

REPOSITORIO ACADÉMICO UPC

Uso de agregados reciclados proveniente del concreto de edificaciones en Lima Metropolitana para su aplicación en veredas con $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Item Type	info:eu-repo/semantics/bachelorThesis
Authors	Carbonel Macedo, Renzo Adrian; Quinteros Vásquez, Brian Mark
Citation	http://doi.org/10.19083/tesis/652571
Publisher	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
Rights	info:eu-repo/semantics/openAccess
Download date	28/11/2024 01:40:40
Item License	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Link to Item	http://hdl.handle.net/10757/652571



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**USO DE AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTE DEL
CONCRETO DE EDIFICACIONES EN LIMA METROPOLITANA PARA
SU APLICACIÓN EN VEREDAS CON $f'c = 175 \text{ KG/CM}^2$**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Carbonel Macedo, Renzo Adrián (0000-0001-8006-9515)

Quinteros Vásquez, Brian Mark (0000-0003-2051-9988)

ASESOR

Torre Carrillo, Ana Victoria (0000-0002-7662-5360)

Lima, 03 de agosto del 2020

DEDICATORIA

A mis padres Elena y Marco, por el amor, el apoyo incondicional, las virtudes y los buenos ejemplos que me brindaron y guiaron día a día desde que nací con el objetivo de formar a su hijo en un profesional de excelencia. A los miembros de mi familia que me alentaron a concluir con éxito esta travesía. A mi amor, que estuvo conmigo motivándome desde días antes de que ingrese por primera vez a la universidad hasta la actualidad. A mis mejores amigos, que estuvieron siempre a mi lado en las buenas y en las malas. Y a los docentes de mi facultad, ejemplos de profesionalismo que forjaron mi carácter como Ingeniero Civil.

Brian Quinteros

DEDICATORIA

A mis padres Eduardo y Giovanna, que todo lo que he logrado es gracias a ellos y para ellos. A mis hermanos, por su apoyo y comprensión en esta parte importante de mi vida. A mis compañeros de estudio, por la convivencia y compartir de aprendizaje en esta etapa universitaria. Y, por último, a los docentes que transmitieron sus conocimientos para formar a un profesional íntegro preparado para cualquier reto de la vida.

Renzo Carbonel

RESUMEN

La presente tesis evalúa y analiza el comportamiento y las propiedades físicas y mecánicas del uso del agregado grueso reciclado obtenido de la reutilización de un concreto eliminado en obra para la elaboración de una nueva mezcla que cumpla con la norma técnica peruana y con estándares mínimos de calidad. Esta nueva mezcla se obtuvo de un muestreo de diferentes porcentajes de remplazo del agregado grueso (25%, 50 % y 100 %) donde se elegirá la más óptima mediante el performance obtenido de los ensayos en laboratorio y así aplicar el diseño de mezcla elegido para la construcción de una vereda. Además, plantea un sistema de gestión mediante un flujo-grama genérico de cómo se podría obtener agregados reciclados y entre otros residuos en una dimensión mucho mayor a la actual con la finalidad de disminuir la cantidad existente en nuestra capital y por ende ayudar a disminuir la contaminación ambiental.

Palabras clave: Agregado reciclado, residuos de construcción y demolición (RCD), sistema de gestión, diseño de mezcla, pavimentos especiales.

Use of recycled aggregates from the concrete of buildings in Lima Metropolitan for
application in sidewalks with $f'_c = 175 \frac{kg}{cm^2}$

ABSTRACT

This thesis evaluates and analyzes the behavior and physical and mechanical properties of the use of the recycled coarse aggregate obtained from the reuse of a concrete removed on site for the preparation of a new mixture that complies with the Peruvian technical standard and with minimum quality standards. This new mixture was obtained from a sampling of different percentages of replacement of the coarse aggregate (25%, 50% and 100%) where the most optimal will be chosen through the performance obtained from the laboratory tests and thus apply the mixture design chosen for the construction of a sidewalk. In addition, it proposes a management system through a generic flow-gram of how recycled aggregates and other waste could be obtained in a much larger dimension than the current one in order to reduce the amount existing in our capital and therefore help reduce the environmental pollution.

Keywords: Recycled aggregate, Construction and demolition waste (RCD), management system, mixing design, special flooring.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	5
1.3 Realidad Problemática	8
1.4 Formulación del problema	12
1.5 Formulación de la hipótesis	12
1.6 Objetivos	13
1.6.1 Objetivo general	13
1.6.2 Objetivos específicos	13
1.7 Método de Trabajo	13
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	18
2.1 Método de trituración	18
2.1.1 Tipos de trituradoras típicas para concreto	18
2.1.2 Método de trituración de Cajas Ecológicas	20
2.2 Aplicaciones en la ingeniería civil	20
2.2.1 Escenario mundial	21
2.2.2 Escenario nacional	21
2.3 Materiales involucrados	22
2.3.1 Cemento	23
2.3.2 Agregados Naturales	23
2.3.2.1 Agregados finos	23
2.3.2.2 Agregados Gruesos	24
2.3.3 Agua	24
2.3.4 Aditivos	25
2.3.5 Agregados Reciclados	25
2.4 Normativas	26
2.4.1 Normativa Nacional	26
2.4.2 Normativa Internacional	27
2.5 Estado del arte	30
2.5.1 Planes de gestión de recolección del concreto a nivel internacional	30

2.5.2 Propiedades del concreto con AGR a nivel internacional.....	35
CAPITULO 3: DESARROLO EXPERIMENTAL.....	38
OBJETIVO 1.....	38
3.1 Fundamento	38
3.2 Estructura	42
3.3 Desarrollo.....	42
OBJETIVO 2.....	45
3.4 Ensayo de agregados.....	45
3.4.1 Introducción.....	45
3.4.2 Granulometría.....	45
3.4.2.1 Análisis granulométrico del agregado fino	46
3.4.2.2 Análisis granulométrico del agregado grueso convencional	49
3.4.2.3 Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado.....	51
3.4.3 Peso específico y absorción.....	53
3.4.3.1 Peso específico y absorción de agregados finos.....	53
3.4.3.2 Peso específico y absorción de los agregados gruesos	56
3.4.4 Peso unitario suelto y compacto de los agregados	59
3.4.4.1 Determinación del peso unitario del agregado fino.....	60
3.4.4.2 Determinación del peso unitario del agregado grueso convencional	61
3.4.4.3 Determinación del peso unitario del agregado grueso reciclado:.....	62
3.4.5 Humedad natural de los agregados.....	63
3.4.5.1 Contenido de humedad del agregado fino	64
3.4.5.2 Contenido de humedad del agregado grueso convencional.....	65
3.4.5.3 Contenido de humedad del agregado grueso reciclado	65
3.4.6 Abrasión de los Ángeles.....	66
3.4.7 Resumen de los ensayos:.....	67
OBJETIVO 3.....	69
3.5 Diseño de mezcla	69
3.5.1 Introducción.....	69
3.5.2 Primera etapa de mezclas	74
3.5.2.1 Diseño Patrón	74
3.5.2.2 Diseño AGR – 25%	77

3.5.2.3 Diseño AGR – 50%	80
3.5.2.4 Diseño AGR – 100%	83
3.5.2.5 Análisis de resultados – Primera Tanda	86
3.5.3 Segunda etapa de mezclas	91
3.5.3.1 Diseño patrón.....	93
3.5.3.2 Diseño AGR – 25 %	94
3.5.3.3 Diseño AGR – 50%	95
3.5.3.4 Diseño AGR – 100%	96
OBJETIVO 4	97
3.6 Ensayos en concreto fresco.....	97
3.6.1 Asentamiento del concreto (Slump).....	97
3.6.2 Peso unitario.....	99
3.7 Ensayos en concreto endurecido.....	100
3.7.1 Resistencia a la compresión.....	100
3.7.1.1 Resistencia a la compresión para la primera etapa de vaciados:.....	101
3.7.2 Resistencia a la tracción indirecta	105
3.7.3 Resistencia a la flexión.....	108
OBJETIVO 5	111
3.8 Aplicación del diseño obtenido en veredas.....	111
3.8.1 Características de la vereda	111
3.9 Análisis de precios unitarios	113
3.10 Procedimiento constructivo	117
3.11 Ensayo en concreto endurecido del molde en vereda	121
3.11.1 Ensayo de extracción de diamantina	121
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES	123
CAPÍTULO 5: RECOMENDACIONES	127
CAPITULO 6: BIBLIOGRAFÍA	130
ANEXOS	135
ANEXO 1. ENSAYO DE ABRASIÓN DE LOS ÁNGELOS DE AGREGADO GRUESO RECICLADO.....	135
ANEXO 2. PANEL FOTOGRÁFICO.....	136
ANEXO 3. ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS TÉSTIGOSEXTRAIDAS CON DIAMANTINA	141

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de residuos de construcción y demolición reciclados generado por países.	6
Tabla 2. Requerimientos mínimos para diseño de mezcla.	15
Tabla 3. Código y descripción de diseños de mezcla a utilizar.....	17
Tabla 4. Requerimientos para los agregados reciclados según el código alemán Daftsb.	28
Tabla 5. Campo de aplicación y restricciones del concreto reciclado.....	29
Tabla 6. Máxima cantidad de agregado reciclado según la cantidad total de agregado (a) y la fracción granular (b).	30
Tabla 7. Análisis granulométrico del agregado fino - Tara #3.....	46
Tabla 8. Análisis granulométrico del agregado fino - Tara #4.....	47
Tabla 9. Análisis granulométrico del agregado grueso convencional - Tara A.	49
Tabla 10. Análisis granulométrico del agregado grueso convencional - Tara B.....	49
Tabla 11. Análisis granulométrico del agregado grueso convencional - Tara C.....	51
Tabla 12. Análisis granulométrico del agregado grueso convencional - Tara D.	51
Tabla 13. Datos iniciales para ensayo de peso específico y absorción del agregado fino....	55
Tabla 14. Peso específico y absorción del agregado fino.....	55
Tabla 15. Datos iniciales para ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso convencional.....	57
Tabla 16. Peso específico y absorción del agregado grueso convencional.	57
Tabla 17. Datos iniciales para ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso reciclado.....	58
Tabla 18. Peso específico y absorción del agregado grueso reciclado.	58
Tabla 19. Peso específico y absorción del agregado grueso reciclado.	59
Tabla 20. Peso unitario suelto del agregado fino.	60
Tabla 21. Peso unitario compactado del agregado fino.....	60
Tabla 22. Peso unitario suelto del agregado grueso convencional.	61
Tabla 23. Peso unitario compactado del agregado grueso convencional.	61
Tabla 24. Peso unitario suelto del agregado grueso reciclado.....	62
Tabla 25. Peso unitario compactado del agregado grueso reciclado.....	62
Tabla 26. Datos iniciales para ensayo de contenido de humedad.	64
Tabla 27. Contenido de humedad del agregado fino.....	64
Tabla 28. Contenido de humedad del agregado grueso convencional.	65
Tabla 29. Contenido de humedad del agregado grueso reciclado.	65
Tabla 30. Gradación de las muestras de ensayo Abrasión de los Ángeles.	66
Tabla 31. Ensayo de Abrasión de los Ángeles.	67
Tabla 32. Resumen de propiedades de agregados.	68
Tabla 33. Volumen unitario de agua.	70
Tabla 34. Contenido de aire atrapado.....	71
Tabla 35. Relación a/c en peso.	72

Tabla 36. Módulo de fineza de la combinación de agregados.....	73
Tabla 37. Diseño de mezcla patrón con relación $a/c = 0.5$	75
Tabla 38. Diseño de mezcla patrón con relación $a/c = 0.6$	76
Tabla 39. Diseño de mezcla patrón con relación $a/c = 0.7$	77
Tabla 40. Diseño de mezcla AGR - 25% con relación $a/c = 0.5$	78
Tabla 41. Diseño de mezcla AGR - 25% con relación $a/c = 0.6$	79
Tabla 42. Diseño de mezcla AGR - 25% con relación $a/c = 0.7$	80
Tabla 43. Diseño de mezcla AGR - 50% con relación $a/c = 0.5$	81
Tabla 44. Diseño de mezcla AGR - 50% con relación $a/c = 0.6$	82
Tabla 45. Diseño de mezcla AGR - 50% con relación $a/c = 0.7$	83
Tabla 46. Diseño de mezcla AGR -100% con relación $a/c = 0.5$	84
Tabla 47. Diseño de mezcla AGR - 100% con relación $a/c = 0.6$	85
Tabla 48. Diseño de mezcla AGR - 100% con relación $a/c = 0.7$	86
Tabla 49. Relación a/c de cada uno de los diseños de mezcla finales.....	91
Tabla 50. Relación a/c con factor de seguridad de diseños de mezclas finales.....	92
Tabla 51. Diseño de mezcla patrón con relación $a/c = 0.65$	93
Tabla 52. Diseño de mezcla AGR - 25% con relación $a/c = 0.60$	94
Tabla 53. Diseño de mezcla AGR - 50% con relación $a/c = 0.55$	95
Tabla 54. Diseño de mezcla AGR - 100% con relación $a/c = 0.50$	96
Tabla 55. Slump por cada diseño de mezcla.	98
Tabla 56. Pesos unitarios de las mezclas de concreto – segunda etapa.....	99
Tabla 57. Peso unitario teórico, real y rendimiento de las mezclas de concreto.	100
Tabla 58. Resistencia a la compresión a los 7 días de la primera etapa de mezclas.	101
Tabla 59. Resistencia a la compresión a los 28 días de la segunda etapa de mezclas.....	105
Tabla 60. Resistencia a la tracción a los 28 días	106
Tabla 61. Resistencia a la flexión a los 28 días.....	109
Tabla 62. Requisitos mínimos para pavimentos especiales.....	112
Tabla 63. Precios unitarios para mezcla patrón.....	114
Tabla 64. Precios unitarios para mezcla con 25% de AGR.....	114
Tabla 65. Precios unitarios para mezcla con 50% de AGR.....	115
Tabla 66. Precios unitarios para mezcla con 100% de AGR.....	115
Tabla 67. Tabla comparativa de precios unitarios para diseños de mezcla.....	116
Tabla 68. Tabla comparativa de precios unitarios para diseños de mezcla con UNICON.....	116
Tabla 69. Resultados de resistencia a la compresión (kg/cm^2) a 28 días de probetas extraídas con diamantina.	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de PBI según actividad económica del Perú.	2
Figura 2. Participación de la construcción en el PBI en los últimos años en el Perú.	3
Figura 3. Desmonte de residuos de construcción en Lima Metropolitana.	4
Figura 4. Gestión de RCD en España 2010-2015.	7
Figura 5. Cantidad de licencias de edificación para viviendas multifamiliares en Lima.	9
Figura 6. Terrenos identificados con potencial para uso de escombrera.	11
Figura 7. Trituradora tipo mandíbula.	19
Figura 8. Trituradora de cono.	19
Figura 9. Trituradora de impacto.	20
Figura 10. Productos de concreto reciclado hecho por la empresa MP Recicla S.A.C.	22
Figura 11. Propuesta de sistema de gestión de RCD – 3 R.	31
Figura 12. Diagrama de flujo para la gestión de RCD.	33
Figura 13. Esquema de una planta de tratamiento de RCD.	34
Figura 14. Porcentaje de cumplimiento para la gestión y manejo de residuos sólidos en cada departamento del Perú.	40
Figura 15. Flujograma del procedimiento de recolección de residuos sólidos de la empresa Cajas Ecológicas.	41
Figura 16. Propuesta mediante flujograma del procedimiento de recolección de residuos sólidos.	43
Figura 17. Curva de distribución granulométrica del agregado fino - Tara #3.	47
Figura 18. Curva de distribución granulométrica del agregado fino - Tara #4.	48
Figura 19. Curva granulométrica del agregado grueso convencional - Tara A.	50
Figura 20. Curva granulométrica del agregado grueso convencional - Tara B.	50
Figura 21. Curva de distribución granulométrica del agregado grueso convencional – Tara C.	52
Figura 22. Curva de distribución granulométrica del agregado grueso convencional – Tara D.	53
Figura 23. Relación $f'c$ vs relación ac de CC.	87
Figura 24. Relación $f'c$ vs relación a/c de CR - 25% AGR.	88
Figura 25. Relación $F'c$ vs relación a/c de CR - 50% AGR.	89
Figura 26 Relación $f'c$ vs relación a/c de CR - 100% AGR.	90
Figura 27. Resistencia a la compresión a 7 días con relación $a/c = 0.5$	102
Figura 28. Resistencia a la compresión a 7 días con relación $a/c = 0.6$	103
Figura 29. Resistencia a la compresión a 7 días - relación $a/c = 0.7$	104
Figura 30. Resistencia a la tracción a los 28 días.	107
Figura 31. Resistencia a la flexión a los 28 días.	110
Figura 32. Terreno compactado a un 95% por una capa de 15 cm como mínimo.	117
Figura 33. Encofrado de molde de vereda.	118
Figura 34. Recolección de los materiales antes del vaciado en la mezcladora.	118
Figura 35. Colocación de materiales en la mezcladora.	119
Figura 36. Vaciado de concreto en el molde de vereda.	120

Figura 37. Nivelación y emparejamiento del vaciado	120
Figura 38. Molde terminado de concreto con agregado reciclado	121

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

El siguiente capítulo tiene como objetivo plasmar los conceptos previos, la problemática y el alcance que se detallaran a lo largo de la presente tesis. En primer lugar, se describe como la gran industria de la construcción a lo largo de la historia se ha posicionado en la economía mundial como una de las principales potencias, pero a su vez en uno de los principales sectores más contaminantes del mundo, en la cual nuestro país no ha sido discriminado. En segundo lugar, ante la evidente problemática de residuos de construcción, se justifica mediante investigaciones como el concreto es uno de los materiales con mayor cantidad de merma y se ha podido mitigar mediante técnicas de reciclaje, una de ellas, es el uso de agregados reciclados proveniente de la merma de concreto. Sin embargo, esta técnica es poco utilizada en nuestro país por varios factores que se detallaran en la presente tesis. Por último, se presentará el alcance y la forma de trabajo para aplicar dicha técnica mencionada anteriormente en nuestra realidad y a su vez darle una aplicación final, en un elemento no estructural (vereda).

1.1 Introducción

La industria de la construcción se encarga de satisfacer las necesidades de infraestructura tanto en actividades económicas como sociales de un país. El principal material que se usa es la construcción es el concreto. El concreto, segundo material más usado en el mundo, presenta una estructura plástica y moldeable durante su estado fresco y propiedades aislantes y resistentes durante su estado sólido, lo que lo hace un material ideal para la construcción (Pasquel Carbajal, 1993). Se estima que se fabrica 25 billones de toneladas de concreto cada año alrededor del mundo (Klee, 2009).

La industria del concreto usa aproximadamente 10 billones de toneladas de arena y piedra en el mundo, y a la vez produce 11 billones de toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD) anualmente (Okinomou, 2005). Además, la producción de estos materiales consume mucha energía, por ejemplo, el cemento, componente principal para la

producción de concreto, necesita 3.79 millones de Btus para su producción por cada tonelada. Este consumo de energía conduce a una alta emisión de gases de efecto invernadero, que representa aproximadamente el 7% de emisiones de CO_2 en el mundo (Meyer, 2005).

En la figura 1 y 2, se muestra como en el Perú, la construcción es uno de los sectores más representativos, ya que representa el 5.84 % del PBI de nuestro país y a lo largo de los últimos 10 años ha permanecido en un promedio de 6.17 % (Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2017).

