi [6].

Tabla 6-4. Resistencia al esfuerzo de la compresión; promedio de tres probetas por edad de acuerdo con la NTC 1377 (ASTM C192)

Mezcla	Resistencia al esfuerzo de la compresión en MPa					
	3 días	7 días	14 días	28 días	56 días	91 días
0-R	11.35	15.60	19.26	23.51	26.84	27.39
25-R	11.15	15.33	18.90	22.91	26.35	26.83
50-R	10.82	14.93	18.55	22.28	25.71	25.93
100-R	10.10	13.89	17.33	20.33	21.92	23.02

Fuente: Carlos Bedoya; Luis Dzul

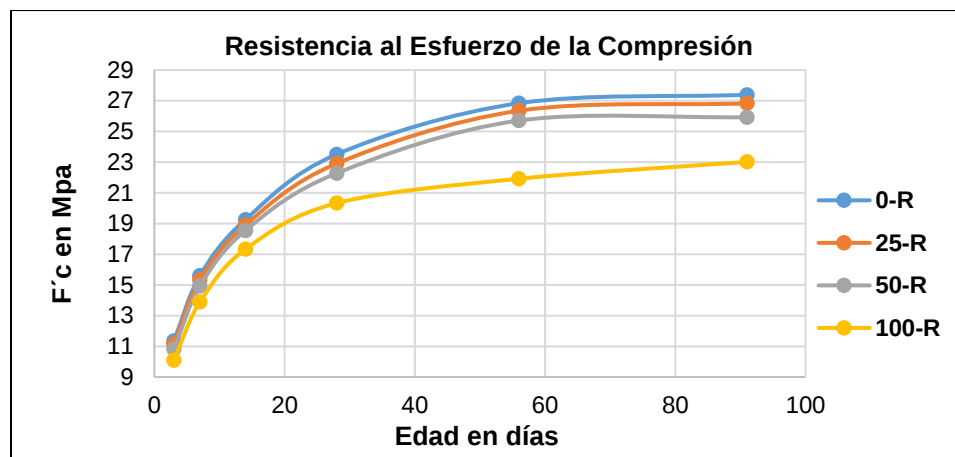


Ilustración 6-4. Resistencia al Esfuerzo de la Compresión
Fuente: Carlos Bedoya; Luis Dzul

Esta investigación realizó un análisis de costos con una fábrica en Medellín para la producción de un metro cubico de concreto teniendo en cuenta que el agregado reciclado es un 65% más económico que el natural. Dando como resultado un ahorro significativo en comparación del concreto tradicional en la producción unitaria de un metro cubico de concreto a partir de RCD, aproximadamente de 1 dólar lo cual es importante a gran escala.

Tabla 6-5. Precios unitarios para la elaboración de Concreto con agregados a partir de RCD

Ítem	0-R USD/m ³	25-R USD/m ³	50-R USD/m ³	100-R USD/m ³
Agregado Fino	9.53	8.55	7.89	6.01
Agregado Grueso	9.01	8.01	7.04	5.46
Cemento	77.33	78.87	8.066	83.27
Agua	0.081	0.087	0.091	0.098
Preparación	12.55	12.55	12.55	12.55
Total	108.50	108.08	108.23	107.39

Fuente: Carlos Bedoya; Luis Dzul

Título 2: Viabilidad en la elaboración de prefabricados en concreto usando agregados gruesos reciclados.

Universidad: Universidad Católica de Colombia, Bogotá – Colombia.

Autor: Gonzalo Alfonso Agreda; Ginna Lizeth Moncada.

Año: 2015

En este ensayo varía del anterior la resistencia óptima según el porcentaje de agregados reciclados añadido para este caso el 70% de gravas recicladas es tan resistente como el convencional, además en el tiempo de desarrollo de la muestra se evidencia que la mezcla con 70% de material reciclado tiene una mayor madurez

o adquiere mayor resistencia a los 14 días por encima del concreto convencional lo cual es favorable en caso de ser necesaria la rápida madurez en una obra [13].

Tabla 6-6. Resistencias diferentes para distintas proporciones de material reciclado

Resistencia Promedio 21 Días de Curado			
Tipo de Mezcla	Esf. Prom (Kg/ cm ²)	Esf. Prom (Psi)	Esf. Prom (MPa)
Convencional	345.84	4917.85	34.58
70% Grava Reciclada	349.09	4964.08	34.91
50% Grava Reciclada	299.00	4251.84	30.87
25% Grava Reciclada	287.87	4093.65	28.79

Fuente: Gonzalo Alfonso Agreda; Ginna Lizeth Moncada

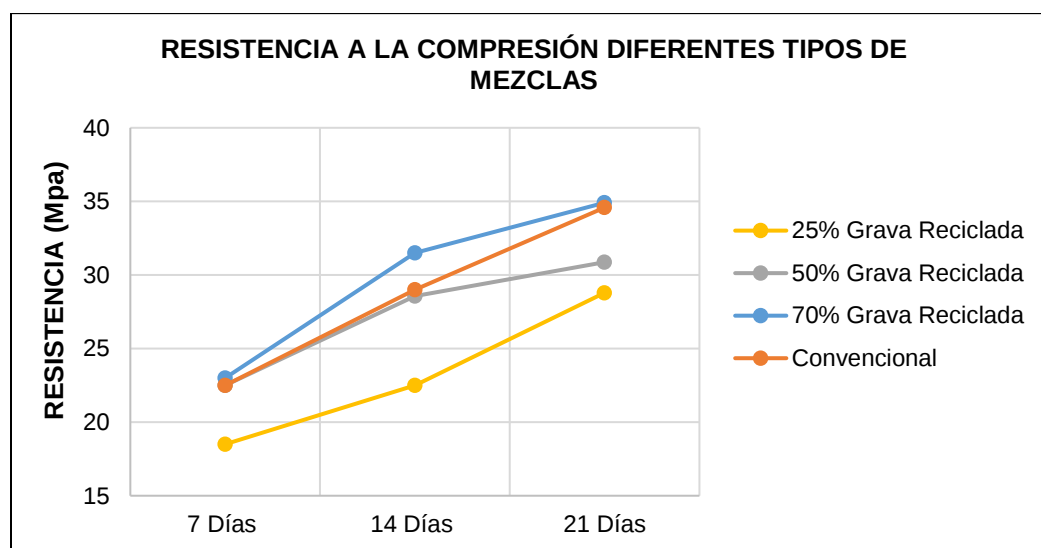


Ilustración 6-5. Resistencia a la Compresión de Diferentes tipos de Mezcla

Fuente: Gonzalo Alfonso Agreda; Ginna Lizeth Moncada

Título 3: Influence of mixed recycled aggregate on the physical e mechanical properties of recycled concrete

Universidad: Escuela de Ingeniería, Departamento de Construcción, Universidad de Extremadura, Cáceres – España; Escuela de Ingeniería, Universidad del Oeste de Escocia, Reino Unido; Instituto "Eduardo Torroja" de Ciencias de la Construcción, Madrid – España

Autor: César Medina, Wenzhong Zhu, Torsten Howind, María Isabel Sánchez de Rojas, Moisés Frías.

Año: 2013

De acuerdo con esta investigación la consistencia de los hormigones reciclados no se ve afectada por reemplazo de agregado natural con agregado reciclado mixto.

La densidad saturada y el rendimiento mecánico de los hormigones reciclados son moderadamente más bajos que la referencia de concreto convencional. El uso de agregados mixtos reciclados en hormigones en la relación de reemplazo del 25% no tiene efecto sobre la capacidad de absorción del hormigón. Sin embargo, con una relación de reemplazo de RCD del 50%, la capacidad de absorción de los hormigones reciclados es 10 a 20% más alta que la referencia de hormigón convencional [1].

Las relaciones de reemplazo de hasta 50%, el agregado reciclado estudiado es apto para fabricar hormigón con suficiente resistencia y durabilidad para la construcción de viviendas.

Título 4: Short and long-term behavior of structural concrete with recycled concrete aggregate.

Universidad: Departamento de Ingeniería Civil, Química, Ambiental y de Materiales, Universidad de Bolonia, Viale Risorgimento 2, 40136 Bolonia, Italia

Autor: S. Manzi, C. Mazzotti, M.C. Bigozzi

Año: 2013

De acuerdo con esta investigación en el estado fresco, la trabajabilidad del concreto está más influenciada por la forma, textura y distribución del tamaño de grano de agregado reciclado que por su cantidad total; entre los agregados reciclados investigados, el que tenía (27% de agregados reciclados) y el de (36,5% de agregados reciclados) exhiben el más alto resistencia a la compresión y a la flexión, módulo elástico y lo mejor características físicas (densidad y absorción de agua), destacando así que un surtido adecuado de hormigón fino y grueso los residuos pueden conducir a un buen hormigón estructural, ya que solo se utiliza agregados reciclados.

Los resultados específicos de fluencia mostraron que el hormigón agregado reciclado exhibe aún mejor rendimiento que el concreto de referencia en cuanto a la deformación contracción [14].

Los datos de porosidad y la distribución del tamaño de poro están totalmente de acuerdo con las propiedades mecánicas determinadas para las muestras investigadas, confirmando así que el uso de agregados de concreto reciclado conduce a microestructuras muy densas.

6.4. MARCO NORMATIVO

Tabla 6-7. Normatividad

NORMA	DESCRIPCIÓN	AÑO
NTC 174	Especificaciones de los agregados para concreto	2000, Quinta actualización
NTC 110	Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico	1991, Primera actualización
NTC 550 Concretos	Elaboración y curado de especímenes de concreto en el sitio de trabajo	2017, Tercera actualización
NTC 673 Concretos	Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto	2010, Tercera actualización
NTC 4025	Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson en concreto a compresión	2006, Primera actualización
ASTM C39/C39 - 18	Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens	2018
ASTM C31/C31M - 10	Practice for making and curing concrete test specimens in the field	2010
ASTM C469 / C469M - 14	Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression	2014

Fuente: Elaboración Propia

7. EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA

Tabla 7-7-1. Equipo de Investigación

Personal	Nombre	Perfil	Experiencia
Director de Proyecto de Investigación de Grado	Emiro Andrés Lozano Pérez	Ingeniero Civil Esp. En Estructuras Docente Facultad de Ingeniería Civil Universidad Santo Tomas	Docente facultad de ingeniería civil Universidad Santo Tomas. Especialista en gestión ambiental, especialista en estructuras, coordinador del semillero de Cross y candidato a magister en infraestructura vial.
Investigador	Cristian Mateo Alape Esquerro	Estudiante Universitario	Estudiante Decimo Semestre de Ingeniería Civil Universidad Santo Tomas
Investigador	Alexandra Santos Piñeros	Estudiante Universitario	Estudiante Decimo Semestre de Ingeniería Civil Universidad Santo Tomas

Fuente: Elaboración Propia

8. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta un esquema tipo flujograma explicando la metodología de la investigación, identificando el paso a paso que se debe desarrollar para que los resultados de los estudios sean los más eficientes.