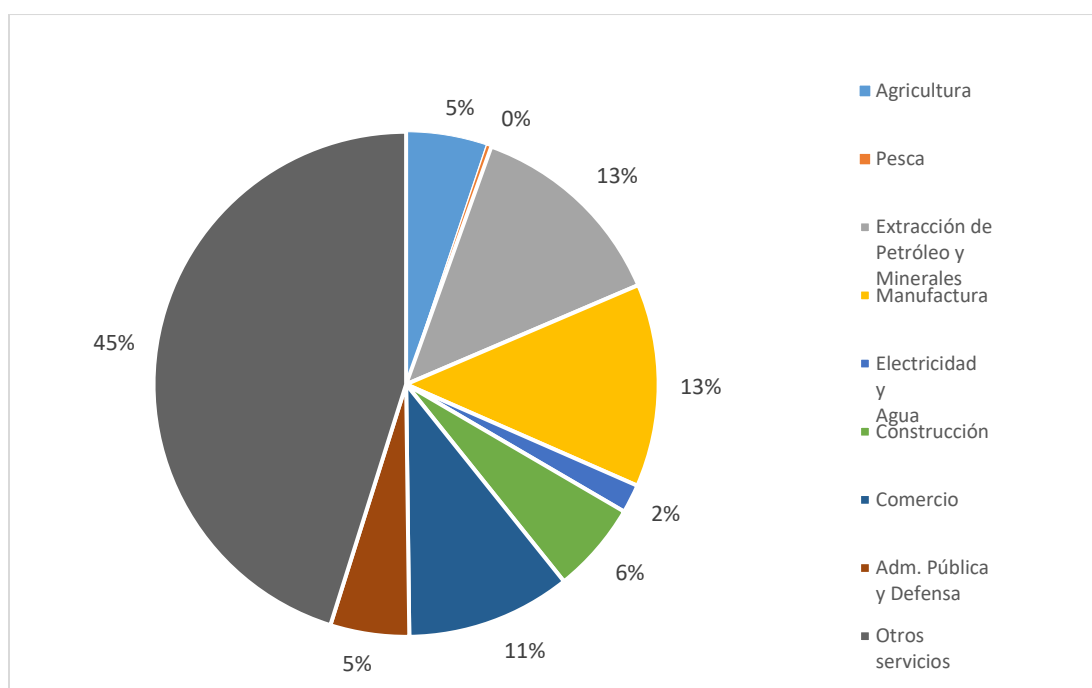


Figura 1. Porcentaje de PBI según actividad económica del Perú.

Fuente: adaptada de (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

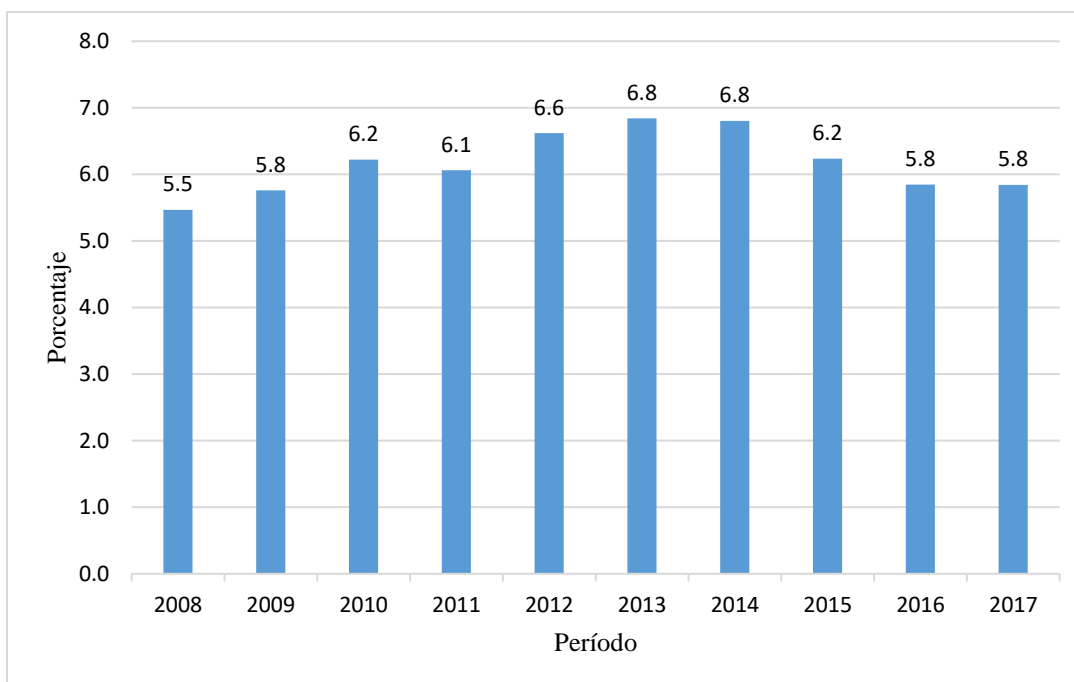


Figura 2. Participación de la construcción en el PBI en los últimos años en el Perú.

Fuente: adaptada de (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

A pesar de ser un sector tan importante para la contribución del desarrollo de la economía de nuestro país, es también uno de los principales sectores que contaminan al medio ambiente por todos los desechos que estos arrojan (Ministerio del Ambiente, 2015).

En Lima, se generan diariamente 19 000 toneladas de desmonte por obras de construcción y demolición, de los cuales solo el 30% va a puntos de acopio de residuo sólidos, mientras el 70% restante termina depositado en lugares no autorizados (Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO), 2017). Esto se debe principalmente por la poca cantidad y disponibilidad de estos centros de acopio o botaderos, en Lima solo existen 6 lugares autorizados para recibir residuos sólidos (Ministerio del Ambiente, 2018); y también, por la diferencia de costos entre depositar el desmonte en lugares autorizados y encargar el material a un mercado informal.

En la figura 3, se muestra cómo se origina que dicho material termine depositado en lugares como playas, ríos, terrenos abandonados, e incluso, en las mismas calles de la ciudad. Este es un gran problema que nos afecta y se vive día a día en el entorno de la ciudad.



Figura 3. Desmante de residuos de construcción en Lima Metropolitana.

Fuente: Extraída del (Diario El Comercio, 2017).

El Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), con la creación de Plan Nacional de Gestión integral de Residuos Sólidos 2016 - 2024, tiene como objetivo incentivar proyectos para una mejor gestión y control de residuos sólidos y, además, la construcción de infraestructuras para el manejo de este tipo de material (Ministerio del Ambiente, 2017) . Sin embargo, los resultados la gestión integral de residuos sólidos evaluado en el año 2014 muestran que se generaron 7.5 millones de toneladas de residuos sólidos municipales, de los cuales menos del 50% fueron dispuestos adecuadamente en rellenos sanitarios (Ministerio del Ambiente, 2015). Esto demuestra que a pesar de los esfuerzos que se hace para una gestión adecuada de los residuos sólidos en nuestro país, tenemos muchos problemas para la implementación y cumplimiento de estas normas que afecta al medio ambiente y a la salud pública.

Debido a que la industria de la construcción genera grandes cantidades de desmonte y no contamos con la suficiente capacidad de vertederos para su disposición y tratamiento, sería de mucha ayuda hacer uso de una nueva tecnología para reciclar el concreto y pueda ser usado en nuevas construcciones.

El reciclaje de concreto de construcción y demolición (RCD) se viene aplicando desde muchos años atrás y en diferentes países del mundo. La reutilización del concreto presenta dos ventajas principales: reduce la utilización de materia prima y los costos ambientales de explotación de estos recursos, y reduce el desecho innecesario de materiales de construcción que pueden ser recuperados y reutilizados. Sin embargo, es importante evaluar las propiedades del nuevo concreto para garantizar un comportamiento adecuado (Klee, 2009).

Es por ello que debido a la gran cantidad de residuos que genera el sector de construcción y los beneficios que se pueden obtener con el reciclaje del concreto, proponemos reutilizar el concreto sobrante en obras como nuevo agregado para que forme parte de una nueva mezcla de concreto y aplicarlo en la construcción de veredas.

1.2 Antecedentes

La reutilización de los residuos de la construcción y demolición se remonta a fines de la segunda guerra mundial donde debido a la gran destrucción que se ocasionó, quedaron millones de toneladas de desechos que quedaron de edificios arruinados o derribados (escombros). Muchos países de Europa aplicaron una gestión de reciclaje de estos residuos, en el cual resalta Alemania, debido a que procesó 100 millones de toneladas de escombros para elaborar agregados y así usarlos para la reconstrucción del país.

El tema de reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) está mucho más desarrollado en países como Alemania, Holanda, España, Australia, EEUU, Japón, entre otros, puesto que vienen realizando estudios desde muchos años atrás e incluso, han aplicado esta tecnología para la construcción de obras de gran magnitud.

Se estima que se produce anualmente 11 mil millones de toneladas de RCD en el mundo, en los cuales el concreto representa entre el 50% y 70% del total según el país (Mehta, 2001).

En la tabla 1, se muestra una lista de países con diferentes porcentajes de concreto que reciclan anualmente.

PAÍS	Total RCD (M de Ton)	Total RCD Reciclados	% de RCD reciclados
Alemania	201	179	89
Australia	14	8	57
Bélgica	14	12	86
España	39	4	10
EEUU	317	127	82
Francia	309	195	63
Holanda	26	25	95
Inglaterra	90	46	50-90
Irlanda	17	13	80
Japón	77	62	80
Suiza	7	2	98
Taiwan	63	58	91
Tailandia	10	-	-

Tabla 1. Porcentaje de residuos de construcción y demolición reciclados generado por países.

Fuente: adaptada de (EUROSTAT, 2010)

En la figura 4, se muestra por ejemplo que España es un gran exponente con respecto a temas de reciclaje de residuos de concreto y demolición. En el periodo 2011-2015, el 70% de todos los RCD producidos accedieron a instalaciones de gestores autorizados, donde el 39% se recicló, el 24% termino depositado en un vertedero y un 7% se encuentra en stock, el 30% restante se consideró incontrolado y depositado en lugares no autorizados (Torám, 2017). La Asociación Española de Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición, encargada de

toda la gestión de estos residuos en España, se proyecta que para el año 2020 se recicle el 70% de todos los RCD.

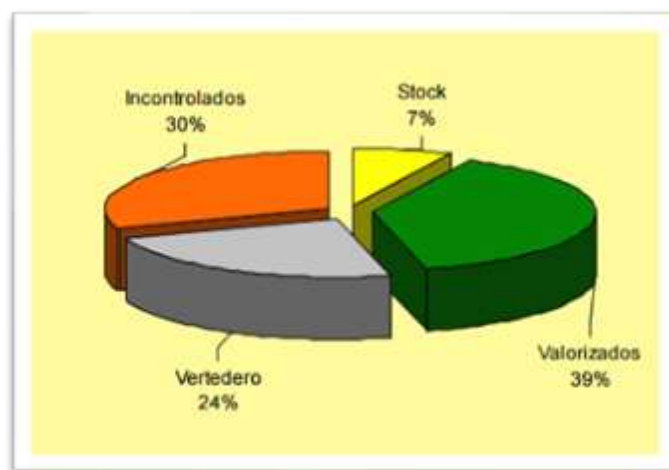


Figura 4. Gestión de RCD en España 2010-2015.

Fuente: Extraída de (Torám, 2017).

Australia es otro ejemplo de la aplicación del reciclaje del concreto desechado en obra y demolición, puesto que el concreto sobrante se transforma en agregado reciclado para la creación de un nuevo concreto. Cerca de cinco millones de toneladas de concreto reciclado y mampostería están disponibles en los mercados australianos principalmente en Melbourne y Sídney, de los cuales quinientos mil toneladas son de agregados de concreto reciclado (Cement, Concrete & Aggregates, 2008).

En América Latina, el reciclaje de concreto no está tan desarrollado como en países de Europa. Sin embargo, un país que viene un tiempo haciendo uso de esta tecnología es Brasil. En setiembre del 2006 fue inaugurada una planta central de reciclaje en San José de Rio Preto donde se reciclan miles de toneladas de residuos de construcción civil. A pesar de los beneficios tanto económicos y ambientales, la cantidad de residuos procesados no es lo suficiente para la cantidad de volumen generado. En cuanto a normativas para el reciclaje de RCD, Brasil cuenta con varias resoluciones en las cuales resalta la Resolución N°307, del consejo nacional del Medio Ambiente. (Santos, 2007)

Por otro lado, en México, país donde se producen 30 000 toneladas diarias de RCD, se encuentra la empresa “Concretos Reciclados”, primera empresa mexicana y pionera en Latinoamérica dedicado al reciclaje del concreto. Desde su creación en el 2004, recicla materiales como arcillas, tabiquería, concreto, ladrillos, entre otros; donde luego de su obtención, los materiales son triturados en diferentes granulometrías y luego ser usado con un nuevo tipo de agregado. (Concretos Reciclados, 2004)

A partir de los casos citados anteriormente, podemos ver que el reciclaje del concreto se viene practicando desde muchos años atrás en diferentes partes del mundo, dando buenos resultados para la conservación del medio ambiente y como una gran alternativa para la construcción sostenible. Por lo tanto, en Perú, es importante que se tomen acciones respecto al exceso de RCD siguiendo como ejemplo los modelos implementados en otros países.

1.3 Realidad Problemática

Anualmente se producen aproximadamente 2.9 millones de toneladas de residuos sólidos en los distritos de la provincia de Lima (Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2015) , posteriormente arrojados, en el mejor de los casos, a vertederos o escombreras ubicados en los alrededores de nuestra capital. Aunque en muchos casos, personas inescrupulosas y empresas informales usan lugares como playas, terrenos al aire libre o las mismas calles para depositar estos desechos. El exceso de estos residuos tiene un impacto negativo al medio ambiente puesto que disminuye la vida útil de los sitios de disposición final de residuos sólidos. Como consecuencia, podría desatarse un deterioro mayor en materia ambiental.

Lo que busca nuestra investigación es minimizar los siguientes problemas:

Falta de escombreras:

Las escombreras son instalaciones para albergar los residuos de las actividades de construcción y demolición. Pese a la cantidad de construcciones que existen en el Perú, actualmente, no existen escombreras (Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), 2015).

En la figura 5, se muestra que, en el año 2015 se dieron 1760 licencias de construcción en el departamento de Lima.

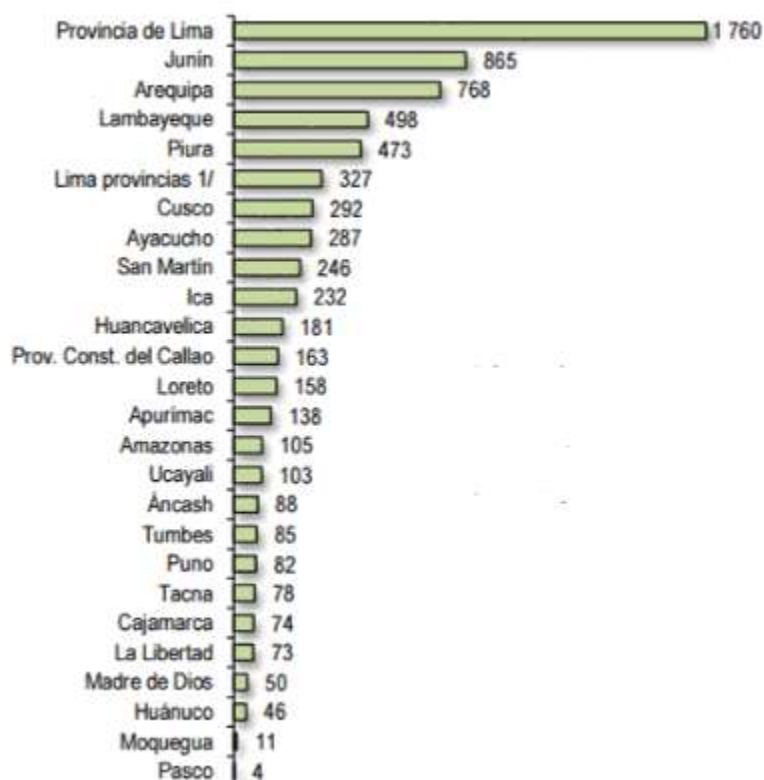


Figura 5. Cantidad de licencias de edificación para viviendas multifamiliares en Lima.

Fuente: Extraída de (Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2016)

Sin duda nuestra capital es la provincia que más construye tanto legal como ilegalmente y esto genera todo tipo de residuos sólidos como mermas de concreto, acero, ladrillo, entre otras cosas.

Al no haber escombreras especializadas en RCD en nuestra capital, se genera la acción de arrojar al mar y riberas de ríos sin tratamiento previo. Por ejemplo, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), en los años 2014 y 2015 denunciaron ante la Contraloría General de la República a los funcionarios de las Municipalidades de San Miguel y Magdalena del Mar por permitir la inadecuada disposición de residuos sólidos de construcción y demolición en las playas de dichos distritos. En el año 2017, la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO), registró una cifra de 30,000 m^3 de desmonte,

equivalente a 19,000 toneladas de desmonte generados diariamente. De esta cantidad de desmonte generado diariamente, el 70% de desmonte va al mar y a los ríos y solamente el 30% restante va a los seis (06) lugares autorizados para recibir residuos sólidos (Lurín, Cañete, Ate y tres (03) en el Callao). (Leon, 2017)

El procedimiento para implementarlas requiere su adecuada zonificación, entre otros requisitos. En un estudio realizado entre junio y septiembre del 2010 por el equipo de SIRAD (Sistema de Información sobre Recursos para Atención de Desastres) se encargó de determinar, localizar y caracterizar áreas potenciales para escombreras utilizables tras un terremoto de gran magnitud y/o tsunami en Lima y Callao. Estas áreas potenciales se determinaron bajo tres direcciones: A partir de estudios existentes, contactos con las municipalidades si es que tenían algún tipo de terreno para escombreras y, por último, a partir de la identificación preliminar de las zonas, en base a imágenes satelitales, planos catastrales y mapas de uso de suelos (Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), 2010).

En la figura 6, se muestra el resultado del trabajo en campo y el grado de impacto ambiental que pueden tener dichos terrenos.

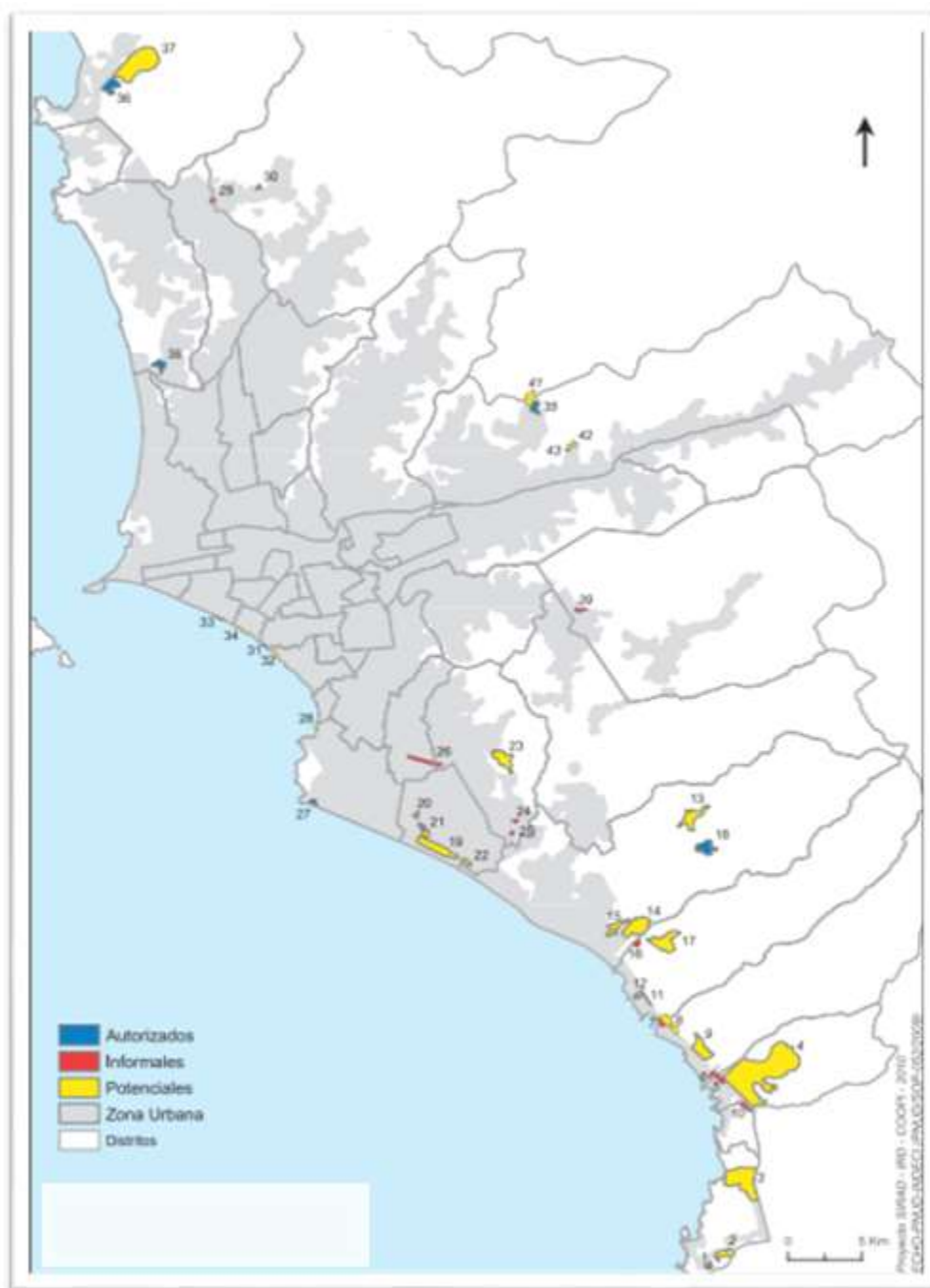


Figura 6. Terrenos identificados con potencial para uso de escombrera.

Fuente: Extraída del (Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), 2010)

Este mapa muestra la situación actual de los terrenos identificados como escombreras potenciales en cuanto a su uso para depósito de desechos sólidos y escombros. Si bien es cierto este mapa se idealiza en caso de un evento sísmico. Sin embargo, nos da indicios en qué áreas de nuestra capital se pueden instalar escombreras para su disposición final y que a su vez reutilicen los materiales provenientes de las actividades de construcción y demolición.

1.4 Formulación del problema

¿Es posible reutilizar el concreto eliminado de las obras en Lima Metropolitana como agregado grueso en la construcción de veredas con una resistencia de compresión $f'_c = 175 \frac{kg}{cm^2}$?

1.5 Formulación de la hipótesis

El tema del reciclaje en la construcción y demolición (RCD) en el Perú es casi nula por la poca difusión de información sobre esta tecnología. Las personas y empresas desconocen de todas las ventajas del uso de concreto reciclado y cómo se proyecta a ser una técnica para la construcción sostenible. Además, el uso de concreto reciclado en nuestro país carece de una norma técnica que regule su uso y mucho menos el apoyo del estado para el conocimiento de esta tecnología. Esta propuesta puede dar beneficios tanto ambientales como económicos y no puede pasar desapercibido.

Lo que buscamos es lograr la viabilidad técnica del uso del agregado grueso reciclado obtenido de la reutilización de un concreto eliminado en obra para la elaboración de una nueva mezcla que cumpla con la norma técnica peruana y con estándares mínimos de calidad.

Es por ello que se realizará distintos ensayos del concreto utilizando distintos porcentajes de cantidad de agregado reciclado en la mezcla, logrando su viabilidad y seleccionando la mezcla más óptima según sus características, obteniendo una resistencia de compresión $f'_c = 175 \frac{kg}{cm^2}$ y luego aplicarlo en una vía pública peatonal como es la vereda.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

- Obtener la dosificación óptima de mezcla de concreto usando agregado grueso reciclado obtenido del concreto reciclado de las construcciones de edificaciones urbanas cumpliendo con la resistencia mínima requerida ($f'_c = 175 \frac{kg}{cm^2}$) para su uso en veredas.

1.6.2 Objetivos específicos

- Objetivo 1: Proponer un plan de gestión óptimo para la recolección del concreto desechado en obra.
- Objetivo 2: Evaluar las propiedades mecánicas del agregado grueso reciclado comparado con un agregado grueso convencional.
- Objetivo 3: Elaborar mezclas de concreto con diferentes porcentajes (0%, 25%, 50%, y 100%) de agregado grueso reciclado para luego evaluar su comportamiento físico y mecánico a través de ensayos en laboratorio.
- Objetivo 4: Evaluar las propiedades del concreto fresco y endurecido.
- Objetivo 5: Aplicar el diseño de mezcla elegido para la construcción de una vereda.

1.7 Método de Trabajo

Generalizando, se desarrollará nuestra investigación en dos principales fases:

- Trabajo de campo: Se realizará los diferentes ensayos del agregado grueso, agregado reciclado y el concreto en laboratorios especializados en la elaboración y análisis de concreto. Estos ensayos constan de diferentes mezclas con diferentes porcentajes de la cantidad del agregado reciclado (0%, 25%, 50% y 100%) como reemplazo del agregado grueso.

- Trabajo de gabinete: Se interpretará los resultados de los distintos ensayos realizados en el laboratorio con la finalidad de seleccionar la mezcla más óptima y realizar una vereda con ella.

La metodología a usar para el desarrollo de la investigación consiste en:

Proponer un método de sistema de gestión para la recolección y separación del concreto desechado en obra. Este será llevado a una empresa especializada en agregados reciclados en donde a través de máquinas chancadoras podrá ser triturado y así obtener el tamaño de agregado grueso reciclado requerido.

Luego de obtener los agregados reciclados con TMN de 1", se procederá a realizar los ensayos de laboratorio de los agregados reciclados y convencionales para luego comparar sus propiedades. Luego, se procede a realizar un diseño de mezcla con diferentes relaciones de agua y cemento (0.5 y 0.6) y con diferentes porcentajes de agregado reciclado. Los porcentajes a usar para el diseño de mezcla serán de 0%, 25%, 50% de agregado reciclado combinado con el resto del porcentaje con agregado convencional y un 100% del uso del agregado reciclado como reemplazante al agregado convencional. Se realizará un diseño de mezcla con 100% de agregado convencional para poder evaluar los resultados con un fin comparativo con los resultados del concreto con el agregado reciclado.

Posteriormente, de realizar los diseños de mezclas mencionados, se realizará los ensayos en laboratorio tanto de concreto fresco como de concreto endurecido. Todos los ensayos que se realizarán se ubican en la Norma Técnica Peruana y los ensayos de concreto endurecido serán en probetas pequeñas de 10cm x 20cm.

Finalmente, luego de evaluar los resultados, se seleccionará la mejor alternativa de los diseños de mezcla con la incorporación del agregado reciclado y se verificará el cumplimiento de la resistencia a la compresión $f'_c = 175 \frac{kg}{cm^2}$, donde hará uso del diseño de mezcla para la construcción de una vereda.

En la tabla 2, se muestra que, para cumplir con los objetivos de la tesis, se establecieron los siguientes puntos principales.

Parámetro	Valor especificado
Aplicación	Veredas
F'c (kg/cm ²)	Mínimo 175
TMN	1
Sin aire incorporado	OK

Tabla 2. Requerimientos mínimos para diseño de mezcla.

Fuente: propia.

❖ Ensayos a realizar:

a) Ensayos a los agregados:

- Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos NTP 400.012 (2013)
(Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2013)
- Peso específico y absorción de los agregados gruesos NTP 400.021 (2013)
(Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2013)
- Peso Unitario y vacíos de los agregados NTP 400.017 (2016)
(Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2016)
- Humedad natural de los agregados NTP 339.185 (2013)
(Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2013)

b) Ensayos en concreto fresco:

- Asentamiento del concreto (Slump) NTP 339.035 (2015)

(Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2015)

- Peso Unitario NTP 339.046 (2013)

(Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2013)

c) Ensayos en concreto endurecido:

- Resistencia a la compresión NTP 339.034 (2015)

(Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2015)

- Resistencia a la tracción NTP 339.084 (2012)

(Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2012)

- Resistencia a la flexión NTP 339.078 (2012)

(Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2012)

En la tabla 3, se muestra los diseños de mezcla a utilizar con sus respectivos códigos.

Mezcla	Código	Descripción
A1	CC-0-0.5	Mezcla de concreto con 100% de agregado grueso convencional y relación a/c = 0.5
A2	CC-0-0.6	Mezcla de concreto con 100% de agregado grueso convencional y relación a/c = 0.6
A3	CC-0-0.7	Mezcla de concreto con 100% de agregado grueso convencional y relación a/c = 0.7
B1	CAR-25-0.5	Mezcla de concreto con 25% de agregado grueso reciclado y relación a/c = 0.5
B2	CAR-25-0.6	Mezcla de concreto con 25% de agregado grueso reciclado y relación a/c = 0.6
B3	CAR-25-0.7	Mezcla de concreto con 25% de agregado grueso reciclado y relación a/c = 0.7
C1	CAR-50-0.5	Mezcla de concreto con 50% de agregado grueso reciclado y relación a/c = 0.5
C2	CAR-50-0.6	Mezcla de concreto con 50% de agregado grueso reciclado y relación a/c = 0.6
C3	CAR-50-0.7	Mezcla de concreto con 50% de agregado grueso reciclado y relación a/c = 0.7
D1	CAR-100-0.5	Mezcla de concreto con 100% de agregado grueso reciclado y relación a/c = 0.5
D2	CAR-100-0.6	Mezcla de concreto con 100% de agregado grueso reciclado y relación a/c = 0.6
D3	CAR-100-0.7	Mezcla de concreto con 100% de agregado grueso reciclado y relación a/c = 0.7

Tabla 3. Código y descripción de diseños de mezcla a utilizar

Fuente: Propia.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

A continuación, en el siguiente capítulo se desarrolla toda la información recolectada sobre todos los conceptos que involucra un sistema de gestión de los RCD, los materiales involucrados y el estado del arte tanto en el ámbito internacional como en el ámbito nacional que justifica la hipótesis planteada en la presente tesis.

2.1 Método de trituración

La reutilización del concreto como agregados es una práctica en la cual su tiempo de aplicación ha llegado. Existen muchas maneras de obtener los agregados reciclados. Por ello, este capítulo discute algunas de las consideraciones para evaluar el tratamiento y trituración de residuos de concreto para la producción de agregados reciclado adecuados para la reutilización en la construcción de nuevos elementos de concreto reciclado. Además, se hablará en especial del método de trituración que utiliza CAJAS ECOLOGICAS con el objetivo de detallar el funcionamiento y las características de las maquinarias que se están utilizando para la obtención de los agregados reciclado que usaremos en la presente tesis.

2.1.1 Tipos de trituradoras típicas para concreto

En el mundo, para el reciclado del concreto se utilizan en primera instancia la trituradora tipo mandíbula que ha demostrado ser exitosa para procesar el concreto inclusive con acero en ellos. El propio acero también es reciclable. La merma de concreto no procesado que está generalmente en el intervalo de 12 a 16 pulgadas (300 a 400 mm) se reduce de 2 a 3 pulgadas (64 A 76 mm) aproximadamente después de la descarga de la primera operación de trituración. Luego con una trituradora de cono o trituradora de impacto se logra producir un tamaño acabado de 3/4 a 1 pulgada (19 a 25 mm) de tamaño máximo nominal. El agregado final producido normalmente tiene menos del 2% pasando el No. 200 (0,75 mm) (Lamond, 2001).

En las figuras 7, 8 y 9 se muestra los diferentes tipos de trituradora antes mencionados extraídos de proveedores internacionales.



Figura 7. Trituradora tipo mandíbula.

Fuente: Extraído de (FAM Magdeburg conveyors and Construction GmbH, 1996).



Figura 8. Trituradora de cono

Fuente: Extraído de (Metso Minerals - France SAS, 2015)



Figura 9. Trituradora de impacto

Fuente: Extraído de (ENDERS Produktion GmbH, 2015)

2.1.2 Método de trituración de Cajas Ecológicas

Los residuos de concreto que llegan a la planta de las diferentes obras en ejecución en Lima Metropolitana son puestos en una trituradora tipo mandíbula que alcanza tamaños máximos nominales en un intervalo desde $\frac{1}{2}$ " y 1" aproximadamente. Esta máquina a su vez tiene un control para calibrar el tamaño de agregado reciclado deseado y la velocidad con la que se desea triturar el concreto en la máquina. Luego del proceso de triturado se procede a almacenar todo el material en las diferentes tolvas que posee la empresa. Este material es el agregado reciclado que se utilizará en la presente tesis.

2.2 Aplicaciones en la ingeniería civil

En el mundo, a los RCD se les da un nuevo uso ya sea por motivación propia de las empresas o también por la legislación por la cual se están rigiendo. En este subcapítulo se menciona que se está haciendo con los RCD en el mundo y además que se está haciendo con los RCD en nuestro país específicamente hablando de las empresas Cajas Ecológicas S.A.C.

2.2.1 Escenario mundial

En el mundo, el manejo de los residuos sólidos y las aplicaciones de concreto reciclado, ya viene tomando forma desde hace varios años atrás. A continuación, se presenta un breve resumen de las distintas realidades que se maneja en los distintos países del mundo. (Klee, 2009)

- En Estados Unidos, 38 estados, utilizan agregados de concreto reciclado para sub-bases viales y 11 lo reciclan en concreto nuevo.
- En Brasil, sobretodo en Sao Paulo y Belo Horizonte tiene algunas instalaciones de reciclaje. Los agregados reciclados con utilizados en su mayoría en sub-bases viales. Además, existe una legislación que promueve la gestión de RCD.
- Qatar y los Emiratos Árabes han desarrollado planes de reciclaje para producir agregados. El costo de los agregados vírgenes impulsa el proceso en Qatar. En los EAU, las preocupaciones medioambientales y restricciones gubernamentales sobre los desechos son los principales incentivos.
- En 2011, se usó como agregado el concreto reciclado para la adecuación de las calles de rodaje de la pista de vuelvo de emergencia del Aeropuerto de Menorca. El proyecto le garantizó el primer lugar del premio AENA de excelencia y mejores prácticas que convoca en la categoría correspondiente a proyectos de instituciones a favor de la gestión medioambiente.
- En Colombia, en el proyecto Cauca, actualmente se crean casas con ladrillos de plástico reciclado.

2.2.2 Escenario nacional

Actualmente, en nuestro país, son pocas las empresas o las personas que reutilizan e investigan este recurso. Sin embargo, existen empresas como MP Recicla S.A.C. y Cajas

ecológicas S.A.C. que usan los RCD para la elaboración de productos de concreto reciclado. En la figura 10 se muestra como, por ejemplo: ladrillos, adoquines, agregados finos y gruesos, pavimentos, entre otros. Según la perspectiva de dichas empresas, necesitan de un mejor respaldo técnico y financiero para una mejor posición en el mercado y poder competir directamente con las empresas con productos de recursos naturales convencionales. (Ciclo, 2017).



Figura 10. Productos de concreto reciclado hecho por la empresa MP Recicla S.A.C.

Fuente: Extraída de (Ciclo, 2017)

2.3 Materiales involucrados

El concreto, segundo material más consumido después del agua, está compuesto por la mezcla de cemento, agua, agregado grueso, agregados fino en una determinada proporción. Este material es ideal para la construcción por su fácil manejo al momento de la colocación en estado plástico y la gran resistencia y durabilidad que adquiere en su estado endurecido. A continuación, detallaremos características de los materiales para la dosificación de las mezclas de concreto a realizar.

2.3.1 Cemento

El cemento Portland, que compone entre el 5% y 20% del concreto, son cementos hidráulicos compuestos principalmente de Clinker y yeso que brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, dicho proceso es denominado hidratación.

Una vez el concreto ha sido mezclado, no es posible extraer el cemento para reciclarlo. Sin embargo, el concreto desechado puede ser reciclado para la fabricación de un nuevo cemento en cantidades controladas, ya sea como materia prima alternativa para producir Clinker o como aditivo, al moler al Clinker con yeso y otros agregados.

El cemento a usar para el desarrollo de la tesis es el Cemento Portland Tipo I y cumple con la Norma Técnica Peruana NTP 334.009 (2016) (Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2016).

2.3.2 Agregados Naturales

Los agregados, que ocupan usualmente entre el 60% y 75% del volumen del concreto, juegan un papel importante en las propiedades del concreto tanto en su estado fresco como en su estado endurecido, es por eso que se debe verificar que la calidad sea la óptima para la mezcla. Los agregados son de 2 tipos básicos:

2.3.2.1 Agregados finos

El agregado fino se define como aquel que pasa por el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200. El agregado proviene de la desintegración de rocas donde el más usual es la arena.

El uso de Agregado Fino Reciclado (AFR) en un comienzo fue descartado por considerar que la misma puede ocasionar mermas en las propiedades mecánicas y en la durabilidad del concreto elaborado con AFR (Hansen, 1986). Sin embargo, investigaciones indican que reemplazando entre un 20% y 40% del agregado fino convencional con AFR no se produce grandes modificaciones en la resistencia a la compresión. Es importante mencionar que

comparando con otras investigaciones el resultado varía bastante dependiendo del lugar donde se obtiene el AFR.

El agregado fino usado para la presente tesis se encuentra especificado en la sección de diseño de mezcla y cumple con la norma NTP 400.012 (2013) (Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2013).

2.3.2.2 Agregados Gruesos

El agregado grueso se define como aquel que queda retenido en la malla N°4 (4.75mm) proveniente de la desintegración de rocas. El agregado grueso se clasifica en piedra chancada y grava.

El agregado grueso reciclado (AGR) es usado en diferentes partes del mundo e incluso existen normativas para su uso en la construcción. Este es obtenido de escombros o desechos de obras para luego ser triturados y ser convertido en un nuevo agregado. Más adelante se detalla un capítulo con todos los resultados de investigaciones usando AGR como parte de un nuevo concreto.

El agregado grueso usado para la presente tesis tiene un TMN de 1” y cumplen con la norma NTP 400.012 (2013).

2.3.3 Agua

El agua es un compuesto inorgánico que cumple el propósito de al entrar en contacto con el cemento reaccione químicamente y empieza la hidratación. Además, el agua cumple como lubricante para contribuir con la trabajabilidad de la mezcla. Es importante hacer uso de agua con propiedades adecuadas puesto que puede presentar impurezas que retarden o impidan la hidratación.

En algunas partes del mundo, el uso del agua es racional y tienen un alto costo lo cual lleva a que se busca como alternativa el usar aguas residuales para la elaboración de concreto. Es

importante mencionar que estos se van a dar para alcanzar resistencias no tan altas. Se toman en cuenta factores como de donde proviene el agua, efectos por la presencia de sustancias e impurezas en el agua, análisis químico del agua, entre otros. Y luego de pasar pruebas de laboratorio donde se indica la resistencia a la compresión que se obtuvo y los resultados de las pruebas para detectar la reacción álcali – sílice se determina si es posible o no el usar agua residual para la elaboración de concreto.

El agua para el uso en la presente tesis deberá ser potable y no presentar olores y sabores pronunciados.