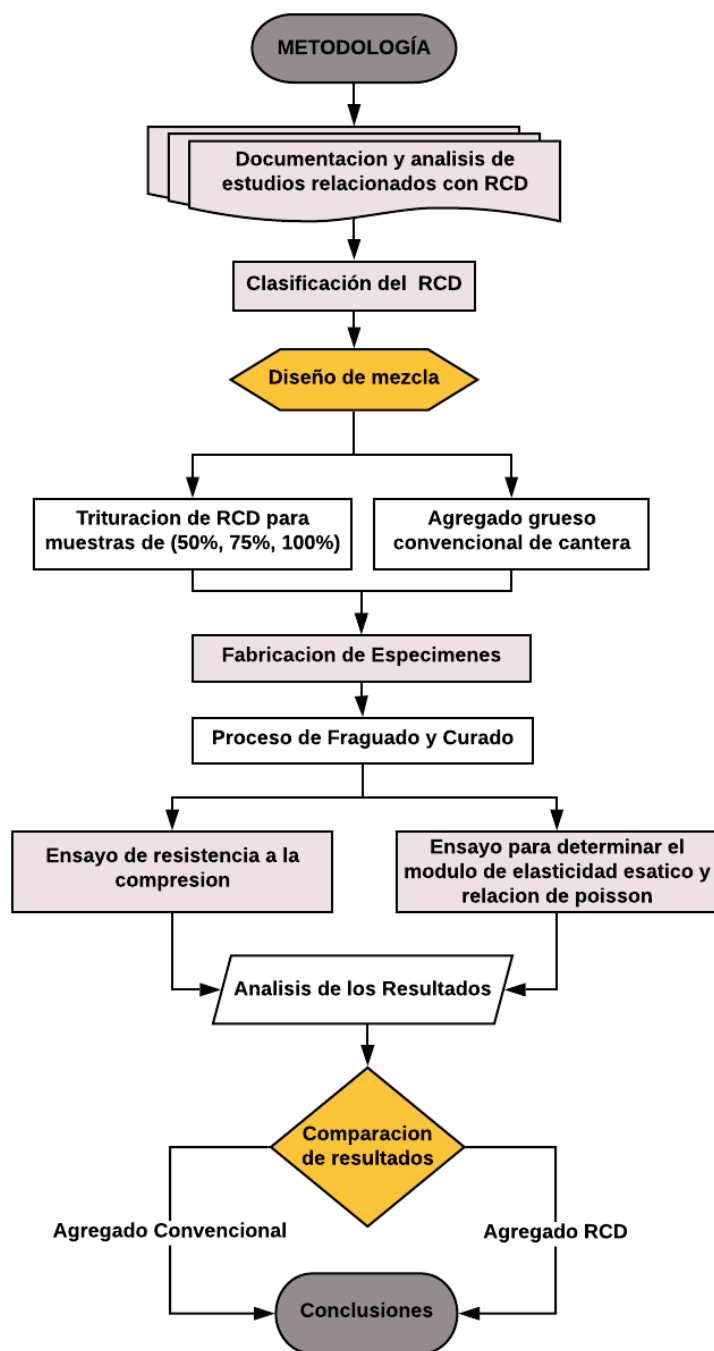


Ilustración 8-1. Metodología de la Investigación
Fuente: Elaboración Propia

8.1. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

- Documentación y análisis de estudios relacionados con RCD: Se buscan antecedentes relacionados con la temática de la investigación, a fin de identificar aquellos conceptos que sirvan de base para sustentar la justificación y alcance del proyecto.
- Clasificación del RCD: Se realiza la caracterización del RCD mediante el proceso de tamizaje y limpieza, debido a que la muestra de escombros contiene diversos materiales que pueden contaminar la mezcla. Para posteriormente hacer el proceso de triturado.

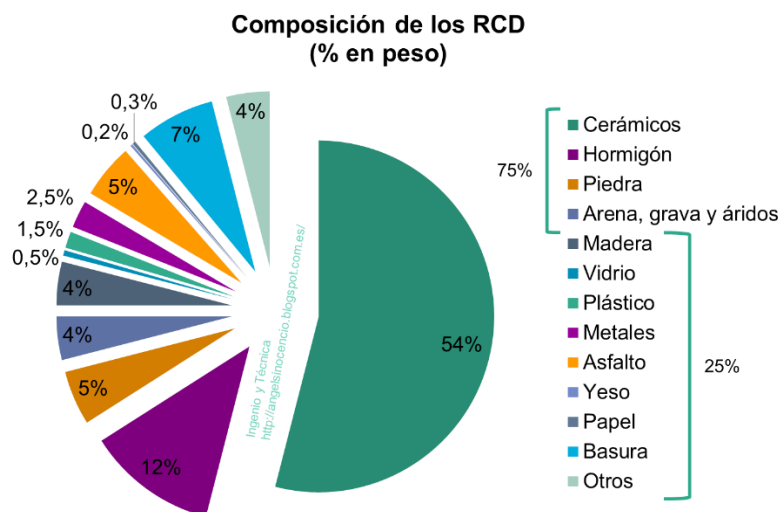


Ilustración 8-2. Composición en peso de los RCD

Fuente: Ángel Sánchez Inocencio [15]

- Diseño de mezcla: Calcular las cantidades necesarias de agua, cemento, agregado fino y grueso, teniendo en cuenta los diferentes porcentajes de RCD propuestos anteriormente, considerando la relación 1:2:3 para la elaboración de los treinta y seis (36) especímenes a fallar, la tabla a continuación contiene los datos numéricos para el diseño de mezcla.
- Fabricación de especímenes: Se elaboran treinta y seis (36) cilindros teniendo en cuenta las especificaciones de la mezcla y normativa mencionadas anteriormente, en la cual, el agregado grueso se distribuye en las siguientes proporciones. Nueve (9) cilindros con 50% de RCD y 50% de agregado grueso, nueve (9) cilindros de 75% de RCD y 25% de agregado grueso, y finalmente (9) cilindros con 100% de RCD.

Tabla 8-1. Fabricación de Especímenes

CANTIDAD DE ESPECIMENES DE ACUERDO A LA EDAD EN DÍAS				
Tipo de Cilindros	14 días	28 días	56 días	Total
Cilindros convencionales	3	3	3	9
Cilindros RCD 50%	3	3	3	9
Cilindros RCD 75%	3	3	3	9
Cilindros RCD 100%	3	3	3	9
Total				36

Fuente: Elaboración Propia

- Proceso de fraguado y curado: Pasadas 24 horas en las cuales los cilindros permanecen encofrados, se retira dicho molde para sumergirlos en la pileta con agua. Con el fin de que se lleve a cabo el proceso químico adecuado de acuerdo a las edades de 14, 28 y 56 días en el que el concreto adquiere la resistencia de diseño.
- Ensayo de resistencia a la compresión: Los especímenes son sometidos a una carga vertical (compresión) con la maquina universal de ensayos, a la edad de 14, 28 y 56 días, en grupos de tres (3) respecto a cada porcentaje y así determinar su resistencia.
- Análisis de los resultados: Una vez obtenidos los datos de los ensayos, se organizan de tal modo que se pueda interpretar y analizar adecuadamente con el fin de sustentar los planteamientos teóricos.
- Comparación de los resultados: Analizar las variaciones entre los resultados obtenido del concreto con agregado grueso a partir de RCD y el concreto convencional de 3000 psi, e identificar las ventajas y desventajas de sus propiedades mecánicas.
- Conclusiones: En este apartado se usan los análisis de resultados más impactantes respecto a lo esperado en la investigación, para que el lector tenga la facilidad de identificar lo más importante de los resultados.

9. ETAPA 1, CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

9.1. PROCESO DE TRANSFORMACIÓN RCD

9.1.1 Obtención de RCD

El agregado grueso de RCD se obtuvo a partir de la trituración del material procedente de una remodelación estructural de una edificación de uso doméstico.



Ilustración 9-1. Muestra Fotográfica de obtención del material

Fuente: Elaboración Propia

9.1.2 Clasificación Manual

Los desechos contenían diversos tipos de material, lo cual se clasificó y limpió, con el objetivo de utilizar solo el concreto residual para evitar la contaminación de demás residuos en el proceso de la mezcla.





Ilustración 9-2. Muestra fotográfica clasificación manual RCD
Fuente: Elaboración Propia

9.1.3 Triturado Manual y Mecánico

Con la ayuda de un chapulín de acero se demolió con múltiples golpes hasta obtener fragmentos fáciles de triturar, con el fin de que la máquina de los ángeles terminará con el procedimiento de trituración y obtener partículas de tamaño semejantes a las del agregado grueso de cantera.



Ilustración 9-3. Proceso de triturado manual del material
Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 9-4. Proceso de triturado mecánico del material
Fuente: Elaboración Propia

9.1.4 Tamizaje

Finalmente, ya triturado los residuos de construcción y demolición se obtuvo un total de 120 kg, de los cuales se realizó el proceso de tamizaje a partir de 1 kg de RCD.



Ilustración 9-5. Muestra de RCD triturada lista para ser tamizada
Fuente: Elaboración Propia

9.2. GRANULOMETRIA DE LOS MATERIALES

9.2.1 Agregado fino y grueso

Se realizó la granulometría del agregado fino y grueso, a través del proceso de tamizado con una muestra de 1000 gr de dicho material, el cual fue adquirido de la cantera “PYA DEL GUAYURIBA SAS”. De acuerdo a los parámetros de la norma NTC 77. Se determinó la distribución de los tamaños donde se apreció que la mayor cantidad de agregado se retuvo en los tamices No. 10 y No. 30. para el agregado fino. Para el agregado grueso la mayor parte del material se retuvo en el tamiz de $\frac{1}{2}$ ". Las siguientes tablas contienen los resultados obtenidos:

Tabla 9-1. Granulometría de Agregado Fino

Granulometría de Agregado Fino				
Tamiz (#)	Peso (gr)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
4	120,500	12,155	12,155	87,845
10	317,300	32,005	44,160	55,840
30	311,300	31,400	75,560	24,440
40	152,100	15,342	90,902	9,098
100	71,300	7,192	98,094	1,906
200	16,500	1,664	99,758	0,242
FONDO	2,400	0,242	100,000	0,000
Total Peso (gr)		991,4		

Fuente: Elaboración Propia

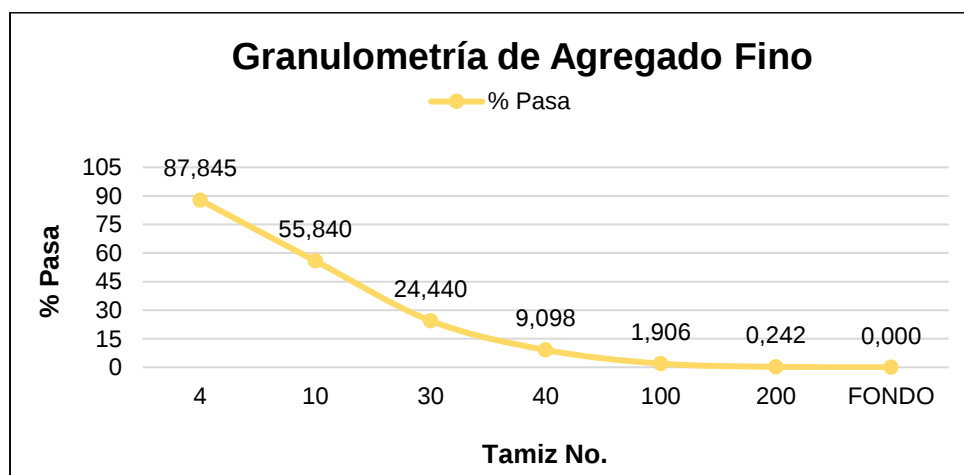


Ilustración 9-6. Curva granulométrica Agregado Fino

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9-2. Granulometría de Agregado Grueso

Granulometría de Agregado Grueso				
Tamiz (")	Peso (gr)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
1 ½	0,00	0,00	0,00	100,00
1	54,90	5,49	5,49	94,51
¾	271,30	27,13	32,62	67,38
½	484,80	48,48	81,10	18,90
FONDO	189,00	18,90	100,00	0,00
Total Peso (gr)	1000			

Fuente: Elaboración Propia

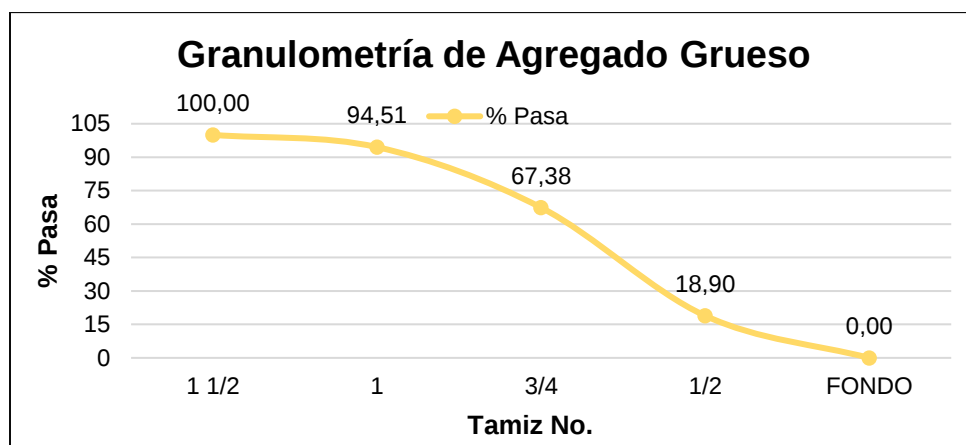


Ilustración 9-7. Curva granulométrica Agregado Grueso

Fuente: Elaboración Propia

El agregado fino consiste en arena natural de cantera, la forma de las partículas se presenta como esféricas y otras de forma cubica. Para este material las partículas que más predominan son las que se encuentran retenidas entre el tamiz No. 30 y tamiz No.40, con un tamaño de diámetro máximo de aproximado entre 0.0234" y 0.0165".