2.3.4 Aditivos

Los aditivos, materiales orgánicos o inorgánicos, se agregan a la mezcla de concreto con la finalidad de cambiar o mejorar las propiedades del concreto. Entre los beneficios que estos cumplen tenemos: incrementar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua, retardar o acelerar el tiempo de fraguado, obtención de altas resistencias tempranas, entre otros. En la presente tesis no se hace uso de ningún aditivo.

2.3.5 Agregados Reciclados

El agregado reciclado es el agregado proveniente del concreto de demoliciones y residuos de la construcción (RCD). Para la transformación de este agregado reciclado se tritura el concreto de escombros de demolición o mermas de concreto de obras de Lima metropolitana.

Entre las características que presentan los agregados reciclados obtenidos de otros estudios se sabe que:

- ✓ El porcentaje de absorción del agregado reciclado es mayor al de un agregado natural por el nivel de porosidad que presentan.
- ✓ La densidad de los agregados reciclados es menor a los de agregados naturales por la capa de mortero adherido a ellos.

- ✓ Las características físicas de los agregados reciclados no son homogéneas, dependen mucho del lugar y forma como ha sido obtenido la muestra.

El agregado grueso reciclado usado para la presente tesis es obtenido de la empresa peruana cajas ecológicas y presenta un tamaño máximo nominal de 1” que es establecido por la máquina trituradora.

2.4 Normativas

Actualmente, el problema de la contaminación ambiental ha puesto en alerta a todos gobiernos alrededor del mundo, es por eso que cada día se establecen normativas con el fin de regular y aminorar el impacto ambiental que generan las grandes empresas para la emisión de desperdicios de construcción.

2.4.1 Normativa Nacional

En Perú actualmente no se cuenta con una normativa técnica que incentive el uso o aplicación de agregados reciclados, aunque se pueden encontrar diferentes estudios e investigaciones para el uso de este concreto reciclado.

Entre la normativa por parte del estado encontramos el Decreto Supremo N° 003-2013-VIVIENDA “Reglamento para la Gestión y Manejo de Residuos de las actividades de la construcción y demolición” que abarca temas como el manejo de residuos sólidos, instrumentación, planes de manejo de gestión, almacenamiento, transporte y disposición final, fiscalización, entre otros. Sin embargo, este Decreto Supremo no es suficiente para poder dar a conocer sobre las alternativas para la construcción con materiales reciclados.

Por otro lado, la NTP 400.050 (2017) (Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2017) manejo de residuos de construcción. Manejo de Residuos de la Actividad de Construcción y Demoliciones explica brevemente sobre principios y criterios básicos de las actividades

durante la construcción y demolición para el uso de los residuos en obras, aunque de igual manera es insuficiente para incentivar al buen uso de estos elementos.

2.4.2 Normativa Internacional

En otras partes del mundo el tema de concreto reciclado se encuentra mucho más desarrollado que en nuestro país, e incluso en algunos países de Europa vienen haciendo uso de esta alternativa de agregados reciclado muchos años atrás.

En países como Alemania, Australia, Bélgica, Dinamarca y Reino Unido usan el concreto reciclado para la construcción de edificaciones con resultados muy positivos tanto desde un punto de vista medioambiental y socioeconómico.

Entre las diferentes normas internacionales que existen podemos mencionar:

- RILEM Recommendation: 121-DRG “Guidance for demolition and reuse of concrete and masonry. Specifications for concrete with recycled aggregates” 1994.
- Norma Inglesa BS 8600:02 “Specification for constituent Materials and Concrete”.
- Norma Holandesa “Use of Recycled aggregates in Construction - Concrete with recycled aggregates” 1998.
- Proyecto de Recomendación para la utilización de Hormigones Reciclados (España) 2006.
- German Committee for Reinforced Concrete (DafStb) – Code: Concrete with Recycled Aggregates (Grubl & Ruhl, 1998)

De las diferentes normas internacionales que se ha mencionado, se ha elegido la DafStb como guía por ser la más completa para poder evaluar nuestros agregado y concreto reciclado. A continuación, se expone algunos parámetros entre los cuales se rige.

En la tabla 4, se muestra las características de los agregados y el requerimiento mínimo o máximo para poder cumplir en un diseño de mezcla de concreto reciclado.

Parámetro		Requerimiento	Método de evaluación
Contenido de grueso (AR+AN)		$\geq 95\%$	
Componentes minerales		$\leq 5\%$	
Componentes no minerales		$\leq 0.2\%$	
Densidad seca		$\geq 2.0 \pm 0.15$ (kg/dm ³)	
Absorción	> 2 mm	$\leq 10\%$	
	≤ 2 mm	$\leq 15\%$	
pH		13.5	
Conductividad eléctrica		8000 $\mu\text{s/cm}$	
Cloruros		150 mg/l	
Sulfatos		600 mg/l	
Arsénico		50 $\mu\text{g/l}$	DIN 38 406-22 DIN EN ISO 11969
Plomo		100 $\mu\text{g/l}$	DIN 38 406-6 DIN 38 406-16 DIN 38 406-22
Cadmio		5 $\mu\text{g/l}$	DIN 38 406-16 DIN 38 406-22
Cromo, total		100 $\mu\text{g/l}$	DIN 38 406-22 DIN EN 1233
Cobre		200 $\mu\text{g/l}$	DIN 38 406-7 DIN 38 406-16 DIN 38 406-22
Niquel		100 $\mu\text{g/l}$	DIN 38 406-11 DIN 38 406-16 DIN 38 406-22
Mercurio		2 $\mu\text{g/l}$	DIN EN 1483
Zinc		400 $\mu\text{g/l}$	DIN 38 406-8 DIN 38 406-16 DIN 38 406-22

Tabla 4. Requerimientos para los agregados reciclados según el código alemán Daftsb.

Fuente: Extraída de (Grubl & Ruhl, 1998).

La norma DafStb se refiere a los agregados reciclados obtenidos de la trituración de concreto. El contenido de agregado reciclado + natural debe ser mayor o igual a 95%, mientras que el contenido de componentes minerales debe ser menor o igual a 5%. Además, la densidad de los agregados reciclados debe ser mayor a $2000 \frac{kg}{m^3}$. Por otro lado, la norma DafStb establece que la absorción máxima para los el agregado mayor a 2mm debe ser de 10%. Por último, establece otros parámetros con los tipos de contaminantes que pueden afectar (cloruros, sulfatos, etc.) aunque para el fin de la tesis no van a ser considerados.

En las tablas 5 y 6, se muestra que con lo que respecta al concreto con agregado reciclado, se observan los parámetros según el campo de aplicación y cantidad de agregado a utilizar.

Campo de aplicación	Restricciones
Componentes en Interior	Ninguna
Componentes en Exterior en general	El material debe ser clasificado como insensible a la reacción álcali-sílice
Componentes Impermeables al Agua	
Componentes con Moderada resistencia al Ataque químico	

Tabla 5. Campo de aplicación y restricciones del concreto reciclado.

Fuente: Extraída de (Grubl & Ruhl, 1998).

		Roca y arena triturada > 2 mm (Vol. - %)		Roca y arena triturada > 2 mm (Vol. - %)	
		a)	b)	a)	b)
Componentes en interior	≤ B 25 ¹	35	50	7	20
	B 35 ¹	25	40	7	20
Componentes en Exterior en general		20	30	0	
Componentes Impermeables al Agua					
Componentes con Alta resistencia al Congelamiento					
Componentes con Moderada resistencia al Ataque Ouímico					

¹ De acuerdo con DIN 1045

Tabla 6. Máxima cantidad de agregado reciclado según la cantidad total de agregado (a) y la fracción granular (b).

Fuente: Extraída de (Grubl & Ruhl, 1998).

2.5 Estado del arte

En el presente subcapítulo presentaremos una compilación de resultados de otras investigaciones, en la primera parte presentaremos los planes de gestión de recolección del concreto a nivel internacional y por último presentaremos los resultados de las propiedades del concreto con AGR a nivel internacional.

2.5.1 Planes de gestión de recolección del concreto a nivel internacional

En el mundo, diversos países han optado por implementar sistemas de gestión ambiental el cual involucra la adecuada recolección de RCD con el objetivo de mitigar la cantidad de los desechos de RCD adaptada a su realidad. A continuación, se presenta los sistemas de gestión a nivel internacional para la recolección de RCD en sus obras de construcción:

Canadá:

Según una investigación sobre la cantidad de RCD en Canadá nos da una visión general que se registra que son el 27 % del total de los residuos sólidos municipales y que dichos RCD se deberían rescatar y/o reutilizar hasta en un 75% que están presentes en los rellenos sanitarios. Sin embargo, la cantidad de vertederos o residuos sanitarios son escasos lo cual genera problemas de salud pública y afecta ecosistemas naturales lo cual en un largo plazo conllevaría a poner en riesgo aspectos sociales, económicos e impactos ambientales. Actualmente el marco de gestión de residuos está en Canadá está delimitado por un sistema llamado 3 R (reducir, reutilizar y reciclar) (Yeheyis, 2013)

En la figura 11, se muestra que, existe una propuesta de un sistema de gestión de los RCD que divide en tres etapas el ciclo de vida de un proyecto de construcción: la pre-construcción (planificación y diseño), la etapa de construcción y renovación y la etapa de demolición, con el objetivo de reducir, reutilizar y reciclar los diferentes RCD recolectados en cada tipo de proyecto.

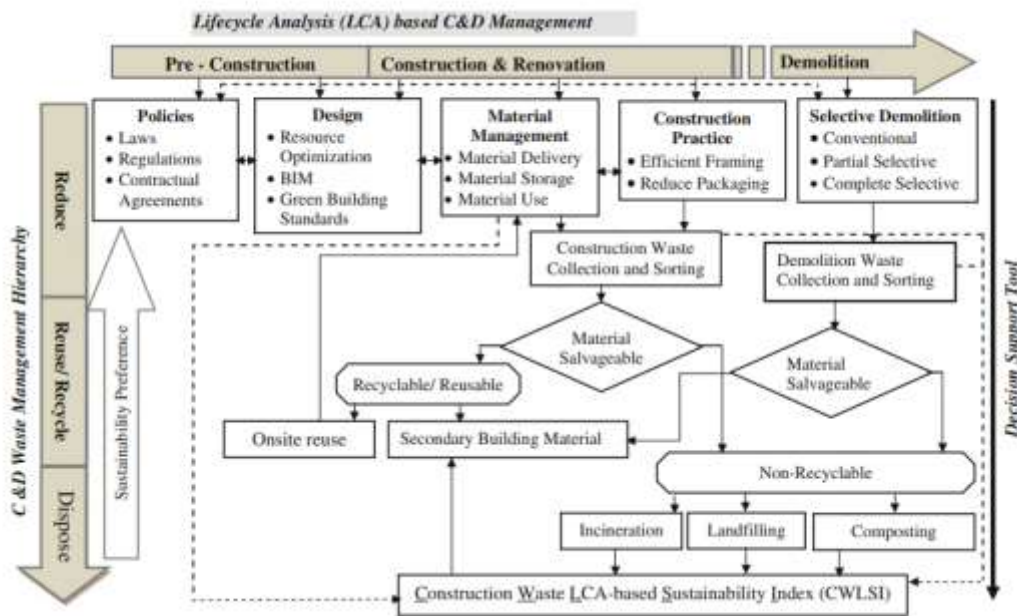


Figura 11. Propuesta de sistema de gestión de RCD – 3 R

Fuente: Extraída de (Yeheyis, 2013)

El presente estudio nos revela que aun la legalización federal y provincial (regulaciones y normas) existente en Canadá con respecto a la gestión de los RCD no es lo suficientemente fuerte y que aún se deben mejorar los mecanismos asociados a la implementación actual de las 3 R en todas las etapas de un proyecto de construcción o demolición. Es por ello, que con el marco de sistema de gestión proponen reducir y tratar o eliminar dichas cantidades de RCD en el país.

India:

En un estudio sobre la gestión de los RCD en la India menciona que hubo incrementos tremendos de actividades en la construcción y demolición en las últimas dos décadas debido a la aparición de nuevas tecnologías y materiales.

Las viejas estructuras fueron demolidas después de la finalización de la vida útil y reemplazadas por nuevos trabajos de construcción. De modo que, debido al aumento del volumen de residuos de material demolido y falta de vertederos, la gestión de residuos se está convirtiendo en un tema vital y un gran interés dentro de las naciones asiáticas. Estos materiales de desecho crean numerosos problemas, tales como el transporte, la contaminación y los requisitos de espacio para la amortiguación. Por lo tanto, una adecuada gestión de estos materiales demolidos es esencial. (Sachan, 2013) La investigación afirma que los RCD pueden ser reutilizados.

En la figura 12, se muestra como se ha propuesto un método ecológico y económico para gestionar este emergente problema, pero también el papel del gobierno indio necesita implementar o incentivar la creación de un marco restrictivo mediante un esquema de una propuesta de sistema de gestión.

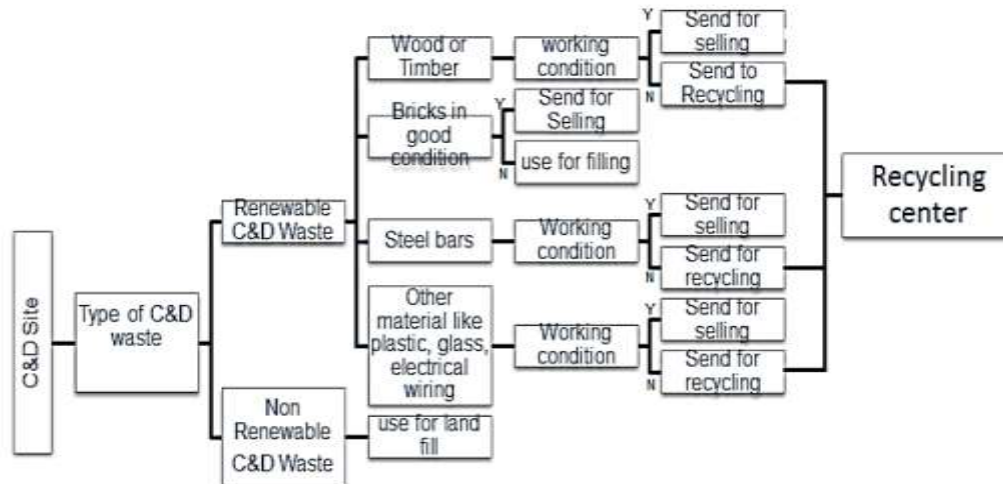


Figura 12. Diagrama de flujo para la gestión de RCD

Fuente: Extraída de (Sachan, 2013)

Todo empieza desde clasificar el tipo de RCD, ya sea renovable o no renovable, evidente se tienen que reutilizar los desechos renovables los cuales los han separado en cuatro categorías: madera, ladrillos, barras de acero y otros materiales como plástico, vidrio, etc.

Todo este material iría a una gran planta de tratamiento con el fin de reutilizar todos estos RCD.

Colombia:

Según un estudio de la Pontificia Universidad Javeriana, en los últimos años el sector construcción en la ciudad de Bogotá representa del 20 % al 30 % del PBI de la construcción colombiana, lo cual ha generado un incremento en la producción de RCD en la ciudad. Dicha producción de RCD viene generando una problemática por dos grandes motivos: el primero es la ubicación cercana al núcleo urbano por la disminución de vertederos autorizados y el segundo es la necesidad de reutilización de dichos RCD por la escasez de materia prima.

En similitud con nuestro país, se puede apreciar que, mediante esta investigación, en Colombia también se presenta la necesidad de reciclar dichos RCD. Sin embargo, como cualquier otro país latinoamericano el reciclaje de los RCD no es una práctica muy común como en países más desarrollados. Es por ello que en dicha investigación se discute el tema de la generación y gestión de los residuos generados por la construcción en Bogotá, además

de las políticas públicas y condiciones necesarias para que la actividad del reciclaje de agregados se convierta en una posibilidad viable en su contexto y se generen acciones alrededor de las oportunidades y retos necesarios para alcanzar una gestión total de los RCD. (Castaño, 2013)

En la figura 13, se muestra la solución que se sugiere que es mediante una planta que funcione como una transformadora de RCD con el objetivo de satisfacer las dos grandes necesidades antes mencionadas, con una gran planta de procesamiento de RCD.

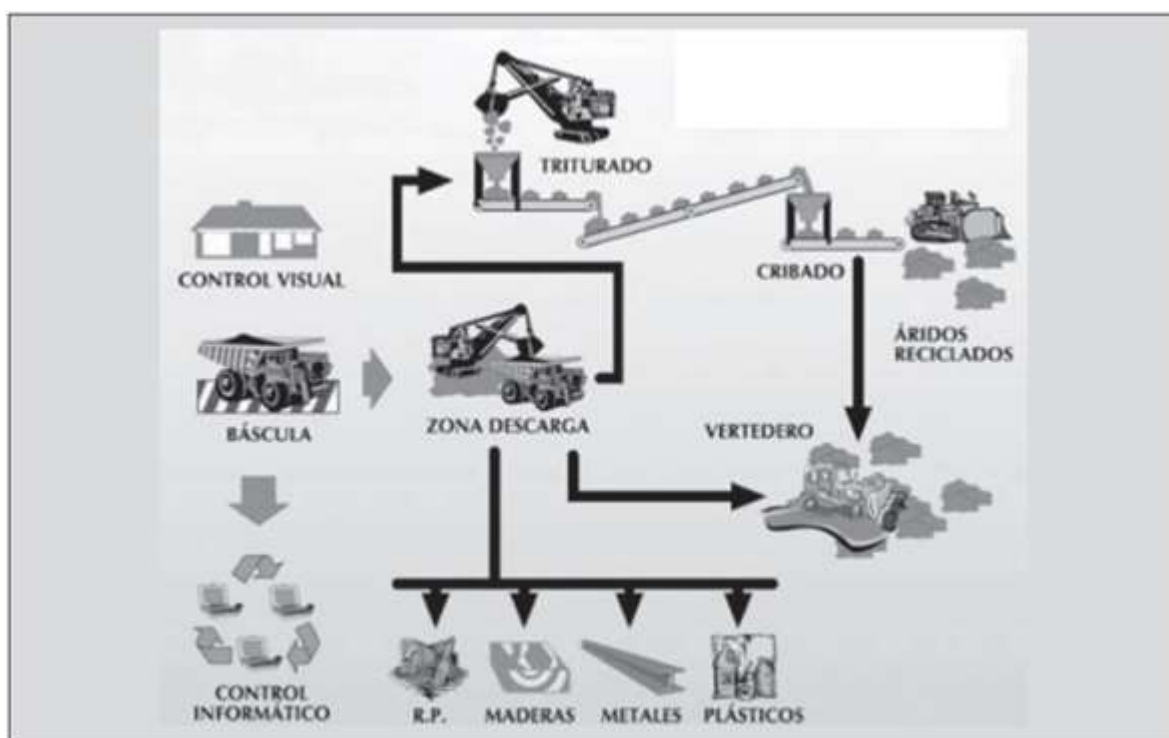


Figura 13. Esquema de una planta de tratamiento de RCD

Fuente: Extraída de (Castaño, 2013)

2.5.2 Propiedades del concreto con AGR a nivel internacional

Existen diferentes investigaciones alrededor del mundo sobre el agregado reciclado que nos servirán de punto de partida para conocer los parámetros en los cuales nos guiaremos en la presente tesis. Los resultados obtenidos en la experimentación y conclusiones de las investigaciones son las siguientes:

Según, R. Kumutha y K. Vijai, del departamento de ingeniería del instituto Sethu de ingeniería de la ciudad de Pulloor, Kariapatti, India; en la investigación “Strength of concrete incorporating aggregates recycled from demolition waste” concluyen en lo siguiente:

Para los resultados obtenidos, está claro que es posible usar el 100% de agregado grueso reciclado en una mezcla para realizar bloques de concreto o concreto para pavimentos con resistencias menores a 20Mpa.