Tabla 9-3. Caracterización de Agregado Fino

Caracterización de Agregado Fino		
Medida	Resultado	Unidad
Peso Unitario Apisonado	1669.75	Kg/m3
Peso Unitario Suelto	1574.28	Kg/m3
Peso Específico Aparente	1.96	gr
Peso Específico Saturada Superficialmente Seca	2.01	gr
Peso Específico Nominal	2.04	gr
Absorción	1.02	%
Humedad Natural	6.02	%

Fuente: Elaboración Propia

En el caso del agregado grueso de cantera las superficies de estas son más regulares, compactas y con bordes poco angulares, además de contar con un tamaño aproximado de partícula de 2.54cm (1") y 3.81cm (1 ½").

Tabla 9-4. Caracterización de Agregado Grueso

Caracterización de Agregado Grueso		
Medida	Resultado	Unidad
Peso Unitario Apisonado	1482.95	Kg/m ³
Peso Unitario Suelto	1412.32	Kg/m ³
Peso Específico Aparente	2.12	gr
Peso Específico Saturada Superficialmente Seca	2.20	gr
Peso Específico Nominal	2.32	gr
Absorción	1.70	%
Humedad Natural	2.27	%

Fuente: Elaboración Propia

9.2.2 Agregado RCD

Para el caso del agregado grueso reciclado se realiza el mismo procedimiento de tamizado del agregado grueso de cantera, ya que este reemplaza ciertos porcentajes en la mezcla de los especímenes a elaborar. A través de este proceso se determina que la mayor cantidad de partículas se retuvo en el tamiz ½". A continuación, los datos obtenidos:

Tabla 9-5. Granulometría de Agregado Grueso RCD

Granulometría de Agregado Grueso RCD				
Tamiz (")	Peso (gr)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
1 ½	0	0,00	0,00	100,00
1	0	0,00	0,00	100,00
¾	126,3	12,63	12,63	87,37
½	522,1	52,21	64,84	35,16
FONDO	348,6	34,86	99,70	0,30
Total Peso (gr)	997			

Fuente: Elaboración Propia

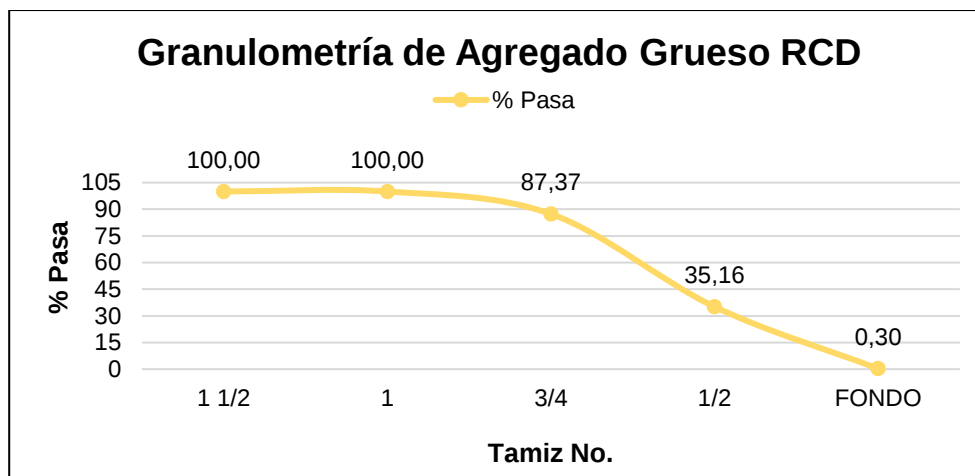


Ilustración 9-8. Curva granulométrica Agregado Grueso RCD

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a las curvas granulométricas del agregado grueso **Ilustración 9-7** y el RCD **Ilustración 9-8**, se verifica que el tamaño de ambos materiales sea similar. De tal modo, que el agregado grueso de RCD reemplace la función de resistencia que cumple el agregado grueso de cantera en la mezcla.

Tabla 9-6. Comparación Curva Granulométrica de agregado grueso de Cantera respecto a RCD

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO DE CANTERA Y DEL AGREGADO GRUESO CON RCD		
TAMIZ No.	CANTERA (%)	RCD (%)
1 1/2	100,00	100,00
1	94,51	100,00
3/4	67,38	87,37
1/2	18,90	35,16
FONDO	0,00	0,30

Fuente: Elaboración Propia

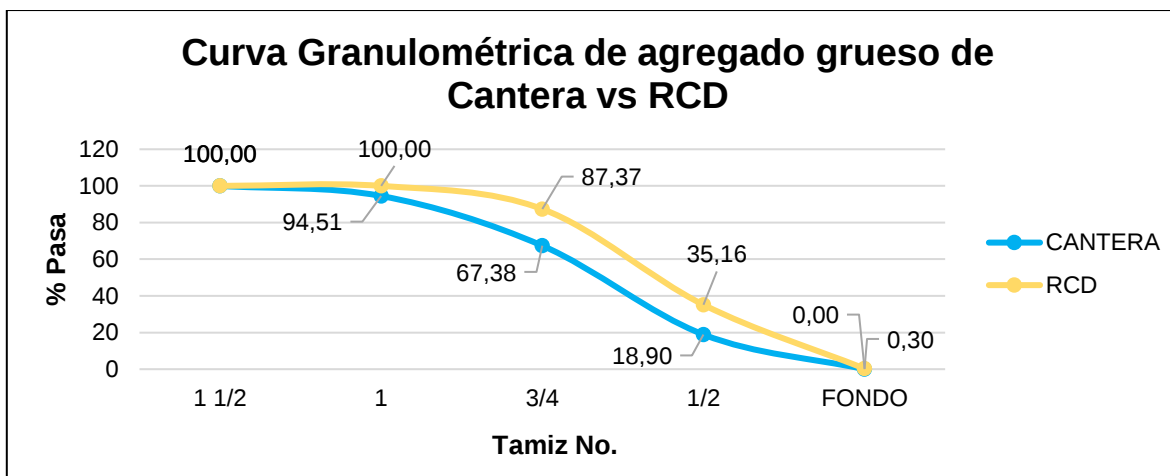


Ilustración 9-9. Comparación Curva Granulométrica de agregado grueso de Cantera respecto a RCD

Fuente: Elaboración Propia

Las tablas mencionadas anteriormente representan la caracterización de 1kg de muestra para cada material de agregado grueso de cantera, de agregado fino y agregado grueso de RCD, de acuerdo a sus propiedades relacionadas con la capacidad de absorción y contenido de agua.

El agregado grueso sustraído del RCD mediante el proceso de trituración, se caracterizaba por tener una morfología heterogénea las cuales presentaban bastantes esquinas con ángulos pronunciados además de una textura agrietada y áspera con un tamaño de partícula entre 1.905 cm ($\frac{3}{4}$ ") y 2.54 cm (1").

Tabla 9-7. Caracterización de Agregado Grueso de RCD

Caracterización de Agregado Grueso RCD		
Medida	Resultado	Unidad
Peso Unitario Apisonado	1254.13	Kg/m ³
Peso Unitario Suelto	1128.08	Kg/m ³
Peso Específico Aparente	1.98	gr
Peso Específico Saturada Superficialmente Seca	2.05	gr
Peso Específico Nominal	2.32	gr
Absorción	7.42	%
Humedad Natural	5.27	%

Fuente: Elaboración Propia

10. ETAPA 2, DISEÑO DE MEZCLA

10.1. DISEÑO DE MEZCLA

Tabla 10-1. Propiedades del Cemento

PROPIEDADES DEL CEMENTO		
Propiedades	Valor	Unidad
F'c	21	Mpa
Peso Específico del cemento (ARGOS)	2937	gr/cm3
Asentamiento "SLUMP"	4	in

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10-2. Propiedades de los Agregados

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS				
Propiedades	Fino	Grueso	RCD	Unidad
Peso Unitario Suelto	1574.28	1412.32	1128.08	Kg/m3
Peso Unitario Compactado	1669.75	1482.95	1254.13	Kg/m3
Peso Especifico	2040	2320	2320	Kg/m3
Módulo de Fineza	3	-	-	-
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	-	1.5	1.5	in
% Absorción	1.02	1.7	7.42	-
% Humedad	6.02	2.27	5.27	-

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con el método de diseño de mezcla ACI (American Concrete Institute), cuando no se tiene registro de resistencia de probetas correspondientes a obras anteriores se utiliza la siguiente Tabla 10-3. Resistencia Requerida, para determinar la resistencia a compresión del concreto a utilizar.

Tabla 10-3. Resistencia Requerida

CALCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA (F'cr)	
<210	F'c + 70
210 - 350	F'c + 84
> 250	F'c + 98

Fuente: ACI (American Concrete Institute)

Para el diseño de mezcla se utilizó una resistencia de 21 Mpa lo que equivale a 214.139 kg/cm², teniendo en cuenta el anterior dato la resistencia promedio requerida es de 298.14 kg/cm².

En la siguiente tabla se encuentra relacionado el contenido de aire atrapado de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado grueso. Para el diseño de mezcla es del 1%.

Tabla 10-4. Contenido de Aire Atrapado

CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	
Tamaño Máximo Nominal del Agregado grueso	Aire Atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
4"	0.2%

Fuente: ACI (American Concrete Institute)

Para determinar el volumen unitario de agua se debe considerar los tamaños máximos nominales del agregado grueso y el asentamiento de la mezcla, en este caso el valor dado es de 181 L para un m³ de concreto.

Tabla 10-5. Volumen Unitario de Agua

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA								
Agua en L/m³, para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicada								
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-

Fuente: ACI (American Concrete Institute)

La relación agua/cemento se determina teniendo en cuenta la resistencia promedio requerida; debido a que la resistencia se encuentra entre los 250 y 300 kg/cm² es necesario realizar el método de interpolación lineal, teniendo como resultado 0.553 para un concreto sin aire incorporado.

Tabla 10-6. Relación Agua/Cemento por Resistencia

RELACIÓN AGUA/CEMENTO POR RESISTENCIA		
F'c (Kg/cm²)	Relación agua/cemento en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	-
450	0.38	-

Fuente: ACI (American Concrete Institute)

Una vez obtenidos la relación Agua/Cemento (0.553) y el volumen unitario del agua (181 L), se halla el factor cemento para un m³ de concreto dividiendo el volumen unitario del agua entre la relación A/C, dando así, un valor de 327.540 Kg el cual se divide entre el peso que contiene un bulto de cemento (50 Kg “ARGOS”) para obtener 6.551 kg de factor cemento.

$$C = \frac{a}{A/C} = \frac{181}{0.553} = 327.540 \text{ kg}$$

$$\text{Factor Cemento} = \frac{327.540}{50} = 6.551 \text{ kg}$$

Donde:

C: Cantidad de Cemento

a: Volumen Unitario del Agua

A/C: Relación Agua/Cemento

Una vez obtenidos todos los datos anteriores, se procede a determinar el volumen de cada componente del concreto, empezando por el siguiente:

El volumen del cemento se haya dividiendo el peso del cemento (*C*) entre el peso específico del mismo (*Pe*) por el peso específico del agua (*Pe_{agua}*).

$$Vol_{\text{cemento}} = \frac{C}{Pe \cdot Pe_{\text{agua}}} = \frac{327.540}{2.937 \cdot 1000} = 0.112 \text{ m}^3$$

Donde:

C: Cantidad de Cemento

Pe: Peso Especifico del Cemento

Pe_{agua}: Peso Especifico del Agua

Para obtener el volumen del agua se realiza la división entre el volumen unitario del agua (*a*) y el su peso específico (*Pe_{agua}*).

$$Vol_{Agua} = \frac{a}{Pe_{agua}} = \frac{181}{1000} = 0.181 m^3$$

Donde:

a: Volumen Unitario del Agua

Pe_{agua}: Peso Especifico del Agua

Seguidamente se calcula el volumen de aire de acuerdo con el contenido de aire atrapado.

$$Vol_{Aire} = \frac{\%Aire\ atrapado}{100} = \frac{1}{100} = 0.01 m^3$$

El coeficiente del peso de agregado grueso por unidad de volumen del concreto se determina mediante la relación del módulo de fineza y el tamaño máximo nominal del agregado, como se evidencia a continuación:

Tabla 10-7. Peso del Agregado Grueso por Unidad de Volumen del Concreto

PESO AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO

Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino (b/bo)

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI (American Concrete Institute)

De acuerdo con la Tabla 10-7 el peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto, se halla a partir de la operación del coeficiente (b/bo) por el peso unitario seco compactado del agregado grueso. Obteniendo así, un resultado de 1038.065 Kg.