Se realizaron diferentes mezclas utilizando 0%, 20%, 40%, 60%, 80% y 100% de agregado grueso reciclado. Para los resultados de resistencia a la compresión, se obtuvo porcentajes de reducción con respecto a un concreto patrón de 3.6% para la mezcla de 20% de agregado grueso reciclado y un máximo de 28 % para la mezcla con 100% de agregado grueso reciclado.

Por otro lado, para los resultados de resistencia a la tracción, se obtuvieron porcentajes de reducción con respecto a un concreto patrón de 5%, 14%, 16% y 31% para los concretos de 20%, 40%, 60% y 80% de agregado grueso reciclado, respectivamente.

Por último, para los resultados de resistencia a la flexión, se obtuvieron porcentajes de reducción con respecto a un concreto patrón de 20%, 41%, 44%, 47% y 50% para los concretos de 20%, 40%, 60%, 80% y 100% de agregado grueso reciclado, respectivamente. (Kumutha & Vijai, 2010)

Según, X.H. Deng, Z.L. Lu, P. Li, y T. Xu, del departamento de ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Xi'an, Shaanxi, China; en la investigación “Mechanical Properties of recycled coarse aggregate concrete” llegan a la siguiente conclusión:

La resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción disminuyen al aumentar el porcentaje de agregado grueso reciclado en un diseño de mezcla, para concreto con la misma relación agua/cemento, cuando el rango del porcentaje de agregado reciclado va de 0% a 50%, la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción cambia ligeramente. En cambio, para rangos mayores de 50% de porcentaje de agregado reciclado, la resistencia a la compresión y tracción disminuye considerablemente en comparación con un diseño de mezcla convencional.

Se realizaron diseños de mezcla con reemplazo de agregado grueso reciclado de 0%, 25%, 50%, 75% y 100%, y con relaciones a/c de 0.47, 0.55 y 0.61. Para los ensayos del agregado grueso reciclado, se obtuvieron los resultados de 2534 kg/m³ para el peso específico y una absorción de 5.32 %.

Cuando la tasa de reemplazo total del agregado grueso es 75% por agregado grueso reciclado, la resistencia a la compresión reduce en 8.72%, 18.21% y 15.29% respectivamente para las tres proporciones de agua-cemento. En cambio, la resistencia a la compresión reduce en 18.54%, 17.38% y 27.07% con respecto a un concreto convencional cuando la tasa de reemplazo del agregado grueso reciclado es 100%.

Por último, cuando la tasa de reemplazo total del agregado grueso es 75% por agregado grueso reciclado, la resistencia a la tracción reduce en 2.04%, 33.96% y 13.31% respectivamente para las tres (3) proporciones de agua-cemento. En cambio, la resistencia a la tracción disminuye en 7.14%, 14.64% y 37.20% con respecto a un concreto convencional cuando la tasa de reemplazo del agregado grueso reciclado es 100%. (Deng, Lu, Li, & Xu, 2016)

Según, Mena C. y Valdés Y, en la tesis: “Dosificación óptima de una mezcla de concreto con materiales reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD) de la ciudad de Cali para uso en obras viales de bajo tránsito” llegan la conclusión que:

La variación de la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días, con agregados naturales puede alcanzar resistencias de hasta 44 MPa, mientras que con 25% de sustitución por reciclado se obtiene una resistencia de 32 MPa, 27% menos que con el agregado natural. Con un porcentaje de sustitución de 50 % se obtienen resistencias de 27 Mpa, 39% menos que el

agregado totalmente natural y 16 % menos que con el 25% de agregado reciclado, y con un porcentaje de sustitución del 100 % se obtienen resistencias de 21 MPa, 55% menos que el agregado natural, 38 % menos que con el 25% de agregado reciclado y 26% menos que con el 50 % de agregado reciclado; por lo cual se puede terminar que a mayor porcentaje de sustitución de agregado grueso por reciclado , la resistencia a la compresión disminuye.

Por último, llegan a la conclusión que, para pavimentos rígidos no debe superar en 25% de reemplazo de agregado convencional por agregado reciclado. Sin embargo, los resultados de resistencia a compresión de los diseños utilizados reflejan buen comportamiento para la realización de obras viales de bajo tránsito, como por ejemplo sardineles, estribos y andenes. (Mena Sanclemente & Valdes Castro, 2014)

CAPITULO 3: DESARROLO EXPERIMENTAL

En el capítulo 3 se desarrollará cada uno de los objetivos planteados de la presente tesis: realizar una propuesta de sistema de gestión para la recolección y trituración de los RCD, ensayos a los agregados gruesos y reciclados, diseños de mezcla para cada uno de los porcentajes de reemplazo de agregado grueso por agregado reciclado, evaluación de las propiedades en fresco y endurecido del concreto y, por último, la aplicación del diseño de mezcla elegido para la construcción de la vereda.

OBJETIVO 1

3.1 Fundamento

En el siguiente subcapítulo desarrollaremos los conceptos según normas en la que se fundamentara nuestra propuesta de sistema de gestión para recolección del concreto a nivel nacional.

Los residuos sólidos de la construcción son aquellos residuos generados en las actividades y procesos de construcción, rehabilitación, restauración, remodelación y demolición de edificaciones e infraestructuras (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2013). La Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos los define como aquellos residuos fundamentalmente inertes que son generados en las actividades de construcción y demolición de obras, tales como edificios, puentes, carreteras, represas, canales y otros similares. (Congreso de la República, 2000)

Dichos residuos, en nuestra capital, actualmente posee una gestión que no está consolidada en la magnitud que la naturaleza demanda. A diario se observan empresas constructoras que subcontratan empresas eliminadoras de desmonte que trabajan en condiciones no óptimas para sus trabajadores y eliminan el desmonte en botaderos ilegales en las lejanías de la ciudad. Esto se debe a que las entidades gubernamentales cuentan con una regulación y fiscalización no tan desarrolladas (Ninalaya, 2015).

Según la ley 27314, La ley General de Residuos Sólidos, una empresa prestadora de servicios de residuos sólidos en la construcción es toda persona natural o jurídica a cargo de la prestación de servicios de residuos sólidos. Deberá estar debidamente registrada en el Ministerio de Salud y obtener las licencias municipales correspondientes. Dicha ley, en el artículo 39, es clara afirmando que los generadores de residuos sólidos peligrosos y las EPS-RS notificarán sobre las enfermedades ocupacionales, accidentes y emergencias presentadas durante el manejo de los residuos sólidos y sobre la desaparición de éstos a la autoridad de salud de la jurisdicción correspondiente, la que a su vez informará a la DIGESA del Ministerio de Salud, sin perjuicio de las otras notificaciones que deban efectuar conforme a ley. (Congreso de la República, 2000)

En el ámbito de la ingeniería civil de nuestro país, existe el Reglamento Nacional de Edificaciones, donde en la norma G. 050, tiene un pequeño capítulo que habla sobre la gestión de residuos que se debe considerar en toda obra: Los residuos derivados de las actividades de construcción deben ser manejados convenientemente hasta su disposición final por una Empresa Prestadora de Servicios de Residuos Sólidos con autorización vigente en DIGESA. Para tal efecto, deben ser colocados temporalmente en áreas acordonadas y señalizadas o en recipientes adecuados debidamente rotulados, [...]. Toda obra debe segregar los residuos PELIGROSOS de los NO PELIGROSOS, a efectos de darles el tratamiento conveniente, hasta su disposición final” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010).

En la figura 14, se muestra que esto no se ve reflejado en la mayoría de obras. En el informe 2013-2014, sobre la Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos de gestión municipal provincial existe el Ranking de cumplimiento en la gestión y manejo de residuos sólidos a nivel de capital de departamento (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), 2014).

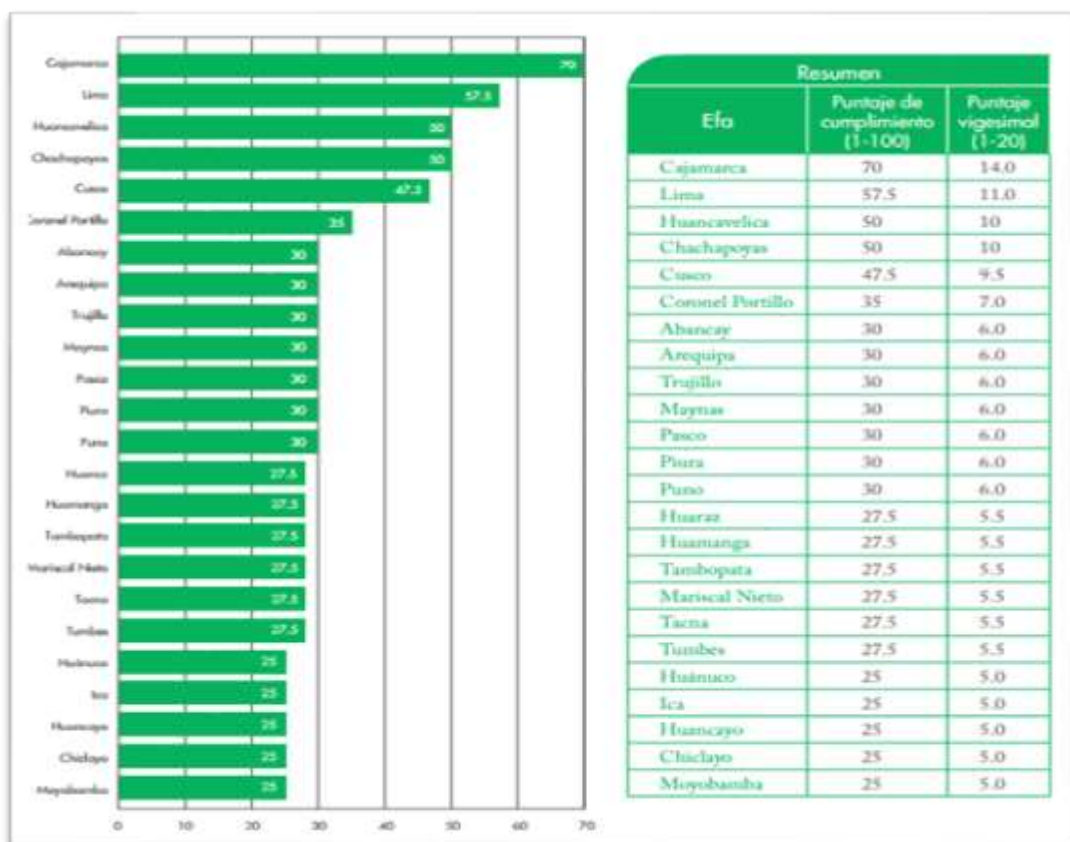


Figura 14. Porcentaje de cumplimiento para la gestión y manejo de residuos sólidos en cada departamento del Perú.

Fuente: Extraída del (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), 2014)

Este grafico nos muestra los promedios obtenidos respecto de la gestión y manejo de residuos sólidos por cada provincia capital. Nuestra capital obtuvo un puntaje de 57.5 de 100 y nos encontramos por debajo de la municipalidad provincial de Cajamarca que obtuvo 70 de 100.

A raíz de todo este tema existe una empresa llamada Cajas Ecológicas SAC que nos ayudó a obtener el agregado reciclado que usaremos como agregados gruesos convencional en diferentes tipos de concreto para la aplicación en veredas con $F'c = 175 \frac{kg}{cm^2}$.

En este capítulo explicaremos como es que el concreto eliminado de las obras puede llegar a utilizarse mediante el servicio de dicha empresa EPS-RS desde su sistema de gestión hasta su aplicación en nuevos elementos de la ingeniería civil.

Esta empresa peruana certificada por DIGESA con más de cinco años de experiencia brinda el servicio de gestión ambiental y transporte de residuos sólidos generados por las obras civiles en Lima Metropolitana.

En la figura 15, se muestra su procedimiento de servicio traído desde España que se detalla mediante un flujograma.

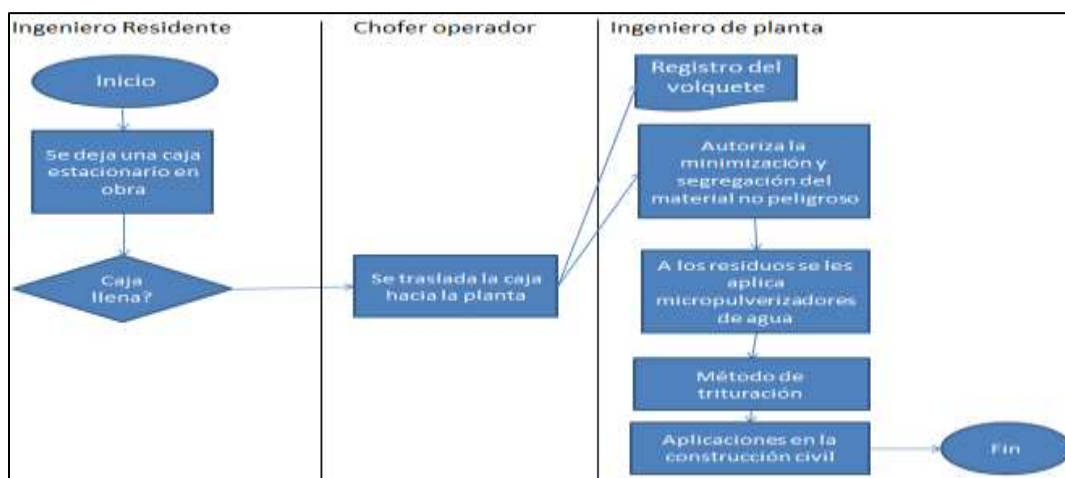


Figura 15. Flujograma del procedimiento de recolección de residuos sólidos de la empresa Cajas Ecológicas.

Fuente: Propia.

La empresa deja una caja metálica estacionaria llamada “CAJA ECOLÓGICA”, la cual se encuentra en un lugar específico definido por cada obra para su posterior llenado de residuos sólidos de la construcción (entre ellos la merma del concreto premezclado que es típico en obra).

A continuación, se presenta las 4 fases que comprende cada una de ellas:

- 1) **INICIO:** Luego de 15 días la empresa viene a recoger la CAJA ECOLÓGICA previa coordinación con el Ingeniero Residente o encargado de obra.
- 2) **TRASLADO:** El chofer operador de la grúa se encarga de llevar la caja llena a la planta de tratamiento ubicada en Av. Mariano Pastor Sevilla Mz D1 Lt 3A, Sector 5. San Juan de Miraflores.

- 3) **PLANTA:** En la planta se realizan los trabajos de segregación y minimización de los residuos sólidos que se han generado con la ayuda de personal altamente capacitado y con todos los equipos de protección personal. Esta empresa se ayuda de micro pulverizadores de agua para disminuir cualquier impacto ambiental.
- 4) **TRATAMIENTO:** Se dará usos nuevos al material que esté en condiciones adecuadas para el tratamiento. El concreto / desmonte será triturado y este material se usará para la construcción de pistas, veredas, anfiteatros y lozas deportivas de baja densidad que por el momento no cuentan con ningún sustento técnico.

Y es así como se maneja actualmente ámbito a nivel nacional sobre el sistema de gestión de los residuos sólidos de construcción y demolición. Sin embargo, a continuación, presentaremos nuestra propuesta mejorada en base a todo lo anterior antes desarrollado.

3.2 Estructura

En este subcapítulo, presentaremos las 5 fases que comprende nuestra propuesta de sistema de gestión:

- 1) REQUISITO GUBERNAMENTAL
- 2) PUNTO DE ACOPIO EN OBRA
- 3) TRASLADO
- 4) PLANTA
- 5) TRATAMIENTO Y APLICACIÓN

Las cuales estarán detalladas con su respectiva descripción en el siguiente subcapítulo.

3.3 Desarrollo

En nuestro país en un futuro todas las empresas/constructoras deberían de contar o seguir un sistema de gestión de sus RCD para poder reutilizarlos bajo la fiscalización de la entidad gubernamental de la zona (municipal, regional, etc.). Es por ello, que hemos realizado una propuesta mediante un flujograma genérico, de cómo se podría obtener agregados reciclados y entre otros residuos en una dimensión mucho mayor a la actual.

En la figura 16, se muestra dicha propuesta.

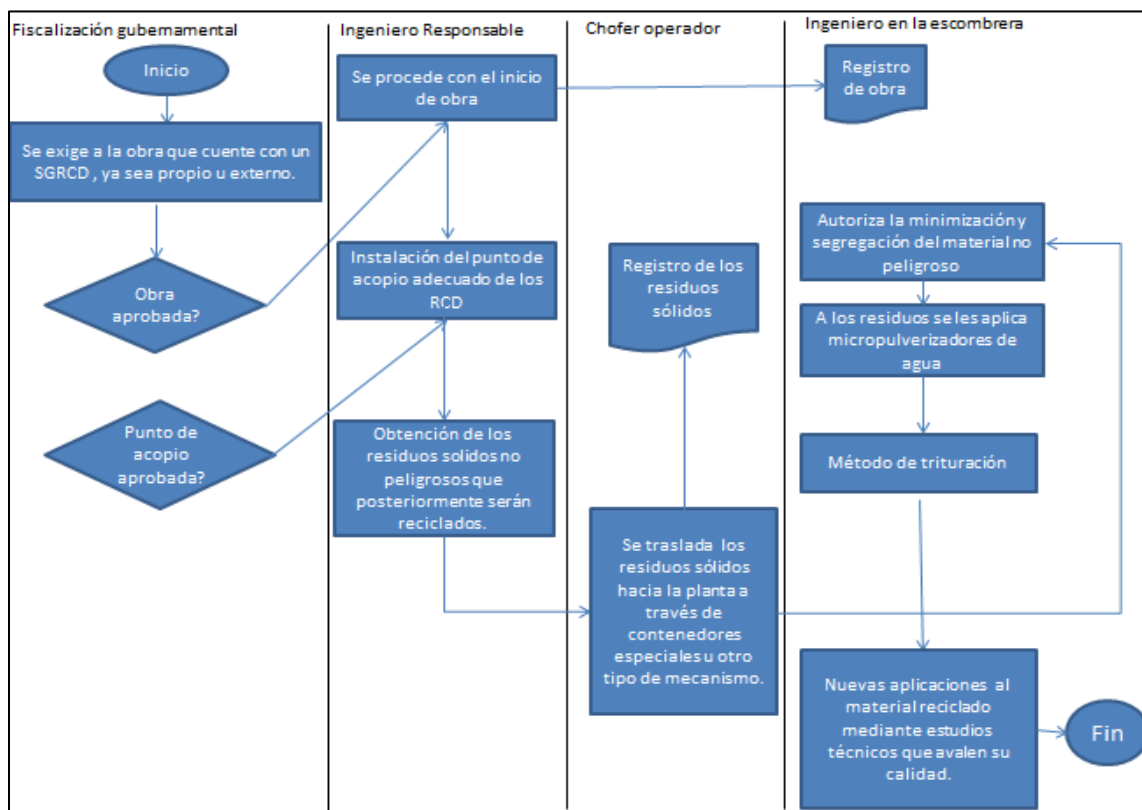


Figura 16. Propuesta mediante flujograma del procedimiento de recolección de residuos sólidos

Fuente: Propia.

A continuación, se presenta las 5 fases que comprende cada una de ellas:

- 1) **REQUISITO GUBERNAMENTAL:** Todo inicia desde la exigencia de la entidad gubernamental encargada de emitir las licencias de construcción o autorización de ejecución, en la cual debe de exigir como un requisito más a los ya existentes que la obra debe acondicionar una zona para el acopio de los RCD y debe de contar con un sistema de gestión ya sea propio o público.
- 2) **PUNTO DE ACOPIO EN OBRA:** El responsable interno en obra de que se haga cumplir dicho acondicionamiento debe ser el responsable de obra debidamente

registrado. Una vez acondicionado dicho punto de acopio, debe estar sujeta a fiscalización antes del inicio de la obra para su debida aprobación.

- 3) **TRASLADO:** En esta etapa debe de existir una empresa EPS-RS encargada, aprobados por DIGESA, la cual traslade dichos RCD hacia una planta a través de contenedores especiales u otro tipo de mecanismo.
- 4) **PLANTA:** En la planta se realizan los trabajos de segregación y minimización de los residuos sólidos que se han generado con la ayuda de personal altamente capacitado y con todos los equipos de protección personal. Además, se debe de usar micro pulverizadores de agua para disminuir cualquier impacto ambiental en la zona donde se encuentre dicha planta de tratamiento. Es decir, que en dicha planta se deberán tomar más variables medio ambientales que disminuyan la generación de impactos ambientales durante el traslado de los RCD y las actividades propias de la planta.
- 5) **TRATAMIENTO Y APLICACIÓN:** Mediante estudios técnicos, dichos RCD serán utilizados para darles una nueva aplicación.

OBJETIVO 2

3.4 Ensayo de agregados

3.4.1 Introducción

Es de suma importancia realizar los ensayos a los agregados a utilizar, tanto a los agregados gruesos, finos y reciclados, para determinar que cumplan con los requisitos mínimos requeridos para el diseño de mezcla a utilizar y así poder alcanzar las características físicas y mecánicas deseadas.

Los agregados, tanto como la arena gruesa y la piedra chancada, son obtenidos del laboratorio de San Miguel de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) y para el caso del agregado grueso reciclado es obtenido de la empresa Cajas Ecológicas S.A.C que se encarga de recolectar concreto eliminado en obra para luego ser trasladado, seleccionado y transformado por medio de una chancadora en un nuevo agregado grueso.

Se mencionan los ensayos a realizar:

- Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos NTP 400.012 (2013)
- Peso específico y absorción de agregados finos NTP 400.022 (2013)
- Peso específico y absorción de agregados gruesos NTP 400.21 (2013)
- Peso unitario de los agregados NTP 400.017 (2016)
- Humedad natural de los agregados NTP 339.185 (2013)
- Abrasión de Los Ángeles NTP 400.020 (2014)

3.4.2 Granulometría

El ensayo de análisis granulométrico se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos como agregados. Los resultados obtenidos serán usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos exigidos en la

especificación técnica correspondiente. La referencia normativa para el ensayo es la Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos NTP 400.012 (2013).

3.4.2.1 Análisis granulométrico del agregado fino

En las tablas 7 y tabla 8, se muestran los resultados de los ensayos granulométricos del agregado fino realizado para dos muestras diferentes Tara #3 y Tara #4:

Malla	Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante Acumulado (%)
3/8"	3.3	0.4	0.5	99.5
N° 4	44.2	6.2	6.6	93.4
N° 8	128.4	18.0	24.6	75.4
N° 16	146.9	20.6	45.2	54.8
N° 30	141.5	19.8	65.0	35.0
N° 50	104.9	14.7	79.7	20.3
N° 100	65.3	9.1	88.8	11.2
Fondo	80.1	11.2	100.0	0.0
Total	714.6	100.0	Módulo de fineza	3.10

Tabla 7. Análisis granulométrico del agregado fino - Tara #3

Fuente: Propia.

Malla	Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante Acumulado (%)
3/8"	3.7	0.5	0.5	99.52
N° 4	40.5	5.3	5.8	94.23
N° 8	123.7	16.1	21.9	78.09
N° 16	170.3	22.2	44.1	55.86
N° 30	163.8	21.4	65.5	34.48
N° 50	118.8	15.5	81.0	18.98
N° 100	74.5	9.7	90.7	9.25
Fondo	70.9	9.3	100.0	0.0
Total	766.2	100.0	Módulo de fineza	3.10

Tabla 8. Análisis granulométrico del agregado fino - Tara #4

Fuente: Propia.

En las figuras 17 y 18, se muestra que, con dichos datos se procedió a graficar la curva granulométrica, que representa la abertura de los tamices expresados en mm para el eje X y el porcentaje que pasa para el eje Y.

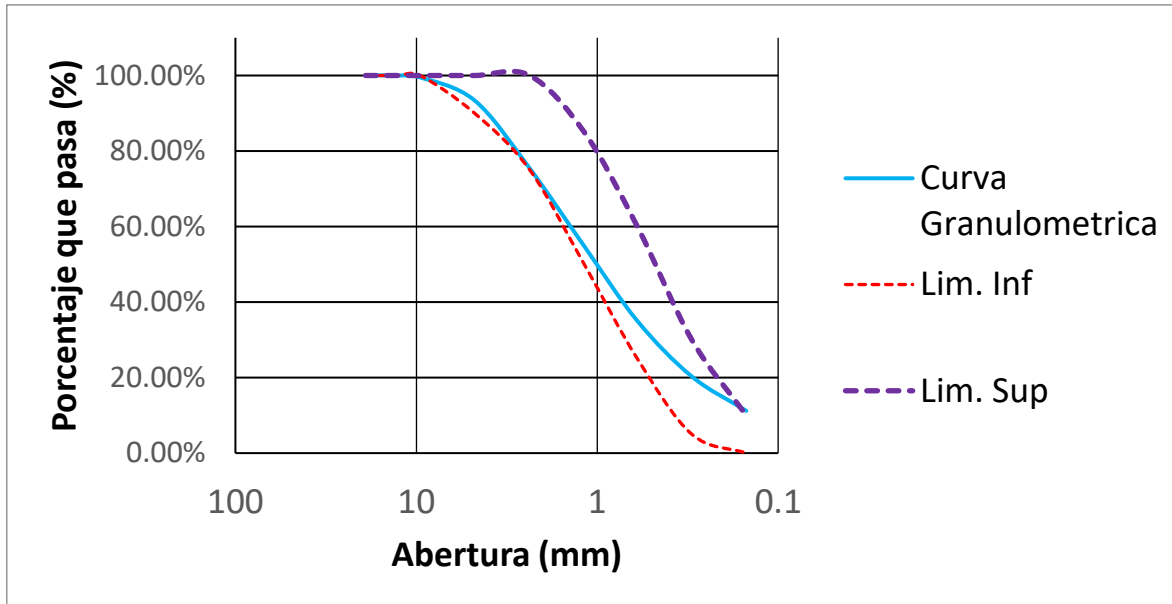


Figura 17. Curva de distribución granulométrica del agregado fino - Tara #3

Fuente: Propia.

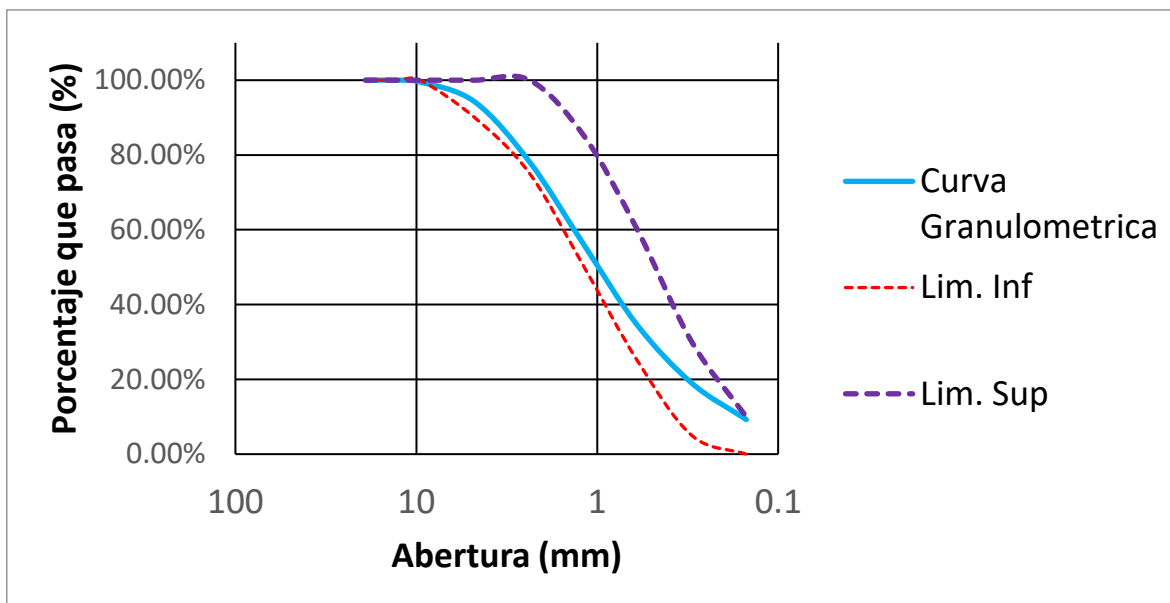


Figura 18. Curva de distribución granulométrica del agregado fino - Tara #4.

Fuente: Propia.

El peso mínimo de la muestra según la norma para nuestro agregado fino es de 500 gramos. Además, se puede concluir que el agregado fino convencional se encuentra dentro de los límites inferiores y superiores establecidos en la NTP 400.012 (2013), es decir, que cumple con las especificaciones requeridas para nuestro diseño de mezcla.

Por otro lado, el módulo de fineza de nuestro agregado fino es de 3.10. Este valor va acorde a la NTP 400.037 (2018) cumpliendo las especificaciones normalizadas para agregados de concreto, que nos menciona que debería encontrarse en un rango entre 2.3 y 3.1 (Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2018).

Al igual que con los agregados finos, necesitamos conocer también las propiedades físicas del agregado grueso convencional y reciclado para poder realizar el diseño de mezcla de concreto.

3.4.2.2 Análisis granulométrico del agregado grueso convencional

En las tablas 9 y tabla 10, se muestran los resultados de los ensayos granulométricos para el agregado grueso convencional realizado para dos muestras diferentes Tara A y Tara B:

Malla	Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante Acumulado (%)
1 ½”	0	0	0	100
1 “	0	0.0	0.0	100.0
¾ “	20.2	0.8	0.8	99.2
½ “	1696.5	67.2	68.0	32.0
3/8 “	171.8	6.8	74.9	25.1
Fondo	634.3	25.1	100.0	0.0
Total	2522.8	100	Módulo de fineza	6.8

Tabla 9. Análisis granulométrico del agregado grueso convencional - Tara A.

Fuente: Propia.

Malla	Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante Acumulado (%)
1 ½”	0	0.0	0.0	100.0
1 “	0	0.0	0.0	100.0
¾ “	9	0.3	0.3	99.7
½ “	1181.2	43.8	44.2	55.8
3/8 “	622.9	23.1	67.3	32.7
Fondo	881.4	32.7	100.0	0.0
Total	2694.5	100.0	Módulo de fineza	6.7

Tabla 10. Análisis granulométrico del agregado grueso convencional - Tara B.

Fuente: Propia.

En las figuras 19 y 20, se muestra que, con los datos obtenidos, se procedió a graficar las curvas granulométricas, que representa la abertura de los tamices expresados en mm para el eje X y el porcentaje que pasa para el eje Y.

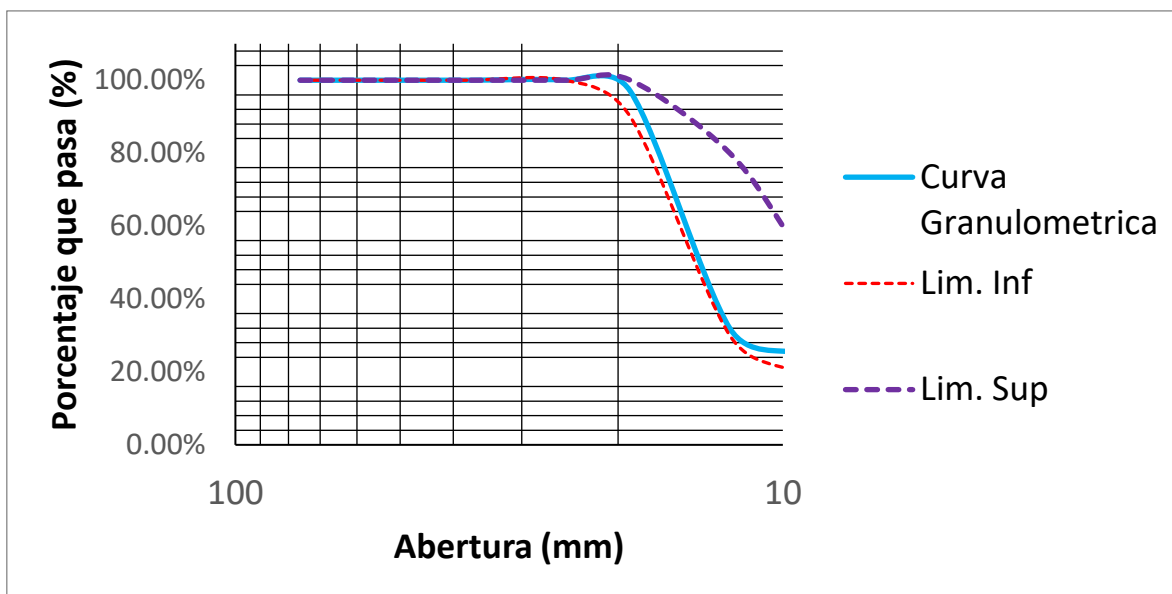


Figura 19. Curva granulométrica del agregado grueso convencional - Tara A.

Fuente: Propia.

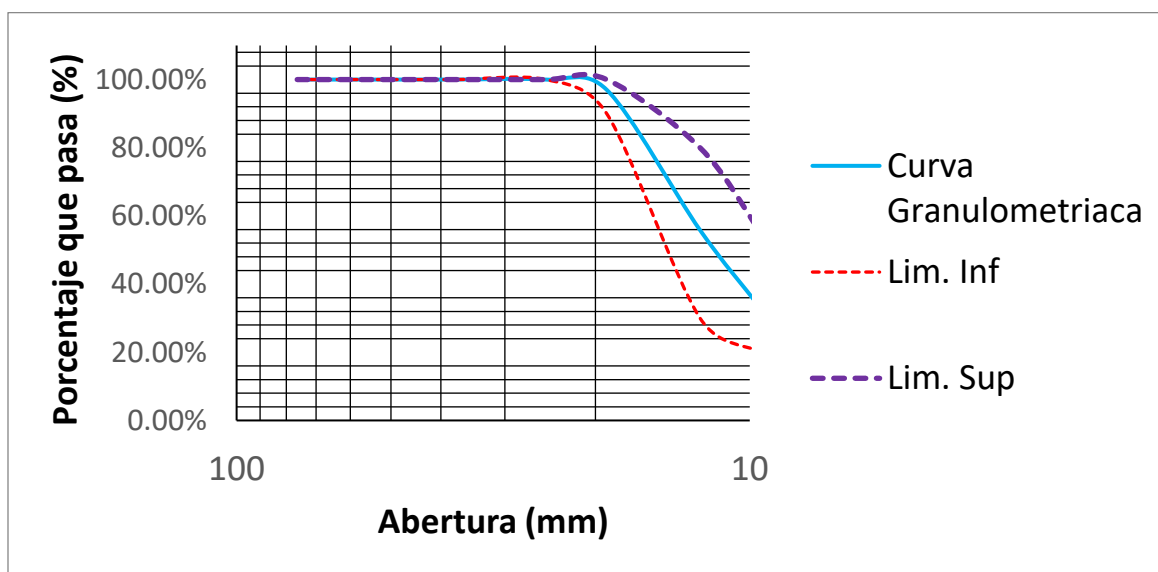


Figura 20. Curva granulométrica del agregado grueso convencional - Tara B.

Fuente: Propia.

Se puede apreciar que el agregado grueso convencional cumple con los límites inferiores y superiores para un TMN de ¾” establecidos por la NTP 400.012 (2013), lo cual demuestra que este agregado es apropiado para ser utilizado en un diseño de mezcla. Además, el valor obtenido del módulo de fineza del agregado grueso convencional es de 6.75.

3.4.2.3 Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado

En las tablas 11 y 12, se muestran los resultados de los ensayos granulométricos del agregado grueso reciclado realizado para dos muestras diferentes Tara C y Tara D:

Malla	Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante Acumulado (%)
1 ½”	0	0	0	100
1 “	219.7	7.51	7.5	92.5
¾ “	872.3	29.83	37.3	62.7
½ “	1316.7	45.02	82.4	17.6
3/8 “	304.2	10.40	92.8	7.2
Fondo	211.8	7.24	100.0	0.0
Total	2924.7	100	Módulo de fineza	7.3

Tabla 11. Análisis granulométrico del agregado grueso convencional - Tara C.

Fuente: Propia.

Malla	Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante Acumulado (%)
1 ½”	0	0	0	100
1 “	158.1	6.21	6.2	93.8
¾ “	394.7	15.49	21.7	78.3
½ “	1027.9	40.35	62.0	38.0
3/8 “	422	16.56	78.6	21.4
Fondo	545	21.39	100.0	0.0
Total	2547.7	100	Módulo de fineza	7.0

Tabla 12. Análisis granulométrico del agregado grueso convencional - Tara D.

Fuente: Propia.

En las figuras 21 y 22, se muestra que, con el agregado grueso y los datos obtenidos en el análisis granulométrico, se procedió a graficar las curvas granulométricas, que representa la abertura de los tamices expresados en mm para el eje X y el porcentaje que pasa para el eje Y.

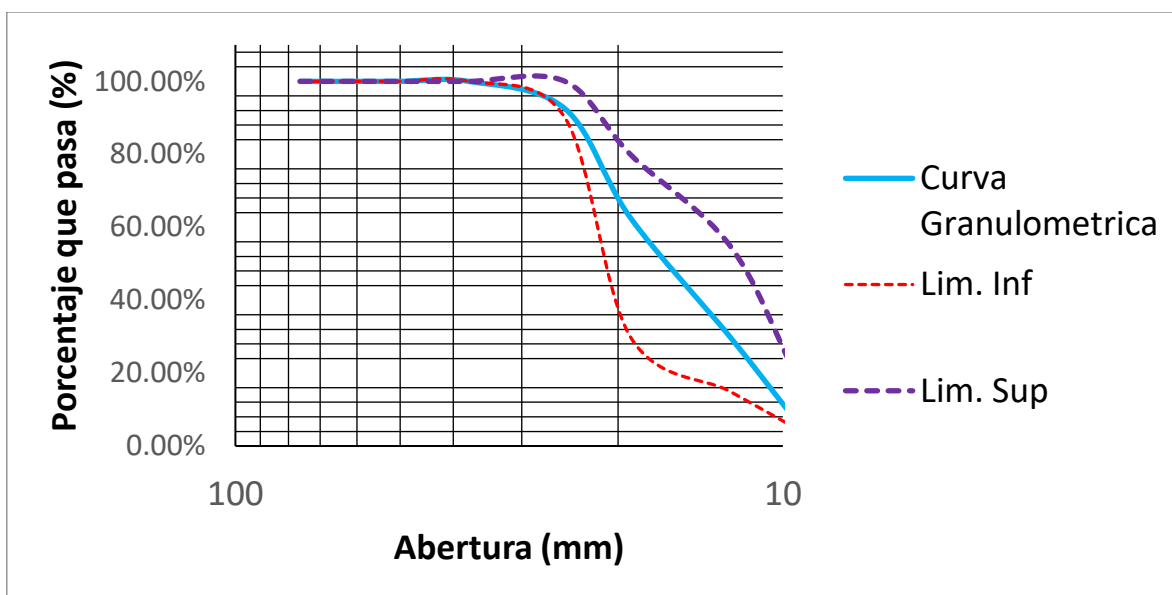


Figura 21. Curva de distribución granulométrica del agregado grueso convencional – Tara C.