Para determinar el volumen del agregado grueso es necesario calcularlo a partir de la división de su peso entre el peso específico del mismo.

$$Vol_{AG} = \frac{w_{AG}}{Pe_{AG}} = \frac{1038.07}{2320} = 0.447 \text{ m}^3$$

Donde:

w_{AG} : Peso Agregado Grueso

Pe_{AG} : Peso Especifico del Agregado Grueso

Finalmente, para obtener el volumen del agregado fino se debe restar la sumatoria de los volúmenes obtenidos anteriormente a un m^3 de concreto, de manera que su diferencia indique el volumen requerido y así obtener un valor de 0.250 m^3 .

El peso del agregado fino se calcula multiplicando su volumen por el peso específico de este, como se muestra a continuación.

$$w_{AF} = V_{AF} \cdot Pe_{AF} = 0.25 \cdot 2040 = 510.074 \text{ kg}$$

Donde:

w_{AF} : Peso Agregado Fino

V_{AF} : Volumen del Agregado Fino

Pe_{AF} : Peso Especifico del Agregado Fino

Una vez establecidas las cantidades necesarias de cada elemento, se realiza la corrección por humedad del agregado fino y grueso.

$$w_{AF\text{corregido}} = \left(w_{AF} \cdot \frac{\%W_{AF}}{100} \right) + 1 = \left(510.074 \cdot \frac{6.02}{100} \right) + 1 = 540.781 \text{ kg}$$

$$w_{AG\text{corregido}} = \left(w_{AG} \cdot \frac{\%W_{AG}}{100} \right) + 1 = \left(1038.065 \cdot \frac{2.27}{100} \right) + 1 = 1061.629 \text{ kg}$$

Donde:

w_{AF} : Peso Agregado Fino

w_{AG} : Peso Agregado Grueso

$\%W_{AF}$: Porcentaje de Humedad del Agregado Fino

$\%W_{AG}$: Porcentaje de Humedad del Agregado Grueso

$$AA_{AF} = \frac{(\%W_{AF} - \%abs_{AF}) \cdot w_{AF\text{corregido}}}{100} = \frac{(6.02 - 1.02) \cdot 540.781}{100} = 27.039 \text{ L}$$

$$AA_{AG} = \frac{(\%W_{AG} - \%abs_{AG}) \cdot w_{AG\text{corregido}}}{100} = \frac{(2.27 - 1.70) \cdot 1061.629}{100} = 6.051 \text{ L}$$

$$\Sigma_{AA} = AA_{AF} + AA_{AG} = 33.09 \text{ L}$$

$$AE = a - \Sigma_{AA} = 181 - 33.09 = 147.910 \text{ L}$$

Donde:

AA_{AF} : Aporte de Agua del Agregado Fino

AA_{AG} : Aporte de Agua del Agregado Grueso

$\%W_{AF}$: Porcentaje de Humedad del Agregado Fino

$\%W_{AG}$: Porcentaje de Humedad del Agregado Grueso

$\%abs_{AF}$ = Porcentaje de Absorción de Agregado Fino

$\%abs_{AG}$ = Porcentaje de Absorción de Agregado Grueso

$W_{AG\text{corregido}}$ = Peso Agregado Grueso Corregido

$W_{AF\text{corregido}}$ = Peso Agregado Fino Corregido

Para determinar la proporción de diseño se debe dividir todos los pesos obtenidos anteriormente entre el peso del cemento, dando como resultado los siguientes valores presentados en la Tabla 10-8.

Tabla 10-8. Proporción del diseño de mezcla Convencional

PROPORCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA CONVENCIONAL			
Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua
327.540 kg	540.781 kg	1061.629 kg	147.910 L
$\frac{327.540}{327.540}$	$\frac{540.781}{327.540}$	$\frac{1061.629}{327.540}$	$\frac{147.910}{327.540}$
1	2	3	0.5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10-9. Proporción del diseño de mezcla 50% RCD

PROPORCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA 50% RCD				
Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agregado RCD	Agua
327.540 kg	540.781 kg	530.814 kg	530.814 kg	147.910 L
$\frac{327.540}{327.540}$	$\frac{540.781}{327.540}$	$\frac{530.814}{327.540}$	$\frac{530.814}{327.540}$	$\frac{147.910}{327.540}$
1	2	3		0.5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10-10. Proporción del diseño de mezcla 75% RCD

PROPORCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA 75% RCD				
Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agregado RCD	Agua
327.540 kg	540.781 kg	265.407 kg	796.221 kg	147.910 L
<u>327.540</u>	<u>540.781</u>	<u>265.407</u>	<u>796.221</u>	<u>147.910</u>
327.540	327.540	327.540	327.540	327.540
1	2	3		0.5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10-11. Proporción del diseño de mezcla 100% RCD

PROPORCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA 100% RCD			
Cemento	Agregado Fino	Agregado RCD	Agua
327.540 kg	540.781 kg	1061.629 kg	147.910 L
<u>327.540</u>	<u>540.781</u>	<u>1061.629</u>	<u>147.910</u>
327.540	327.540	327.540	327.540
1	2	3	0.5

Fuente: Elaboración Propia

10.2. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA

Tabla 10-12. Volumen total de concreto para especímenes

Fabricación Cilindros con desperdicio del 10%						
No. Cilindros	Cilindros	Volumen (m³)	Edad (días)			Total
3	Convencional	0,01749	14	28	56	9
3	RCD 50%	0,01749	14	28	56	9
3	RCD 75%	0,01749	14	28	56	9
3	RCD 100%	0,01749	14	28	56	9
Volumen Total		0,06996	Total cilindros			36

Fuente: Elaboración Propia

Considerando las propiedades de los materiales junto con lo mencionado en el inciso anterior, se procede a calcular el diseño de mezcla por cada tipo de porcentaje, teniendo en cuenta las proporciones adecuadas de cemento, arena y triturado para 1m³ de concreto. Como se evidencia a continuación.

Tabla 10-13. Mezcla de concreto convencional

Mezcla Concreto Convencional	
Vol. 9 Cilindros (m3)	0,05
Cemento (Kg)	18,36
Arena (Kg)	36,73
RCD (Kg)	0,00
Grava (Kg)	55,09

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10-14. Mezcla de concreto con 50% RCD

Concreto RCD 50%	
Vol. 9 Cilindros (m3)	0,05
Cemento (Kg)	18,36
Arena (Kg)	36,73
RCD (Kg)	27,55
Grava (Kg)	27,55

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10-15. Mezcla de concreto con 75% RCD

Concreto RCD 75%	
Vol. 9 Cilindros (m3)	0,05
Cemento (Kg)	18,36
Arena (Kg)	36,73
RCD (Kg)	41,32
Grava (Kg)	13,77

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10-16. Mezcla de concreto con 100% RCD

Concreto RCD 100%	
Vol. 9 Cilindros (m3)	0,05
Cemento (Kg)	18,36
Arena (Kg)	36,73
RCD (Kg)	55,09
Grava (Kg)	0,00

Fuente: Elaboración Propia

11. ETAPA 3, FABRICACIÓN DE ESPECIMENES

11.1. PRODUCCIÓN DE CILINDROS EXPERIMENTALES

En esta investigación se realizaron cuatro tipos de mezcla, en la cual, para cada una se fabricaron nueve (9) cilindros con 15 cm de diámetro y 30 cm de altura para un total de treinta seis (36) cilindros. El proceso se designó en cuatro etapas realizadas en dos días seguidos: concreto con agregado convencional, concreto con 50% de agregado convencional y 50% de agregado RCD, concreto con 25% de agregado convencional y 75% de agregado RCD, concreto con 100% de agregado RCD.

De acuerdo con el diseño de mezcla se pesó la cantidad necesaria a utilizar de cada material, que posteriormente fue mezclada manualmente. Durante el proceso fue necesario agregar más agua de la calculada, debido a que el agregado grueso a partir de RCD contaba con un porcentaje de absorción alto en comparación con el agregado grueso de cantera, seguido esto, se realizó el vertimiento de la mezcla en los encofrados donde el llenado de las camisas se realizó en tres niveles iguales, en cada altura se apisono 25 veces con una varilla metálica de punta lisa y con chapulín se golpeó alrededor para eliminar las acumulaciones de aire que pudiesen generar poros y agrietamientos, después de llenados con un palustre se retiran los excesos de la superficie. Es importante mencionar que los encofrados deben estar previamente limpios y engrasados para evitar que el concreto se contamine de impurezas que puedan alterar su capacidad de resistencia a la hora de fallarlo, además de evitar que se adhiera a la superficie metálica, todo esto siguiendo el procedimiento de la norma NTC 550.

11.2. PROCESO DE FRAGUADO Y CURADO

Después de 24 horas desde el vertimiento del concreto, se procede a desencofrar los cilindros, durante este tiempo los especímenes pasan de un estado líquido a uno parcialmente sólido debido al proceso químico denominado fraguado.

Seguidamente son sumergidos en el agua dentro de una piscina de laboratorio para iniciar con el proceso de curado, donde el concreto expide calor de hidratación, por lo tanto, se hace necesario la constante presencia del agua para continuar el proceso de maduración y así adquirir resistencia en el transcurso de los periodos (14, 28 y 56 días), pasado este tiempo se retiran del agua y se colocan en un lugar fresco y seguro para que el exceso de humedad se retire, para así poder ensayarlos adecuadamente.

12. ANÁLISIS DE RESULTADOS

12.1. ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS

El ensayo a compresión determina la carga axial máxima a la que pueden ser sometidos los especímenes, además de la velocidad de maduración de las muestras en el transcurso del tiempo estipulado para el análisis, estos aspectos se ven afectados por diversos factores como las propiedades de los materiales y condiciones del entorno tales como la temperatura; teniendo en cuenta, que todo el ensayo se llevó a cabo de acuerdo los estándares de la NTC 673.

La siguiente tabla presenta el promedio de los resultados a compresión respecto al incremento del tiempo de maduración estipulado anteriormente. Para una revisión más a detalle de los resultados, observar el **Anexo 1**.