Fuente: Propia.

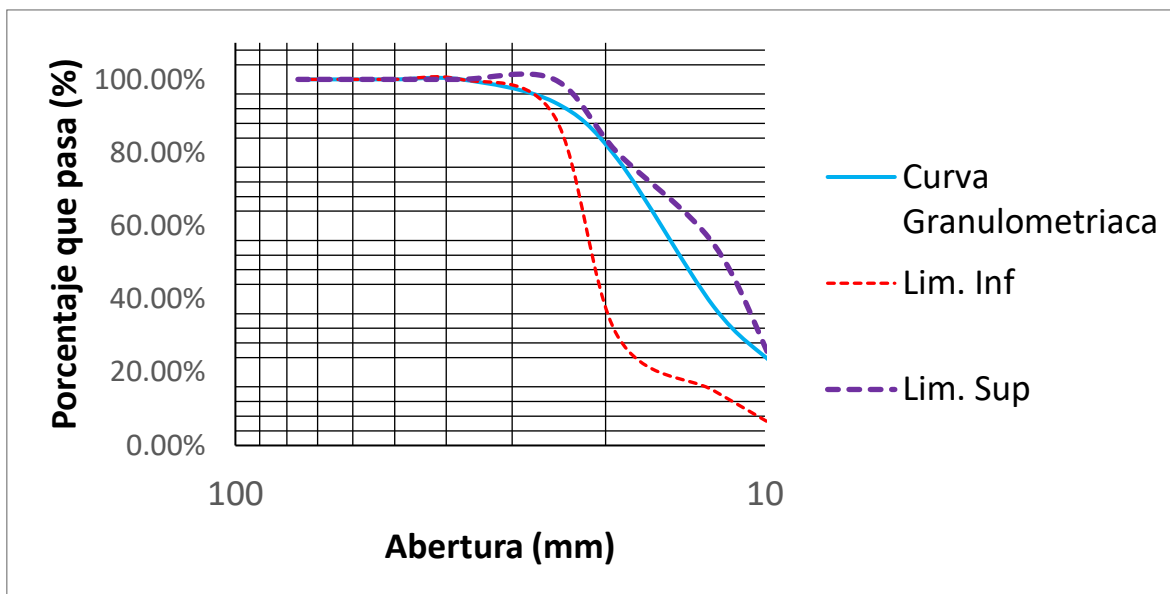


Figura 22. Curva de distribución granulométrica del agregado grueso convencional – Tara D.

Fuente: Propia.

Se puede apreciar que el agregado grueso reciclado cumple con los límites inferiores y superiores para un TMN de 1” establecidos por la NTP 400.012 (2013), lo cual demuestra que este agregado también cumple con propiedades granulométricas adecuadas para realizar un diseño de mezcla. Por otro lado, el valor de módulo de fineza para el agregado grueso reciclado es de 7.15.

3.4.3 Peso específico y absorción

A continuación, presentamos los pesos específicos y absorción de los agregados finos y los gruesos.

3.4.3.1 Peso específico y absorción de agregados finos

Este ensayo de la NTP 400.022 (2013), peso específico y absorción del agregado fino, se aplica para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino.

Cálculos:

Tal como se muestra en la ecuación 1, el Peso específico de masa (Pe_m) es:

$$Pe_m = \frac{W_0}{(V - V_a)} \dots (1)$$

Dónde:

Pe_m : Peso específico de masa

W_0 : Peso en el aire de la muestra secada en el horno

V : Volumen del frasco en cm^3

V_a : Peso en gramos o volumen en cm^3 de agua añadida al frasco

Además,

Tal como se muestra en la ecuación 2 el peso específico de masa saturado con superficie seca (Pe_{sss}) es:

$$Pe_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100 \dots (2)$$

Tal como se muestra en la ecuación 3 el peso específico aparente (Pe_a):

$$Pe_a = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \times 100 \dots (3)$$

Tal como se muestra en la ecuación 4 la absorción (Ab) es:

$$Ab = \frac{500 - W_0}{W_0} \times 100 \dots (4)$$

Resultados:

En la tabla 13, se muestra todos los datos obtenidos en el laboratorio para realizar el ensayo de peso específico y absorción del agregado.

Descripción	Cantidad	Unidad
W_{fiola}	167	gr
$W_{fiola+arena+agua}$	977.4	gr
$W_{recipiente\ seco+arena}$	654.1	gr
$W_{recipiente}$	159.6	gr
$W_{agua\ en\ fiola}$	310.4	gr

Tabla 13. Datos iniciales para ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.

Fuente: Propia.

En la tabla 14, se muestra que con los datos obtenidos en el laboratorio y haciendo uso de la NTP 400.022 (2013), podemos determinar el peso específico y absorción del agregado fino.

Símbolo	Cantidad	Unidad	Descripción
W_0	494.50	gr	Peso específico de la masa
V	500.00	cm^3	Volumen de fiola
V_a	310.40	cm^3	Volumen de fiola con agua añadida
Pe_m	2608.12	$\frac{gr}{cm^3}$	Peso específico de masa
Pe_{sss}	2637.13	$\frac{gr}{cm^3}$	Peso específico de masa saturada
Pe_a	2686.04	$\frac{gr}{cm^3}$	Peso específico aparente
A_b	1.11	%	Absorción

Tabla 14. Peso específico y absorción del agregado fino.

Fuente: Propia.

El valor del peso específico del agregado fino es de $2608.12 \frac{gr}{cm^3}$ y el porcentaje de absorción del agregado es 1.11%. Estos valores representan un dato importante para más adelante realizar ajustes en la corrección por dosificaciones de mezcla.

3.4.3.2 Peso específico y absorción de los agregados gruesos

Este ensayo de la NTP 400.021 (2013) se aplica para determinar el peso específico aparente y nominal, así como la absorción, después de 24 horas sumergidos en agua.

Cálculos:

Tal como se muestra en la ecuación 5 el peso específico de masa (Pe_m) es:

$$Pe_m = \frac{A}{(B-C)} \times 100 \dots (5)$$

Donde:

A : Peso de la muestra seca en el aire, en gramos.

B : Peso de la muestra saturada seca en el aire, en gramos.

C : Peso sumergido en agua de la muestra saturada, en gramos.

Tal como se muestra en la ecuación 6 el peso específico de masa saturado con superficie seca (Pe_{sss}) es:

$$Pe_{sss} = \frac{B}{(B-C)} \times 100 \dots (6)$$

Tal como se muestra en la ecuación 7 el peso específico aparente (Pe_a) es:

$$Pe_a = \frac{A}{(A-C)} \times 100 \dots (7)$$

Tal como se muestra en la ecuación 8 la absorción (A_b) es:

$$A_b = \frac{B-A}{A} \times 100 \dots (8)$$

Resultados:

Agregado grueso convencional:

En la tabla 15, se muestra todos los datos obtenidos en el laboratorio para realizar el ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso convencional:

Símbolo	Cantidad	Unidad	Descripción
A	1738.10	gr	Peso seco de la muestra en el aire
B	1742.70	gr	Peso de la muestra saturada en el aire
C	1099.70	gr	Peso en el agua de la muestra saturada

Tabla 15. Datos iniciales para ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso convencional.

Fuente: Propia.

En la tabla 16, se muestra con los datos obtenidos en el laboratorio y haciendo uso de la NTP 400.022 (2013), podemos determinar el peso específico y absorción del agregado grueso convencional.

Símbolo	Cantidad	Unidad	Descripción
P_{e_m}	2703.11	gr	Peso específico de masa
$P_{e_{ss}}$	2710.26	gr	Peso específico de masa saturada
P_{e_a}	2722.59	gr	Peso específico aparente
A_b	0.27	%	Absorción

Tabla 16. Peso específico y absorción del agregado grueso convencional.

Fuente: Propia.

El peso específico del agregado grueso convencional es de $2703.11 \frac{kg}{m^3}$ y el porcentaje de absorción de 0.27%.

Agregado grueso reciclado:

En la tabla 17, se muestra todos los datos obtenidos en el laboratorio para realizar el ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso convencional.

Símbolo	Cantidad	Unidad	Descripción
A	1738.10	gr	Peso seco de la muestra en el aire
B	1801.40	gr	Peso de la muestra saturada en el aire
C	1111.73	gr	Peso en el agua de la muestra saturada

Tabla 17. Datos iniciales para ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso reciclado.

Fuente: Propia.

En la tabla 18, se muestra con los datos obtenidos en el laboratorio y haciendo uso de la NTP 400.022 (2013), podemos determinar el peso específico y absorción del agregado grueso reciclado.

Símbolo	Cantidad	Unidad	Descripción
P_{e_m}	2520.19	gr	Peso específico de masa
$P_{e_{sss}}$	2611.97	gr	Peso específico de masa saturada
P_{e_a}	2722.59	gr	Peso específico aparente
A_b	3.65	%	Absorción

Tabla 18. Peso específico y absorción del agregado grueso reciclado.

Fuente: Propia.

El peso específico del agregado grueso convencional es de $2520.19 \frac{kg}{cm^3}$ y el porcentaje de absorción de 3.65%. En comparación con el agregado grueso convencional, el peso específico del reciclado representa el 93.23% del convencional y la absorción del reciclado aumenta en 1351.85% del convencional. Estos resultados presentes en el agregado grueso reciclado son a consecuencia del mortero adherido de este material reciclado.

3.4.4 Peso unitario suelto y compacto de los agregados

El ensayo normalizado en la norma técnica peruana NTP 400.017 (2016) tiene como objetivo la determinación del peso unitario de los agregados tanto suelto como compactado, y la determinación del cálculo de vacíos entre las partículas que componen el agregado. El ensayo tiene de gran importancia para diversos ensayos que se realizará en la presente tesis donde se aplicará un criterio de selección de proporciones para las diferentes mezclas de concreto.

Cálculos:

Tal como se muestra en la ecuación 9 el peso unitario del agregado (M) es:

$$M = \frac{G-T}{V} \dots (9)$$

Dónde:

M : Peso unitario del agregado en $\frac{kg}{m^3}$

G : Peso del recipiente de medida más el agregado en kg

T : Peso del recipiente de medida en kg

V : Volumen del recipiente de medida en m^3

Resultados:

En la tabla 19, se muestran los datos del molde el cual se usó para colocar y pesar las muestras de cada ensayo:

Símbolo	Cantidad	Unidad	Descripción
T	1.627	kg	Peso del recipiente
V	0.003	m ³	Volumen del recipiente

Tabla 19 Peso específico y absorción del agregado grueso reciclado.

Fuente: Propia.

3.4.4.1 Determinación del peso unitario del agregado fino

En las tablas 20 y 21, se muestran que con los datos obtenidos en el laboratorio y haciendo uso de la NTP 400.017 (2016), podemos determinar el peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

Muestra	Peso del recipiente (kg)	Volumen del recipiente (m³)	Peso Suelto (kg)	P.U SUELTO
TARA 1	1.627	0.003	6.229	1635.691
TARA 2	1.627	0.003	6.276	1652.400

Tabla 20. Peso unitario suelto del agregado fino.

Fuente: Propia.

Muestra	Peso del recipiente (kg)	Volumen del recipiente (m³)	Peso Suelto (kg)	P.U COMPACTADO
TARA 1	1.627	0.003	6.697	1802.240
TARA 2	1.627	0.003	6.692	1800.462

Tabla 21. Peso unitario compactado del agregado fino.

Fuente: Propia.

Los pesos unitarios suelto y compactado para el agregado fino son de $1644.046 \frac{kg}{m^3}$ y $1801.351 \frac{kg}{m^3}$ respectivamente. Se puede comprobar que el valor que nos arroja el peso unitario suelto es menor al compactado debido que al momento de compactar por capas, se disminuye la cantidad de vacíos y así pueda ingresar más material al molde utilizado.

3.4.4.2 Determinación del peso unitario del agregado grueso convencional

En las tablas 22 y 23, se muestra que, con los datos obtenidos en el laboratorio y haciendo uso de la NTP 400.017 (2016), podemos determinar el peso unitario suelto y compactado del agregado grueso convencional.

Muestra	Peso del recipiente (kg)	Volumen del recipiente (m³)	Peso Suelto (kg)	P.U SUELTO
TARA 1	1.627	0.003	5.668	1436.438
TARA 2	1.627	0.003	5.684	1442.126

Tabla 22. Peso unitario suelto del agregado grueso convencional.

Fuente: Propia.

Muestra	Peso del recipiente (kg)	Volumen del recipiente (m³)	Peso Suelto (kg)	P.U COMPACTADO
TARA 1	1.627	0.003	6.145	1606.008
TARA 2	1.627	0.003	6.132	1601.351

Tabla 23. Peso unitario compactado del agregado grueso convencional.

Fuente: Propia.

Los pesos unitarios suelto y compactado para el agregado grueso son de $1439.282 \frac{kg}{m^3}$ y $1603.679 \frac{kg}{m^3}$ respectivamente. De igual manera que el agregado fino, el peso unitario compactado es mayor al suelto por la mayor cantidad de material que ingresa en el volumen total del recipiente.

3.4.4.3 Determinación del peso unitario del agregado grueso reciclado:

En las tablas 24 y 25, se muestra que, con los datos obtenidos en el laboratorio y haciendo uso de la NTP 400.017 (2016), podemos determinar el peso unitario suelto y compactado del agregado grueso reciclado.

Muestra	Peso del recipiente (kg)	Volumen del recipiente (m³)	Peso Suelto (kg)	P.U SUELTO
TARA 1	1.627	0.003	5.170	1259.454
TARA 2	1.627	0.003	5.212	1274.440

Tabla 24. Peso unitario suelto del agregado grueso reciclado.

Fuente: Propia.

Muestra	Peso del recipiente (kg)	Volumen del recipiente (m³)	Peso Suelto (kg)	P.U COMPACTADO
TARA 1	1.627	0.003	5.547	1393.281
TARA 2	1.627	0.003	5.504	1378.031

Tabla 25. Peso unitario compactado del agregado grueso reciclado.

Fuente: Propia.

Los pesos unitarios suelto y compactado para el agregado grueso reciclado son de 1266.993 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ y 1385.656 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ respectivamente. Se puede comprobar que el valor que nos arroja el peso unitario suelto es menor al compactado, esto se evidencia debido a que ingresa mucho menos agregado en el mismo volumen para ambos. Además, al ser un material suelto la cantidad de vacíos es mucho mayor al compactado, es por ello que su densidad disminuye en $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Comparando con los valores arrojados con el agregado grueso convencional podemos apreciar que tanto para los pesos unitarios sueltos y compactados hay una variación

porcentual de 88.0 y 86.4 % respectivamente, esto se explica por el mortero adherido que hay en el agregado grueso reciclado.

3.4.5 Humedad natural de los agregados

Este ensayo se aplica para calcular el porcentaje de humedad de una muestra de nuestro agregado fino, grueso y grueso reciclado. Se utilizaron dos muestras por cada tipo de agregado a fin de tener un promedio de la humedad. La referencia normativa para el ensayo es la humedad natural de los agregados NTP 339.185 (2013).

Cálculos:

Tal como se muestra en la ecuación 10 el contenido total de humedad (P) es:

$$P = \frac{100(W-D)}{D} \dots (10)$$

Dónde:

P : Contenido total de humedad evaporable de la muestra en porcentaje.

W : Peso de la muestra húmeda en gramos.

D : Peso de la muestra seca en gramos.

Resultados:

En la tabla 26, se muestran todos los datos obtenidos en el laboratorio para realizar el ensayo de humedad natural de agregados:

Muestra	Peso del recipiente (<i>gr</i>)	Peso de la muestra + recipiente (<i>gr</i>)
Tara 3	205.3	957.8
Tara 4	143.9	6969.1
Molde A	677.33	3203.7
Molde B	681.8	3379.9
Molde C	896.2	5623.7
Molde D	906.2	4960.8

Tabla 26. Datos iniciales para ensayo de contenido de humedad.

Fuente: Propia.

3.4.5.1 Contenido de humedad del agregado fino

En la tabla 27, se muestra los datos obtenidos en el laboratorio y haciendo uso de la NTP 339.185 (2013), podemos determinar la humedad natural del agregado fino.

Muestra	Peso de muestra (<i>gr</i>)	Peso del recipiente + muestra seca (<i>gr</i>)	Contenido de Humedad (%)
TARA 3	752.50	744.60	1.06
TARA 4	825.2	817.2	0.98

Tabla 27. Contenido de humedad del agregado fino.

Fuente: Propia.

La cantidad de agua retenida por las partículas del agregado fino entre las dos muestras nos da un promedio de 1.02 %. El contenido de humedad del agregado fino en comparación de un agregado grueso es mucho mayor por la propiedad de cohesión que presentan sus partículas finas.

3.4.5.2 Contenido de humedad del agregado grueso convencional

En la tabla 28, se muestra los datos obtenidos en el laboratorio y haciendo uso de la NTP 339.185 (2013), podemos determinar la humedad natural del agregado grueso convencional.

Muestra	Peso de muestra (gr)	Peso del recipiente + muestra seca (gr)	Contenido de Humedad (%)
Molde C	2526.40	2522.50	0.15
Molde D	2698.10	2694.10	0.15

Tabla 28. Contenido de humedad del agregado grueso convencional.

Fuente: Propia.

La cantidad de agua retenida por las partículas del agregado grueso convencional entre las dos muestras nos da un promedio de 1.43%. Esto a consecuencia del mortero adherido y al proceso de chancado que tuvo que sufrir el agregado grueso reciclado, por lo cual le da la propiedad de retener mayor cantidad de agua en comparación al agregado grueso convencional, el cual tuvo un valor de 0.15% como contenido de humedad.

3.4.5.3 Contenido de humedad del agregado grueso reciclado

En la tabla 29, se muestra los datos obtenidos en el laboratorio y haciendo uso de la NTP 339.185 (2013), podemos determinar la humedad natural del agregado grueso reciclado.

Muestra	Peso de muestra (gr)	Peso del recipiente + muestra seca (gr)	Contenido de Humedad (%)
Molde C	4727.50	4664.06	1.36
Molde D	4054.60	3994.68	1.50

Tabla 29 Contenido de humedad del agregado grueso reciclado.

Fuente: Propia.

La cantidad de agua retenida por las partículas del agregado grueso reciclado entre las dos muestras nos da un promedio de 1.43%. Esto a consecuencia del mortero adherido y al proceso de chancado que tuvo que sufrir el agregado grueso reciclado, por lo cual le da la propiedad de retener mayor cantidad de agua en comparación al agregado grueso convencional, el cual tuvo un valor de 0.15% como contenido de humedad.

3.4.6 Abrasión de los Ángeles

Este ensayo se aplica para agregados gruesos de tamaños menores a 1 ½ y así determinar la resistencia a la degradación utilizando la Máquina de Los Ángeles. La referencia normativa para el ensayo de abrasión del agregado grueso es la NTP 400.020 (2014).

En la tabla 30, se muestra la granulometría y pesos de los agregados para el ensayo:

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	1 250 ± 25	-. -	-. -	-. -
25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	1 250 ± 25	-. -	-. -	-. -
19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	1250 ± 10	1250 ± 10	-. -	-. -
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	1250 ± 10	1250 ± 10	-. -	-. -
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")	-. -	-. -	2500 ± 10	-. -
6.3 mm (1/4")	4.75 mm (N° 4)	-. -	-. -	2500 ± 10	-. -
4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	-. -	-. -		5 000
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Tabla 30. Gradación de las muestras de ensayo Abrasión de los Ángeles.

Fuente: Extraído de (Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2014).