Tabla 12-1. Promedio de resultados de ensayo a compresión

Resistencia Promedio a la compresión de especímenes (Mpa)			
Tipo de Mezcla	14 Días	28 Días	56 Días
Convencional	21.8	27.9	39.3
Mezcla con 50% RCD	22.1	31.3	41.8
Mezcla con 75% RCD	18.9	30.2	38.4
Mezcla con 100% RCD	19.7	27.9	38.2

Fuente: Elaboración Propia

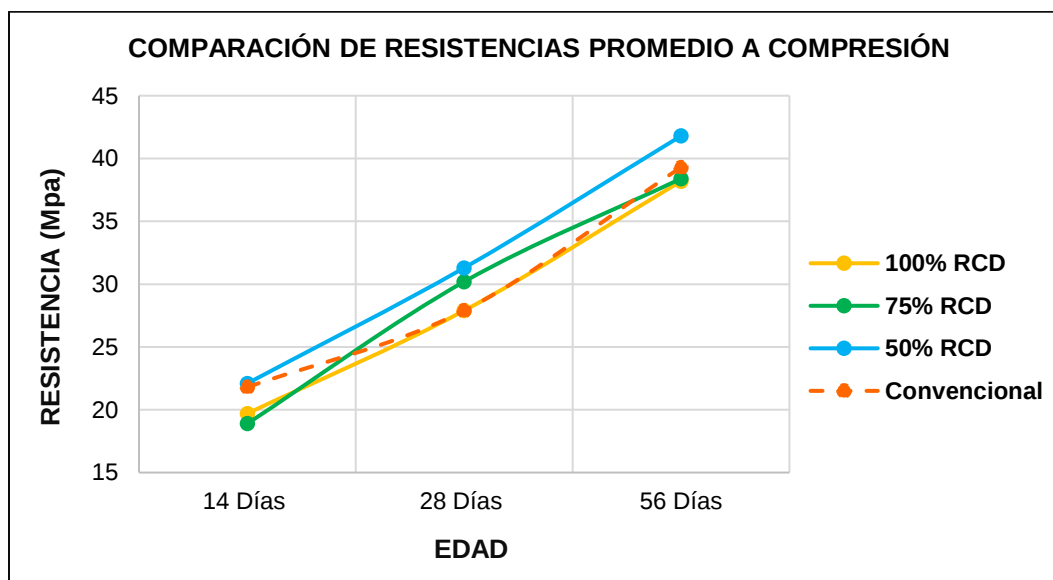


Ilustración 12-1. Comparación de resistencias promedio a compresión

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se observa que el comportamiento de los cilindros con agregado convencional y 100% de agregado RCD tienen una capacidad de resistencia menor en comparación con los especímenes de 50% y 75% de agregado RCD a los 28 días, no obstante, las muestra que presenta una mayor resistencia a los 56 días es la de 50% con agregado RCD como se aprecia en la **Ilustración 12-1**, esto quiere decir que esta tienen una velocidad de maduración más alta que las otras mezclas.

A continuación, se presenta la comparación entre las cuatro (4) diferentes muestras de mezcla y su resistencia a los 14 días:

Tabla 12-2. Resultado Promedio de todas las mezclas para el ensayo a compresión en la edad de 14 días

Promedio esfuerzo a compresión a los 14 días (Mpa)	
TIPO MEZCLA	RESISTENCIA
CONVENCIONAL	21.8
50% RCD	22.1
75% RCD	18.9
100% RCD	19.7

Fuente: Elaboración Propia

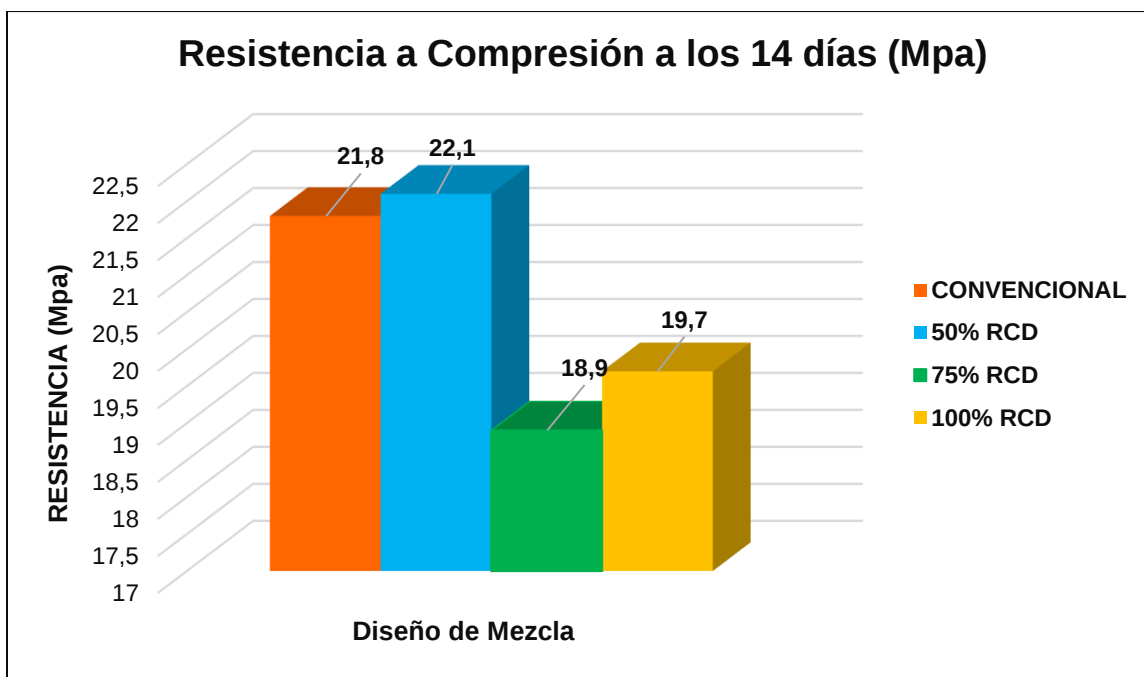


Ilustración 12-2. Análisis de Resistencia a compresión a los 14 días

Fuente: Elaboración Propia

El comportamiento de los especímenes que falla a compresión en los primeros 14 días arroja que, la mezcla que obtuvo mayor resistencia del ensayo a compresión fue la de 50% de RCD, donde se aprecia que los resultados de esta, junto con el

agregado Convencional están por encima de las mezclas de 100% RCD y 75% RCD.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos en laboratorio de los especímenes a una maduración de 28 días:

Tabla 12-3. Resultado Promedio de todas las mezclas para el ensayo a compresión en la edad de 28 días

Promedio esfuerzo a compresión a los 28 días (Mpa)	
TIPO MEZCLA	RESISTENCIA
CONVENCIONAL	27.9
50% RCD	31.3
75% RCD	30.2
100% RCD	27.9

Fuente: Elaboración Propia

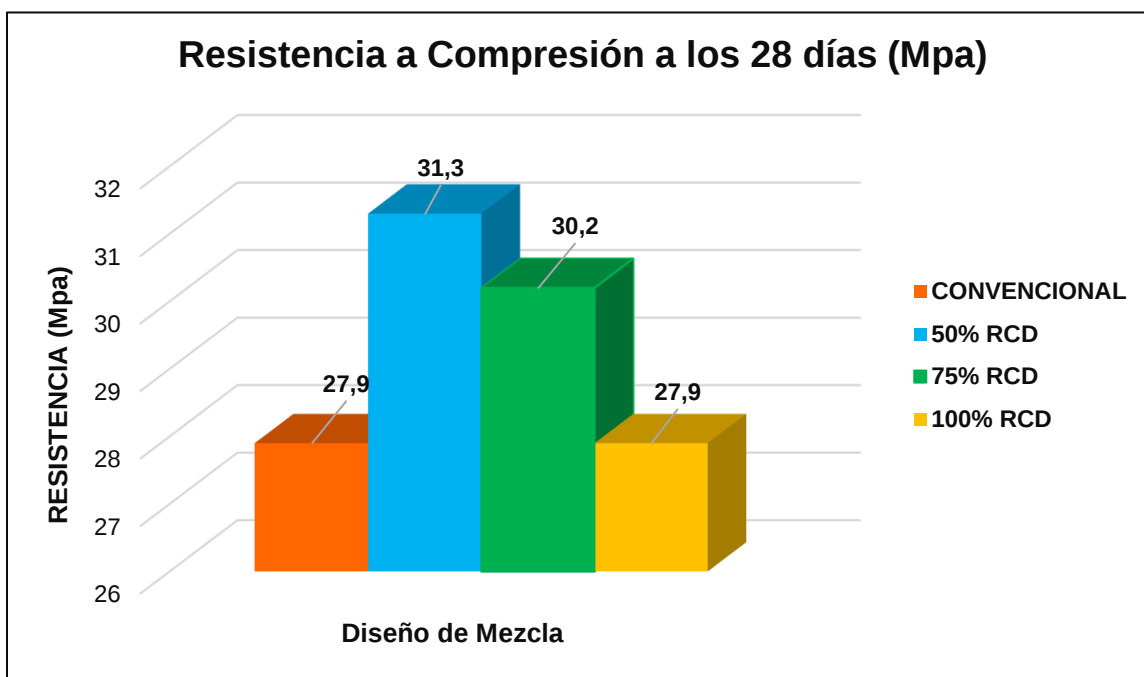


Ilustración 12-3. Análisis de Resistencia a compresión a los 28 días

Fuente: Elaboración Propia

A la edad de 28 días se puede evidenciar que la falla a compresión de los cilindros del 75% de RCD, tienen una maduración acelerada en comparación al crecimiento de los 14 primeros días, además se nota un incremento retardado de la resistencia en los cilindros convencionales y 100% de RCD. No obstante, la dosificación que presenta un crecimiento constante y progresivo es la mezcla con 50% de agregado con RCD.

La siguiente **Tabla 12-4.** presenta información de la resistencia obtenida por los especímenes a los 56 días de edad:

Tabla 12-4. Resultado Promedio de todas las mezclas para el ensayo a compresión en la edad de 56 días

Promedio esfuerzo a compresión a los 56 días (Mpa)	
TIPO MEZCLA	RESISTENCIA
CONVENCIONAL	39.3
50% RCD	41.8
75% RCD	38.4
100% RCD	38.2

Fuente: Elaboración Propia

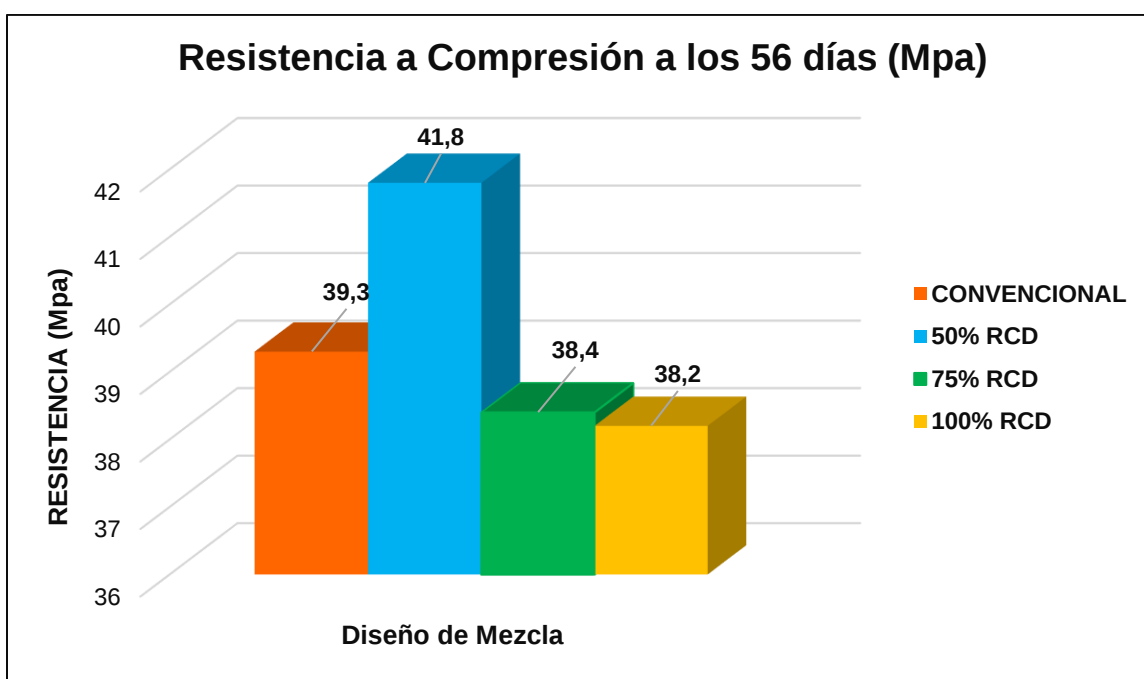


Ilustración 12-4. Análisis de Resistencia a compresión a los 56 días

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, pasado los 56 días se obtienen resistencias semejantes para los cilindros de mezcla convencional, 75% y 100% de RCD, pero con diferentes tiempos de maduración como lo visto anteriormente, por otra parte el cilindro que obtuvo mayor resistencia es el del 50% de RCD, obtenidos los resultados de esta última edad y comparado con el análisis de las gráficas anteriores se determina que la mezcla con agregado de RCD del 50% es el más apropiado para obtener una capacidad de resistencia a la compresión superior a la de una mezcla convencional.

La grafica que se presenta, relaciona el tiempo de maduración en días de los especímenes con respecto a la resistencia a compresión que adquirieron.

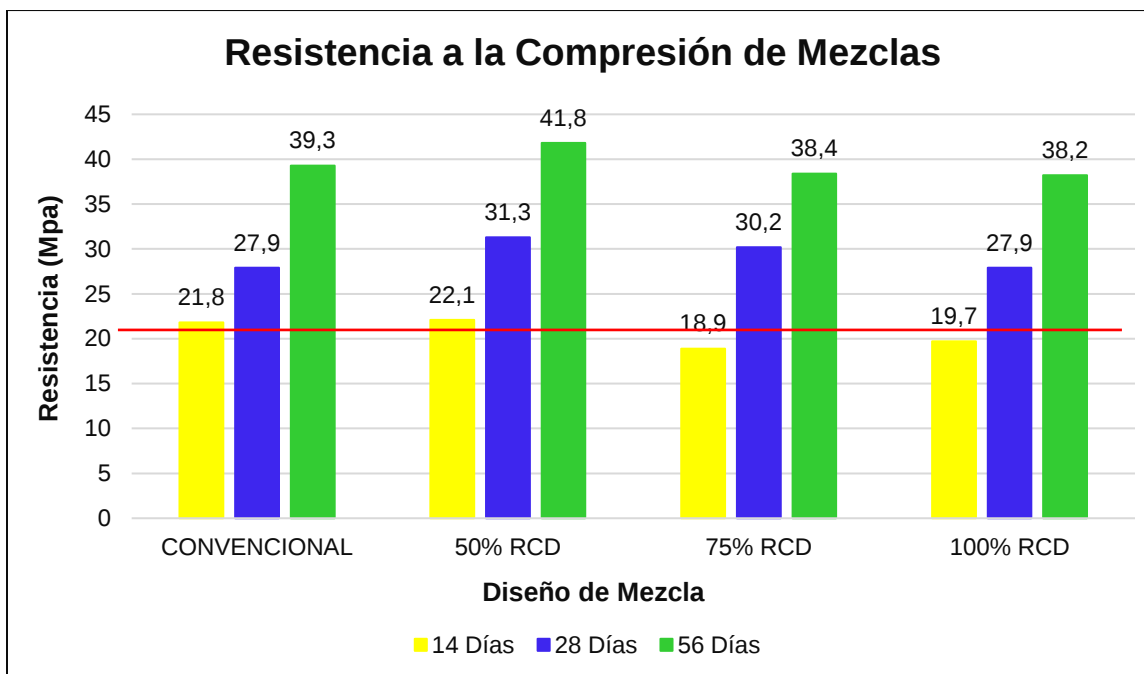


Ilustración 12-5. Análisis de Resistencia a compresión de las Mezcla
Fuente: Elaboración Propia

La línea roja observada en la Ilustración 12-5. Análisis de Resistencia a compresión de las Mezcla, marca la resistencia de diseño de los cilindros, los cuales solo la mezcla convencional y con 50% de RCD superaron en los primeros 14 días; esto puede darse por el acoplamiento óptimo entre partículas, pues los componentes que integran la mezcla se adhieren adecuadamente de manera que el engrudo se compacta a tal punto que la generación de vacíos es mínima, haciendo el concreto más resistente e impermeable.

La tendencia de los datos mostrados en la **Ilustración 12-5**, indica que a mayor dosificación de agregado RCD la mezcla de concreto madura aceleradamente a una temprana edad; no obstante, con el tiempo no adquiere mayor resistencia que la del agregado convencional [16]. A mayor dosificación de agregado grueso a partir de RCD, el contenido de muestra reciclada está fragmentada y ha pasado por diversos procesos lo cuales generan cavidades, esto quiere decir que el concreto con agregado RCD tiene mayor porosidad y por lo tanto una menor resistencia, pues estos espacios vacíos no aportan la capacidad suficiente al espécimen (este efecto se observa a detalle en la **Ilustración 12-6**), por el contrario, debilita la unión entre la pasta de cemento y el RCD. Adicionalmente, la textura superficial de las partículas del concreto reciclado tiende a ser ligeramente más áspera y angular por lo que estas condiciones también contribuyen a una fácil fragmentación [17].

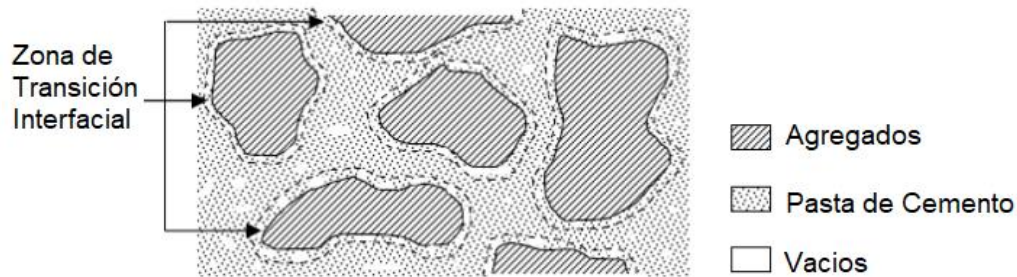


Ilustración 12-6. Simulación porosidad del concreto
Fuente: High Performance Concrete [18].



Ilustración 12-7. Patología de porosidad en muestra de espécimen
Fuente: Elaboración Propia

La durabilidad del concreto para los casos de los especímenes con agregado grueso de RCD no solo se ve afectada en su resistencia por su alta porosidad, sino que, este conlleva a un nivel de absorción de agua elevado como se puede evidenciar en la **Ilustración 12-8**, pues también existen factores externos e internos que pueden conllevar a dicho resultado. Para el primer caso las condiciones de curado estaban enmarcadas bajo una temperatura de agua de 24,5 °C sin protección a la luz solar, ya que lo establecido por la norma indica que el proceso se debe llevar a cabo bajo una temperatura promedio de 23 °C $\pm$ 2 °C con una humedad adecuada y protección a la luz solar, razones por las cuales se puede acelerar o disminuir su proceso de maduración y obtención de resistencia, además en el caso de los cilindros que se fallaron a los 56 días estos presenciaban cierta coloración y eflorescencias, siendo notorio el ataque de ciertos agentes o microorganismos en su superficie. No obstante, en el caso interno se evidencia que los materiales del RCD han pasado por distintos procesos, estos ya han estado en contacto con el ambiente ocasionando vulnerabilidad ante procesos de oxidación, ataque de ácidos, ingreso de cloruros o sales evidenciado en la velocidad de carbonatación que estos tienen de acuerdo a diversos estudios [19].

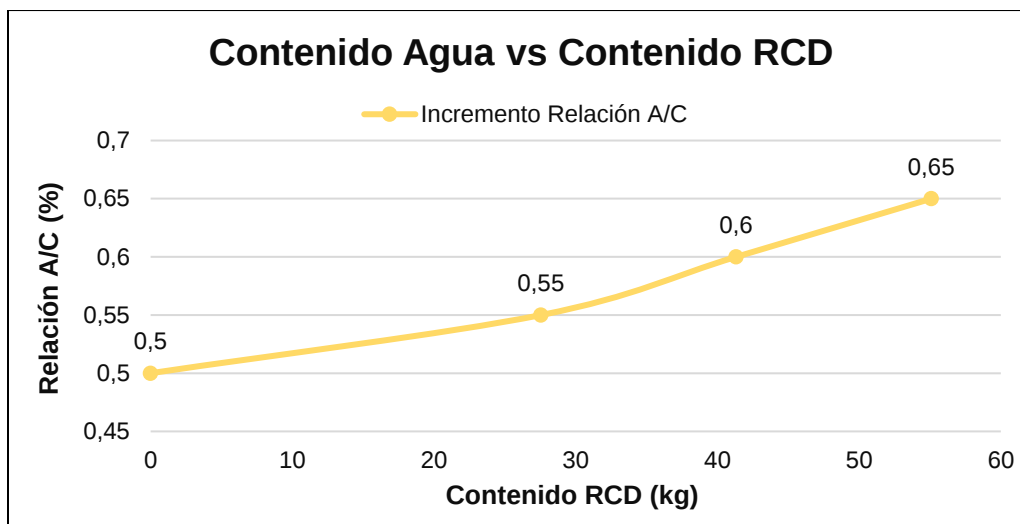


Ilustración 12-8. Análisis del incremento de la relación A/C

Fuente: Elaboración Propia

Al sobreponer las muestras en la superficie de la máquina y someterlas al ensayo a compresión se busca que la deformación sea distribuida correctamente. Durante este procedimiento se pueden presentar distintos tipos de fallas en los especímenes, causadas por factores como: las proporciones adecuadas de la mezcla, el vaciado correcto del concreto a los moldes, el fraguado y curado de los mismos, etc. Sin embargo, lo ideal es cuando la falla es totalmente vertical, características como la inercia que dependen de la altura y el diámetro, superficies no homogéneas de los cilindros o la combinación de esfuerzos dentro de los mismos pueden dar como resultado diferentes tipos fallas **Ilustración 12-9**. A continuación, se presenta un mosaico de las fallas obtenidas.

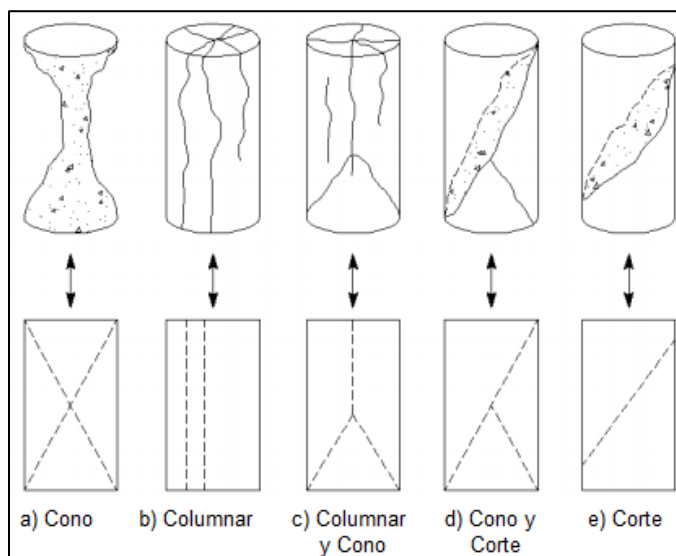


Ilustración 12-9. Fallas producidas en el ensayo a compresión para probetas

Fuente: Juan P. Muñoz [20]

Tabla 12-5. Mosaico de Fallas obtenidas a Compresión

TIPO DE FALLA DE LOS CILINDROS DE CONCRETO		
Falla	Característica	Descripción
	- Mezcla de 50% RCD - Edad: 56 días - Falla: Columnar	Se observa una falla ideal en la que los esfuerzos y deformaciones se distribuyen proporcionalmente.
	- Mezcla de 75% RCD - Edad: 56 días - Falla: Corte	Se evidencia una falla bien definida, con una fractura diagonal de 45° sin fisuras en la parte superior.
	- Mezcla de 100% RCD - Edad: 56 días - Falla: Corte	Falla en el borde superior en forma angular, la fractura ocurre por deficiencias en el material de cabeceo.
	- Mezcla Convencional - Edad: 56 días - Falla: Cono	Falla presentada por la superficie de carga del espécimen es algo convexa, con un patrón de fractura bien definido.

Fuente: Elaboración Propia

12.2. ENSAYO MODULO ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

El ensayo de módulo de elasticidad del concreto representa la rigidez del material en respuesta a una carga impuesta, en este proceso el material sufre una variación de forma y dimensión del espécimen, como se muestra en **Ilustración 12-10**; aunque dichas modificaciones no sean visibles, son importantes para conocer el límite de la capacidad que tiene el hormigón para deformarse y no fallar. Este ensayo se realiza por medio de los parámetros estipulados por la norma NTC 4025.

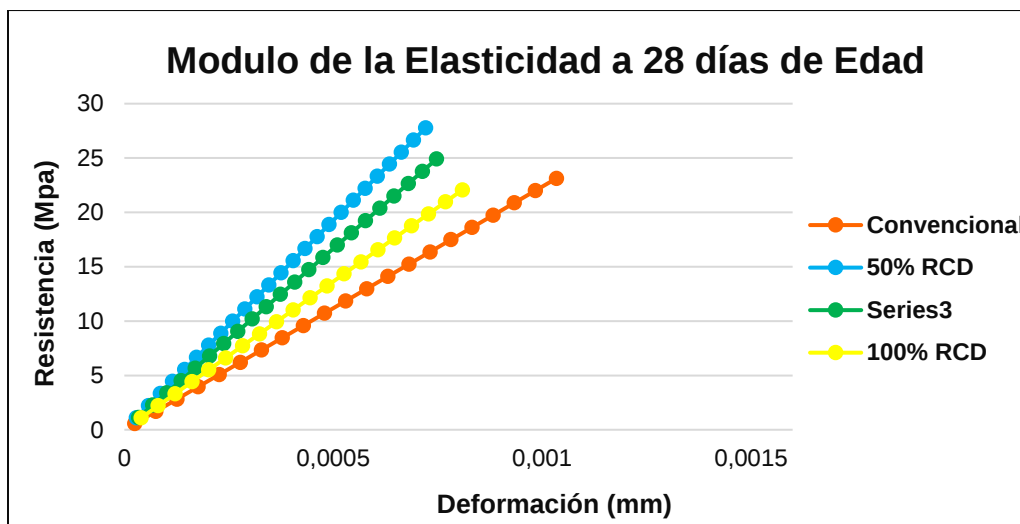


Ilustración 12-10. Módulo de elasticidad a los veintiocho días (28) de edad
Fuente: Elaboración Propia

En esta gráfica se puede apreciar el comportamiento promedio elástico del concreto a los 28 días de edad, de acuerdo al esfuerzo aplicado en Kg/cm² y sus respectivas deformaciones unitarias en milímetros (mm), con el fin de hallar el módulo elástico práctico a partir de estas.

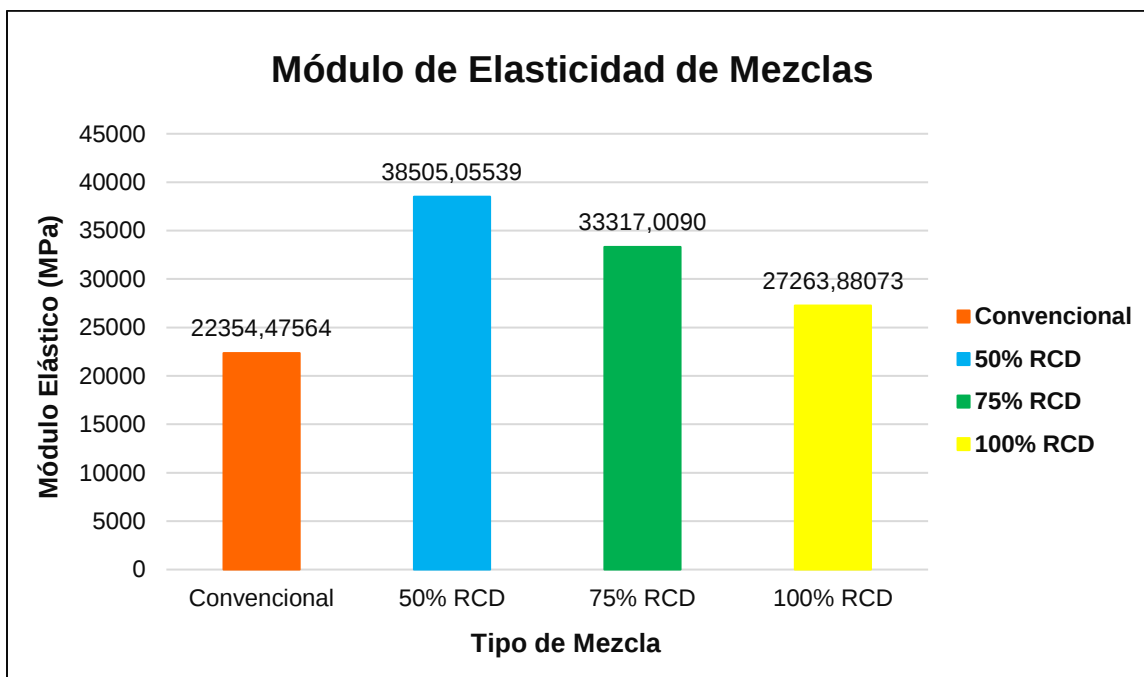


Ilustración 12-11. Módulo de elasticidad para todas las mezclas
Fuente: Elaboración Propia

En este caso la mezcla convencional obtuvo módulo elástico de 22.354,48 Mpa, muy cerca de este valor el espécimen con 100% de agregado RCD alcanzó los

38.505,055 Mpa es decir un aumento del 21,96% en comparación con la muestra base; aunque esté por encima del concreto convencional se puede afirmar que sus características de elasticidad son favorables, debido a que el agregado grueso reciclado es un material cuyas partículas ya han sido sometidas a esfuerzos aun así conservan capacidad para soportar cargas. No obstante, las dos muestras del 50% y 75% de agregado RCD demuestran nuevamente que el RCD es un agregado con alta capacidad elástica y por lo tanto alcanza valores superiores a la muestra base ya que están 72,24% y 49% respectivamente por encima de la muestra convencional.

Tabla 12-6. Relación de Poisson a los veintiocho días (28) de edad

Relación de Poisson			
Tipo de Mezcla	Relación de Poisson	Módulo de Elasticidad (MPa)	Resistencia (MPa)
Convencional	0,1892683	22.354,470	27.9
Mezcla con 50% RCD	0,1981727	38.505,055	31.3
Mezcla con 75% RCD	0,1853042	33.317,009	30.2
Mezcla con 100% RCD	0,1785033	27.263,881	27.9

Fuente: Elaboración Propia

La disminución de la relación de poisson en las mezclas con agregado a partir de RCD, se debe a una baja capacidad de adherencia entre los agregados y la pasta del cemento, ya que esta cuenta con una porosidad mayor que la del agregado convencional.

La relación de Poisson para el concreto a los 28 días puede variar entre valores de 0,11 y 0,21 (generalmente de 0,15 y 0,20), en este caso todas las muestras se encuentran ubicadas dentro de este rango, esto quiere decir que sus deformaciones ante la aplicación de cargas son aceptables y favorables. Para analizar este parámetro cabe destacar que los elementos con valores inferiores a 0,11 experimentan un comportamiento de deformaciones no permanentes y susceptibilidades de fractura tras la aplicación de cargas (comportamiento plástico), por otra parte, valores por encima del 0,2 en la relación de Poisson indican deformaciones permanentes para el elemento una vez los esfuerzos sean aplicados (comportamiento elástico) [7].

La disminución de la relación de Poisson en las mezclas con agregado del 50% RCD y convencional, se debe a una baja capacidad de adherencia entre los agregados reciclados y la pasta del cemento. No obstante, la mezcla con agregado de 50% RCD, cuenta con un grado de porosidad mayor en comparación con el agregado convencional.

De acuerdo con la NSR-10 el módulo de elasticidad se determina a partir de la siguiente ecuación $E_c = 3900 \cdot \sqrt{f'_c}$ (cuando no se conoce el origen del agregado grueso y el peso unitario del concreto), dando como resultado 17872.94 Mpa. En la

siguiente tabla se compara el valor teórico con respecto a los valores experimentales:

Tabla 12-7. Comparación Modulo De Elasticidad Teórico Vs Experimental

COMPARACIÓN MODULO DE ELASTICIDAD TEORICO VS EXPERIMENTAL

	Módulo de Elasticidad	Porcentaje %	Diferencia %
Teórico	17872,94	100	0
Convencional	22.354,470	125,07	25,07
50%	38.505,055	215,43	115,43
75%	33.317,009	186,41	86,41
100%	27.263,881	152,54	152,54

Fuente: Elaboración Propia

12.3. ANÁLISIS DE COSTOS

La tabla a continuación muestra los costos necesarios por cada componente de mezcla para elaborar un m³ de concreto, se obtienen sus valores unitarios en pesos colombianos.

Tabla 12-8. Comparación costos de mezclas para 1m³ de concreto

COMPONENTE	Mezcla Convencional (\$/m³)	Mezcla con 50% RCD (\$/m³)	Mezcla con 75% RCD (\$/m³)	Mezcla con 100% RCD (\$/m³)
Agregado Grueso	46.000,00	23.000,00	19.550,00	0
Agregado Fino	42.000,00	42.000,00	42.000,00	42.000,00
Cemento	200.000,00	200.000,00	200.000,00	200.000,00
Agregado RCD	0	0	0	0
Agua	56.000,00	56.000,00	56.000,00	56.000,00
Total	344.000,00	321.000,00	317.550,00	298.000,00

Fuente: Elaboración Propia

13.RESULTADOS E IMPACTOS

A continuación, se presenta los resultados relacionados con la ejecución del proyecto, en una adecuada lista, donde se indica su relación con los objetivos propuestos.

Tabla 13-1. Resultados esperados del trabajo investigativo

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Obtención del material útil de una muestra de residuos de construcción y demolición como agregado grueso, para una mezcla de concreto.	Clasificación adecuada de los RCD, que maximice aquel material óptimo para una mezcla de concreto	Objetivo específico 1
Cantidades pertinentes para el diseño de mezcla del concreto, teniendo en cuenta la variación adecuada de porcentaje de residuos de demolición y construcción	Dosificación apropiada del diseño de mezcla.	Objetivo específico 2
Relación costo beneficio del concreto convencional de 3000 psi y el concreto con agregado grueso reciclado (RCD).	Costo/Beneficio en cuanto a la producción del concreto con RCD.	Objetivo específico 2
Módulo de elasticidad del concreto y la relación de Poisson, de acuerdo a la normatividad	Resultados obtenidos del módulo de elasticidad E y relación de Poisson, que demuestren la viabilidad de sus propiedades mecánicas.	Objetivo específico 3
Estudio del desempeño del concreto convencional respecto al concreto con agregado grueso a partir de RCD.	Resultados y análisis obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión (F'_c) de los especímenes fallados.	Objetivo específico 4

Fuente: Elaboración Propia

La elaboración de este proyecto se dio con el fin de investigar que tan optimo puede ser una mezcla de concreto a partir de agregado grueso reciclado por parte de residuos de construcción y demolición teniendo en cuenta diferentes tipos de porcentajes como lo indica el apartado de etapas y tareas, el análisis del mismo se realiza con las propiedades mecánicas obtenidas de diferentes ensayos normativos.

Tabla 13-2. Impactos obtenidos del trabajo investigativo

Aspecto	Impacto	Supuesto	Plazo
Social	- Disminución de contaminación - Oportunidad de desarrollo social	Este proyecto sirve para mejorar la salud pública, pues da manejo a un material que puede generar enfermedades al estar expuesto en el medio. A partir de esta investigación se puede fomentar el desarrollo de viviendas de interés social con precios asequibles de buena calidad	Mediano
Económico	Reducción de costos para la producción de concreto	Ya que se reemplaza el agregado grueso de cantera por RCD esto reduce sustancialmente el presupuesto para la elaboración de concreto	Corto
Académico	Aporte de información	Al analizar las propiedades físicas y mecánicas del RCD en el concreto abre paso para el análisis químico y demás en la que la comunidad académica puede incursionar para mejorar la reutilización del RCD	Largo

Fuente: Elaboración Propia

14. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

14.1. CONCLUSIONES

El material de RCD posee características de absorción, humedad y manejabilidad que influyen de cierta manera en la fase de elaboración y vertido de la mezcla en comparación con el agregado convencional, pues inciden en esta etapa con respecto a la fluidez, manejabilidad y terminado, dado que las partículas al no ser homogéneas facilitan que la mezcla pierda su forma. No obstante, es importante resaltar que el agua contribuye significativamente en este aspecto, pues el alto nivel de absorción y demanda de hidratación del agregado reciclado, causó que se añadiese más cantidad de este componente al realizar las muestras para obtener una textura y consistencia adecuada.

El RCD como material sustituto del agregado grueso cuenta con una serie de características peculiares las cuales influyen en los resultados obtenidos. En primer lugar, el RCD no es un material que se encuentra naturalmente en un tamaño adecuado para ser trabajado, tal como es el caso del agregado natural. Por otra parte, el agregado RCD cuenta con una morfología heterogénea lo cual hace difícil su manejabilidad y por lo tanto su asentamiento y compactación entre partículas, también este agregado reciclado ha pasado por procesos anteriores en donde ha sido sometido a esfuerzos y expuestos a ambientes agresivos en los cuales sus capacidades han sido puestas a prueba y así mismo han sufrido desgastes como oxidación, ataque de sales, sulfatos, retracción, microorganismos y demás. Para conseguir que este material se asemeje al del agregado convencional se debe realizar no solo un proceso de selección de partículas, sino que, además, debe pasar por un proceso de trituración hasta que llegue a ser lo suficientemente pequeño para ser trabajable a tal punto, que los extremos prominentes se desgasten lo suficiente para que la adherencia con la pasta del concreto sea la más óptima.

El RCD es también un agregado compuesto de distintos materiales y partículas que pueden desfavorecer su capacidad de adhesión a los nuevos materiales con los cuales generará enlaces para mantener su forma y resistencia. La constitución física de este tipo de material ocasiona que el concreto se fracture fácilmente.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo a compresión se observaron distintos comportamiento y tendencias de los especímenes, en primer lugar se determina que los cilindros con agregado grueso tienen una maduración retardada los primeros 14 días, como en el caso de los testigos del 75% y 100% de agregado RCD, por otra parte las mezclas convencional y con 50% RCD ya habían superado la resistencia de diseño de 21 MPa a esta edad, debido a que el material reciclado presenta características granulométricas y físicas distintas al del agregado natural.

Por otra parte, se concluye que la dosificación óptima de agregado RCD para la elaboración de concreto es del 50%, ya que este obtuvo un resultado positivo en comparación a los demás porcentajes de reemplazo e incluso alcanzó una

resistencia por encima de la mezcla convencional. La disminución de la resistencia en los especímenes del 75% y 100% está relacionada con la alta absorción de agua e incremento de la relación A/C de los agregados RCD, lo cual produce un efecto negativo que genera porosidades y/o cavidades dentro del concreto de modo que sea susceptible a fracturas internas y colapso.

Para evitar patologías de porosidad en el concreto a partir de RCD como se evidencia en el registro fotográfico en la Ilustración 12-7. Patología de porosidad en muestra de espécimen de los cilindros, se recomienda tomar en cuenta los parámetros de absorción y humedad del RCD dentro del diseño de mezcla con el objetivo de evitar dicha patología.

En las muestras del 75% y 100% RCD a los 56 días de maduración se evidencia una resistencia menor en comparación de los especímenes del 50% RCD y convencional, al analizar estos especímenes tras un periodo de tiempo significativo y luego de observar las condiciones del entorno en donde transcurre el proceso de curado se determinó que estos últimos cilindros tienen una mejor capacidad de durabilidad, ya que todas las muestras estuvieron expuestas a diferentes acciones químicas (variaciones climáticas y del PH del concreto debido al agua estancada) y biológicas tales como microorganismos (hongos, larvas, bacterias) pues los cilindros no tenían ninguna protección en contra de la intemperie lo cual permitió la entrada de los agentes biológicos.

Los valores del módulo de elasticidad disminuyen en especímenes que contienen agregado grueso reciclado, para el caso de los testigos del 75% y 100% los cuales arrojaron resultados 22,2% y 25,43% respectivamente por debajo del cilindro convencional, implica que a mayor cantidad de agregado RCD el concreto tendrá mayores deformaciones y posteriormente una alta probabilidad de falla prematura, debido a que el material reciclado ha sido sometido a esfuerzos en su estado anterior como estructura, no obstante en consecuencia al nivel de porosidad que genera el RCD dentro de la muestra ocasiona deformaciones notables.

A partir de los resultados de la **Tabla 12-7** se puede afirmar que a mayor cantidad de agregado RCD en los cilindros, este obtendrá un módulo de elasticidad menor. No obstante, comparando las muestras experimentales con el valor teórico se evidencia que las muestras del 75% y 100% de agregado RCD presentan pérdida de su capacidad de deformación en menos del 7%, esto implica que su comportamiento elástico es similar al valor teórico. También se puede afirmar que, la dosificación ideal es la mezcla de agregado con 50% RCD debido a que presenta un módulo de elasticidad mayor al teórico.

En los resultados obtenidos de la relación de Poisson en los especímenes de agregado convencional y RCD se evidencia un comportamiento aceptable dentro de los valores comunes para esta variable es decir 0,15 y 0,2. No obstante, la tendencia de los valores indica que entre más contenido de agregado reciclado tenga el concreto, mayor será la relación de Poisson y para el caso del 50% RCD y convencional demostró ser menor.

La mezcla con agregado grueso de RCD respecto a la mezcla convencional, demuestra que en cuanto a precios unitarios de cada componente para el concreto es más económica, sin tener en cuenta factores como mano de obra, transporte, máquinas y/o electricidad, es más favorable su elaboración mediante el agregado reciclado. Teniendo en cuenta el aporte favorable en cuanto a propiedades mecánicas de la mezcla a partir de 50% de agregado grueso de RCD, se puede hacer una comparación pertinente de la mezcla ejemplo, pues se obtendría un ahorro de \$23.000,00 COP, aunque en cantidades mínimas esta diferencia de minimizar costos no es tan grande; en una obra de gran envergadura si marca la diferencia y más aún cuando los factores mencionados anteriormente para la distribución de los mismos son a un nivel industrial.

La utilización del agregado reciclado en reemplazo del natural tiene ventajas ambientales significativas, ya que minimiza el uso de del agregado natural lo cual implica una reducción de la explotación y acción nociva de la minería a cielo abierto para la obtención de estos agregados, por otra parte da uso a los desechos generados por los procesos constantes de remodelación y demolición que se desarrollan gracias al auge de la tecnología y desarrollo social actual esto no implica la reducción total de la problemática ambiental en relación a las actividades mencionadas anteriormente, pues en cierto modo ayuda en la reducción de contaminantes liberados en el proceso en que los residuos se depositan en lugares como vertederos o botaderos. Al realizar proyectos de infraestructura social o diversas aplicaciones de la construcción, incluir agregado reciclado en una mezcla de concreto es una de las opciones económica y mecánicamente más adecuadas. Hoy en día la demanda de viviendas es uno de los problemas sociales que requieren de mayor importancia y alternativas como el RCD demuestran que si es posible satisfacer esta necesidad teniendo en cuenta todas las ventajas que otorga el concreto con la utilización de este tipo de material.

En cuanto a recomendaciones, la clasificación del RCD es necesario realizarla con nuestras propias manos a tal punto de dejar las partículas de tamaño decente, que al momento de introducirlas a la máquina de los ángeles, el desgaste de estas no sea tan grande que a tal punto se vuelva polvo, por ende lo más apropiado es con un martillo de metal, triturarlas hasta que queden de un tamaño casi igual a las del agregado de cantera; realizado esto se puede proceder a meterlas a la máquina de los ángeles para que la textura y forma del material sea semejante al convencional y que la aglomeración de la mezcla sea la más adecuada.

14.2. TRABAJOS FUTUROS

El proyecto presentado es un gran aporte inicial para aquellas investigaciones que están interesadas en el comportamiento del concreto a partir de residuos de construcción y demolición, recordando que la producción y distribución del concreto es una alta fuente de contribución al CO₂, se busca que estos materiales sustentables aporten en la industria de la construcción de tal manera que conserven tanto la durabilidad como las propiedades mecánicas. Trabajos de investigación que se dirijan por la rama de los RCD contribuyen de manera precisa en el campo de la

innovación, pues trabajos futuros se pueden implementar en la normatividad donde se sustente a partir de estudios internacionales ya realizados, porque, aunque sea una temática que hasta ahora se está empezando a estudiar, si se le apuesta mucho ya que hoy en día lo que se busca es crear proyectos que sean sustentables en la parte social, ambiental y económico.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Medina Cesar; Zhu Wenzhong; Howind Torsten; María Isabel Sanchez de Rojas; Moisés Frías, «Influence of mixed recycled aggregate on the physical e mechanical,» Elseiver Ltd, Cáceres; Paisley; Madrid, 2014.
- [2] GRUPO ARGOS, «Agregados Reciclados: ¿Qué y para qué?,» ARGOS, Bogotá.
- [3] DANE; Banco de la Republica , «INFORME DE COYUNTURA ECONÓMICA REGIONAL (META),» DANE, Banco de la Republica , Bogotá, 2016.
- [4] Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, «ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO,» Chantal Dufresne, BA, Madrid, 1998.
- [5] Castellanos Julio ; Rivera Fredy; Roa Miguel ;, «COMPARACIÓN ESTRUCTURAL Y ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA UTILIZACIÓN DE CONCRETO CON AGREGADOS NATURALES Y CONCRETO CON RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (R.C.D.) COMO AGREGADO.,» UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, Bogotá, 2017.
- [6] Dzul Luis; Bedoya Carlos;, «El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana,» Scientific Electronic Library Online, Medellín; Campeche, 2015.
- [7] Ing. Diego Sanchez de Guzman, Tecnología del Concreto (Tercera Edición), Bogotá: ASOCRETO, 2010.
- [8] ARTHUR H. NILSON, Diseño de estructuras de concreto (Duodécima edición), New York: McGraw Hill, 2001.
- [9] Bustamante Romero , Iskra Guisele ;, «Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú,» Pontifica UNIVERSIDAD CATÓLICA del Perú, Lima, 2017.
- [10] Jorge Ignacio Segura Franco, ESTRUCTURAS DE CONCRETO I (7ma Edición), Bogotá: Universidad Nacional de Colombia , 2007.
- [11] Ministerio de Hacienda, «Transferencia Tecnológica relativa a materiales de construcción, incluyendo materiales marginales y residuos aprovechables,» SECEGSA, España, 2013.
- [12] Ing. Fabio Andrés Guacaneme Lizarazo , «VENTAJAS Y USOS DEL CONCRETO RECICLADO,» UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, Bogotá, 2015.
- [13] Alfonso, Agreda Gonzalo; Lizeth, Moncada Ginna, «Viabilidad en la elaboracion de prefabricados en concreto usando agregados gruesos reciclados,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2015.
- [14] Stefania Manzi; Claudio Mazzotti; Maria Chiara Bignozzi;, «Short and long-term behavior of structural concrete with recycled concrete aggregate,» Elseiver Ltd, Bologna, 2013.
- [15] Ángel Sánchez Inocencio, «Ángel Sánchez Inocencio Ingeniero de Edificaciones,» Castilla-La Mancha; Fondo Social Europeo, 13 Abril 2016. [En línea]. Available: <https://3.bp.blogspot.com/-QLI6jUg7MOU/VxYCYtazH7I/AAAAAAAAAsQ/F4ECRR3XzG0WoCFRIsZNztLzUJpriCLGACLcB/s1600/grafico%2Brcd.png>. [Último acceso: 25 Octubre 2019].
- [16] Ravindra K. Dhir; Jorge de Brito; Rui V. Silva; Chao Qun Lye;, «Recycled Aggregate Concrete: Durability Properties,» de *Sustainable Construction Materials*, Elsevier Ltd, 2019, pp. 365-418.
- [17] Dunster Andrew M; Purnell Phil;, «Recycling of concrete,» de *Management, Recycling and Reuse of Waste Composites*, Reino Unido, Woodhead Publishing Limited, 2010, pp. Pages 569-591.
- [18] Oral Büyüköztürk; Lau Denvid, «High Performance Concrete: Fundamentals and Application,» Instituto de Tecnología de Massachusetts, Cambridge, 2002.
- [19] Domínguez Lepe, JA, y Martínez L., Emilio, «Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas,» *Ingeniería Revista Académica* , vol. 11, nº 3, pp. 43-54, 2007.

- [20] Muñoz Becerra, Juan Pablo, «EFECTOS DE LA SILICE AMORFA EN LAS PROPIEDADES CRISTALOQUIMICAS Y MECANICAS DEL HORMIGON EN UN MEDIO SALINO,» Universidad Austral de Chile, Valdivia, 2014.
- [21] Moreno Anselmi, Luis A. ; Ospina Garcia , Miguel A.; Rodriguez Polo, Kelly A., «Propiedades mecánicas del concreto,» *ESPACIOS*, vol. 40, nº 4, p. 12, 2019.

ANEXOS

ANEXO A

EXCEL DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN DE LOS DIFERENTES ESPECIMENES EN SUS RESPECTIVOS DÍAS DE EDAD.