Resultados:

En la tabla 31, se muestra que luego de realizar el ensayo de abrasión al agregado reciclado se obtuvo los siguientes resultados.

Muestra	TMN	Tipo de gradación	Porcentaje de desgaste (%)	Relación de uniformidad
Concreto Reciclado	1”	A	29.7	0.25

Tabla 31. Ensayo de Abrasión de los Ángeles.

Fuente: Propia.

El desgaste por abrasión del agregado grueso reciclado fue de 29.7%. Este valor a comparación de un agregado grueso convencional sometido al mismo ensayo es mayor en base del estado del arte, esto se explica por la presencia de restos de mortero adherido al agregado reciclado. Por otro lado, según la norma CE.010 (2010), el valor debe ser a menor a 40% por lo cual el resultado está dentro de la normal (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), 2010) . En el Anexo 1 se podrá encontrar los resultados del ensayo a más detalle.

3.4.7 Resumen de los ensayos:

Los ensayos para determinar las propiedades de los agregados se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), según las normas NTP correspondientes para cada ensayo.

En la tabla 32, se muestra el resumen de todas las propiedades del agregado grueso fino, grueso convencional y grueso reciclado.

Propiedades Mecánicas	Agregado Fino	Agregado grueso convencional	Agregado grueso reciclado
Módulo de fineza	3.15	6.75	7.15
TMN	-	3/4"	1"
Peso unitario suelto ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	1644.06	1439.28	1266.99
Peso unitario compactado ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	1801.35	1603.68	1385.66
Peso específico ($\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$)	2.61	2.70	2.52
Peso específico de masa saturada ($\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$)	2.64	2.71	2.61
Peso específico aparente ($\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$)	2.69	2.72	2.72
% Absorción	1.10%	0.27%	3.65%
% Humedad	1.02%	0.15%	1.43%

Tabla 32. Resumen de propiedades de agregados.

Fuente: Propia.

OBJETIVO 3

3.5 Diseño de mezcla

3.5.1 Introducción

En este capítulo se pueden obtener alcances de los diferentes diseños de mezclas utilizados para obtener un nuevo concreto a partir del uso del concreto reciclado como agregado grueso.

En primer lugar, se estableció un adecuado porcentaje entre arena y piedra para todos los diseños, los cuáles el porcentaje de agregado grueso convencional será reemplazado por agregado grueso reciclado. El método utilizado para el diseño de mezcla con concreto patrón y con concreto reciclado en diferentes porcentajes es el de módulo de fineza para la combinación de agregados.

Por la aplicación que se le va a dar a la presente tesis que es de veredas, se diseñó buscando un $f'c = 175 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$. De igual manera, ya se establece un TMN de $\frac{3}{4}$ " para el agregado grueso y un slump entre 3"- 4", un concreto plástico adecuado por su trabajabilidad.

En la tabla 33 se obtiene el contenido de agua, volumen unitario de agua:

	Agua en $\frac{l}{m^3}$, para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicada							
Asentamiento	$\frac{3''}{8}$	$\frac{1''}{2}$	$\frac{3''}{4}$	1''	$1\frac{1''}{2}$	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	-----

Tabla 33. Volumen unitario de agua.

Fuente: Extraído de (ACI Committee 211, 2002).

En las tablas 34 y 35, se muestra la obtención del contenido del aire y la relación agua cemento. Para la relación a/c es necesario interpolar el valor de $f'_c = 175 \frac{kg}{cm^2}$ en la fila de concreto sin aire incorporado.

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%

Tabla 34. Contenido de aire atrapado.

Fuente: Extraído de (ACI Committee 211, 2002).

$f'c \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$	Concretos sin aire incorporado	Concretos 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	

Tabla 35. Relación a/c en peso.

Fuente: Extraído de (ACI Committee 211, 2002).

En la tabla 36, se muestra el módulo de fineza de la combinación de agregados, valor obtenido interpolando el contenido de cemento en sacos/metro cúbico y el TMN del agregado grueso. Con este valor, y los módulos de fineza del agregado fino y grueso obtenido en el subcapítulo 3.2, podremos hallar los porcentajes de arena y piedra a trabajar en los diseños de mezcla.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado grueso.	6	7	8	9
$\frac{3''}{8}$	3.96	4.04	4.11	4.19
$\frac{1''}{2}$	4.46	4.54	4.61	4.69
$\frac{3''}{4}$	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
$1 \frac{1''}{2}$	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

Tabla 36. Módulo de fineza de la combinación de agregados.

Fuente: Extraído de (ACI Committee 211, 2002).

Por último, obtenemos los porcentajes de 46.92 % y 53.08 % para el agregado fino y el agregado grueso, respectivamente.

3.5.2 Primera etapa de mezclas

En esta primera etapa se realizó el diseño de mezcla patrón y los diseños de mezcla con el agregado reciclado. La relación obtenida entre arena y piedra fue de 46.9% y 53.1%, respectivamente. Se realizaron diferentes tandas iniciales hasta que cumpla con el slump requerido entre 3” – 4 “. Además, se diseñó usando las tres relaciones de a/c y los tres porcentajes de agregado grueso reciclado.

3.5.2.1 Diseño Patrón

El diseño patrón teórico, el cual solo se utilizó el agregado convencional se realizó con los valores determinados en el subcapítulo 3.2. Sin embargo, al realizar el ensayo en el laboratorio, el ensayo de slump para la mezcla no cumplió con el rango establecido de 3”- 4” por lo cual se aumentó el contenido de agua a 240 L, con el cual se usó como referencia para el resto de diseños de mezcla.

En las tablas 37, 38 y 39 se muestra el diseño de mezcla para cada tipo respectivamente.

➤ **Relación A/C = 0.5**

MATERIALES	Peso Seco	Volumen	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	$\frac{kg}{m^3}$	m^3	$\frac{kg}{m^3}$	DOSIFICACIÓN	UNID.
Cemento Sol T1	480	0.1543	480	14.40	kg
Agua	240	0.2400	242	7.25	kg
Arena	717	0.2747	724	21.73	kg
Agregado grueso	841	0.3110	842	25.26	kg
Agregado reciclado	0	0	0	0.00	kg
Aire		0.02			
TOTAL	2278	1.0000	2288		

Tabla 37. Diseño de mezcla patrón con relación a/c = 0.5

Fuente: Propia.

➤ **Relación A/C = 0.6**

MATERIALES	Peso Seco	Volumen	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	$\frac{kg}{m^3}$	m^3	$\frac{kg}{m^3}$	DOSIFICACIÓN	UNID
Cemento Sol T1	400	0.1286	400	12.00	kg
Agua	240	0.2400	242	7.25	kg
Arena	748	0.2867	756	22.68	kg
Agregado grueso	878	0.3246	879	26.37	kg
Agregado reciclado	0	0.0000	0	0.00	kg
Aire		0.0200			
TOTAL	2266	1.0000	2277		

Tabla 38. Diseño de mezcla patrón con relación a/c = 0.6

Fuente: Propia.

➤ **Relación A/C = 0.7**

MATERIALES	Peso Seco	Volumen	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	$\frac{kg}{m^3}$			DOSIFICACIÓN	UNID.
Cemento Sol T1	343	0.1102	343	10.29	kg
Agua	240	0.2400	242	7.25	kg
Arena	771	0.2954	779	23.36	kg
Agregado grueso	904	0.3344	905	27.16	kg
Agregado reciclado	0	0.0000	0	0.00	kg
Aire		0.0200			
TOTAL	2258	1.0000	2269		

Tabla 39. Diseño de mezcla patrón con relación a/c = 0.7

Fuente: Propia.

3.5.2.2 Diseño AGR – 25%

Para estos diseños de mezclas se remplazó el 25% de agregado grueso reciclado por el agregado grueso convencional.

En las tablas 40, 41 y 42 se muestran los resultados de las tandas respectivamente.

➤ **Relación A/C = 0.5**

MATERIALES	Peso Seco	Volumen	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	$\frac{kg}{m^3}$	m^3	$\frac{kg}{m^3}$	DOSIFICACIÓN	UNID.
Cemento Sol T1	480	0.1543	480	14.40	kg
Agua	240	0.2400	246	7.37	kg
Arena	717	0.2747	724	21.73	kg
Agregado grueso	630	0.2332	631	18.94	kg
Agregado reciclado	196	0.0777	199	5.96	kg
Aire		0.02			
TOTAL	2263	1.00	2280		

Tabla 40. Diseño de mezcla AGR - 25% con relación a/c = 0.5

Fuente: Propia.

➤ **Relación A/C = 0.6**

MATERIALES	Peso Seco	Volumen	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	$\frac{kg}{m^3}$			DOSIFICACIÓN	UNID.
Cemento Sol T1	400	0.1286	400	12.00	kg
Agua	240	0.2400	246	7.38	kg
Arena	748	0.2867	756	22.68	kg
Agregado grueso	658	0.2435	659	19.77	kg
Agregado reciclado	205	0.0812	207	6.22	kg
Aire		0.0200			
TOTAL	2251	1	2268		

Tabla 41. Diseño de mezcla AGR - 25% con relación a/c = 0.6

Fuente: Propia.

➤ **Relación A/C = 0.7**

MATERIALES	Peso Seco	Volumen	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	$\frac{kg}{m^3}$	m^3	$\frac{kg}{m^3}$	DOSIFICACIÓN	UNID.
Cemento Sol T1	343	0.1102	343	342.86	kg
Agua	240	0.2400	246	246.74	kg
Arena	771	0.2954	779	778.74	kg
Agregado grueso	678	0.2508	679	678.96	kg
Agregado reciclado	211	0.0836	214	213.70	kg
Aire		0.0200			
TOTAL	2243	1	2261		

Tabla 42. Diseño de mezcla AGR - 25% con relación a/c = 0.7

Fuente: Propia.

3.5.2.3 Diseño AGR – 50%

Para estos diseños de mezclas se remplazó el 50% de agregado grueso reciclado por el agregado grueso convencional.

En las tablas 43, 44 y 45 se muestran los resultados de las tandas respectivamente.

➤ **Relación A/C = 0.5**

MATERIALES	Peso Seco	Volumen	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	$\frac{kg}{m^3}$			DOSIFICACIÓN	UNID.
Cemento Sol T1	480	0.1543	480	14.40	kg
Agua	240	0.2400	250	7.49	kg
Arena	717	0.2747	724	21.73	kg
Agregado grueso	420	0.1555	421	12.63	kg
Agregado reciclado	392	0.1555	397	11.92	kg
Aire		0.02			
TOTAL	2249	1.00	2272		

Tabla 43. Diseño de mezcla AGR - 50% con relación a/c = 0.5

Fuente: Propia.

➤ **Relación A/C = 0.6**

MATERIALES	Peso Seco	Volumen	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	$\frac{kg}{m^3}$	m^3	$\frac{kg}{m^3}$	DOSIFICACIÓN	UNID.
Cemento Sol T1	400	0.1286	400	12.00	kg
Agua	240	0.2400	250	7.50	kg
Arena	748	0.2867	756	22.68	kg
Agregado grueso	439	0.1623	439	13.18	kg
Agregado reciclado	409	0.1623	415	12.45	kg
Aire		0.0200			
TOTAL	2236	1	2260		

Tabla 44. Diseño de mezcla AGR - 50% con relación a/c = 0.6

Fuente: Propia.

➤ **Relación A/C = 0.7**

MATERIALES	Peso Seco	Volumen	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	$\frac{kg}{m^3}$	m^3	$\frac{kg}{m^3}$	DOSIFICACIÓN	UNID.
Cemento Sol T1	343	0.1102	343	10.29	kg
Agua	240	0.2400	250	7.51	kg
Arena	771	0.2954	779	23.36	kg
Agregado grueso	452	0.1672	453	13.58	kg
Agregado reciclado	421	0.1672	427	12.82	kg
Aire		0.0200			
TOTAL	2227	1	2252		

Tabla 45. Diseño de mezcla AGR - 50% con relación a/c = 0.7

Fuente: Propia.

3.5.2.4 Diseño AGR – 100%

Para estos diseños de mezclas se reemplazó el 100% de agregado grueso reciclado por el agregado grueso convencional.

En las tablas 46, 47 y 48 se muestran los resultados de las tandas respectivamente.

➤ **Relación A/C = 0.5**

MATERIALES	Peso Seco	Volumen	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	$\frac{kg}{m^3}$	m^3	$\frac{kg}{m^3}$	DOSIFICACIÓN	UNID.
Cemento Sol T1	480	0.1543	480	14.40	kg
Agua	240	0.2400	258	7.73	kg
Arena	717	0.2747	724	21.73	kg
Agregado grueso	0	0	0	0.00	kg
Agregado reciclado	784	0.311	795	23.85	kg
Aire		0.02			
TOTAL	2221	1.00	2257		

Tabla 46. Diseño de mezcla AGR -100% con relación a/c = 0.5

Fuente: Propia.

➤ **Relación A/C = 0.6**

MATERIALES	Peso Seco	Volumen	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	$\frac{kg}{m^3}$	m^3	$\frac{kg}{m^3}$	DOSIFICACIÓN	UNID.
Cemento Sol T1	400	0.1286	400	12.00	kg
Agua	240	0.2400	259	7.76	kg
Arena	748	0.2867	756	22.68	kg
Agregado grueso	0	0.0000	0	0.00	kg
Agregado reciclado	818	0.3246	830	24.90	kg
Aire		0.0200			
TOTAL	2206	1	2245		

Tabla 47. Diseño de mezcla AGR - 100% con relación a/c = 0.6

Fuente: Propia.

➤ **Relación A/C = 0.7**

MATERIALES	Peso Seco	Volumen	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	$\frac{kg}{m^3}$	m^3	$\frac{kg}{m^3}$	DOSIFICACIÓN	UNID.
Cemento Sol T1	343	0.1102	343	8.79	kg
Agua	240	0.2400	259	6.77	kg
Arena	771	0.2954	779	25.26	kg
Agregado grueso	0	0.0000	0	0.00	kg
Agregado reciclado	843	0.3344	855	27.72	kg
Aire		0.0200			
TOTAL	2197	1	2236		

Tabla 48. Diseño de mezcla AGR - 100% con relación a/c = 0.7

Fuente: Propia.

3.5.2.5 Análisis de resultados – Primera Tanda

Después de realizar el vaciado con los diseños de mezcla propuesto, se procede a hacer el ensayo de compresión para obtener la resistencia de las probetas a los 7 y 28 días.

Con estos resultados obtenidos se obtiene una curva de $F'c$ vs $\frac{a}{c}$ donde se determina la relación a/c óptima para la resistencia deseada de 175 $\frac{kg}{cm^2}$.

1. Concreto Convencional – 0% AGR

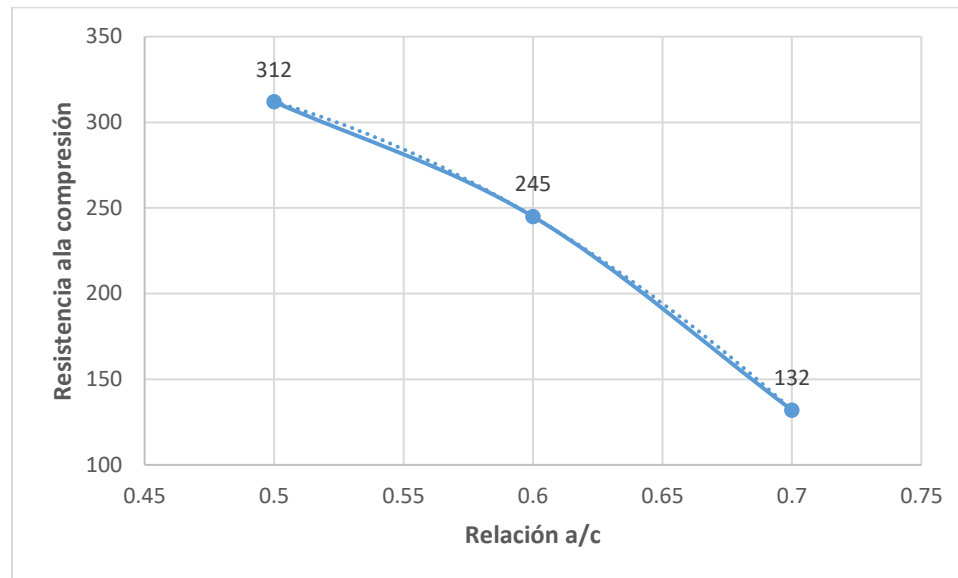


Figura 23. Relación f'_c vs relación $\frac{a}{c}$ de CC

Fuente: Propia.

En la figura 23, se muestra que en el diseño patrón, las relaciones a/c de 0.5, 0.6 y 0.7 la fuerza de compresión fue de $312 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$, $245 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ y $132 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ respectivamente. Los dos primeros resultados son muy favorables para la resistencia que nosotros estamos buscando que es de $175 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$. Sin embargo, era de esperar que para la relación de 0.7 de $\frac{a}{c}$ fue muy bajo, lo cual nos indica que a medida que se le va incrementando la cantidad de agua va disminuyendo su resistencia a la compresión.

2. Concreto Reciclado – 25 % AGR

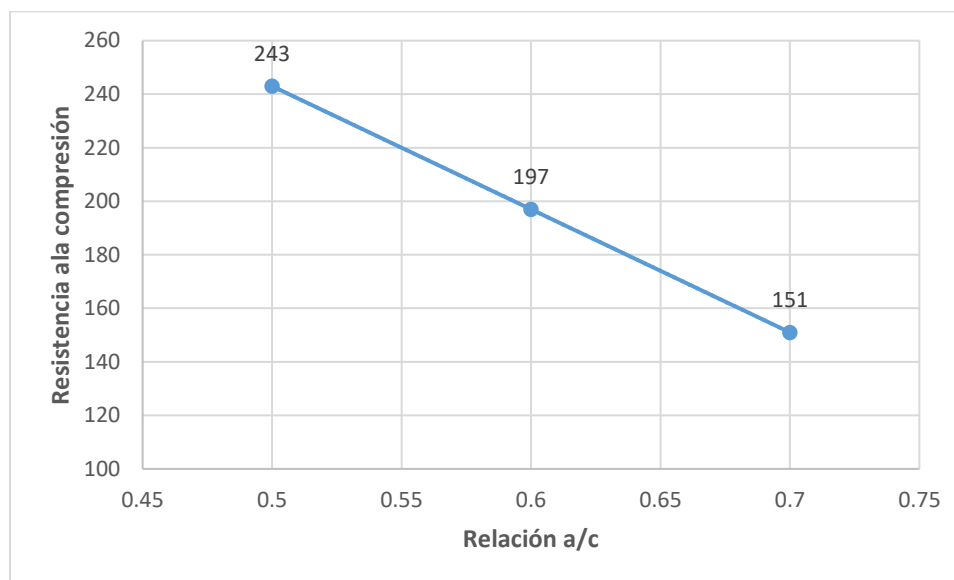


Figura 24. Relación f'_c vs relación a/c de CR - 25% AGR

Fuente: Propia.

En la figura 24, se muestra que para el diseño con 25 % de agregado reciclado, las relaciones a/c de 0.5, 0.6 y 0.7 la fuerza de compresión fue de $243 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$, $197 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ y $151 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ respectivamente. A comparación del concreto patrón, aquí se puede comprobar que a medida que vamos aumentando la cantidad de agregado reciclado va disminuyendo su resistencia a la compresión. Sin embargo, aún podemos apreciar que el primer resultado sigue siendo favorable para la resistencia que nosotros estamos buscando que es de $175 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ y el segundo resultado de $197 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ se va ajustando a la resistencia requerida. Lo cual nos indica que para un concreto con 25 % de agregado reciclado una relación de a/c de 0.6 sería lo ideal.

3. Concreto Reciclado – 50 % AGR

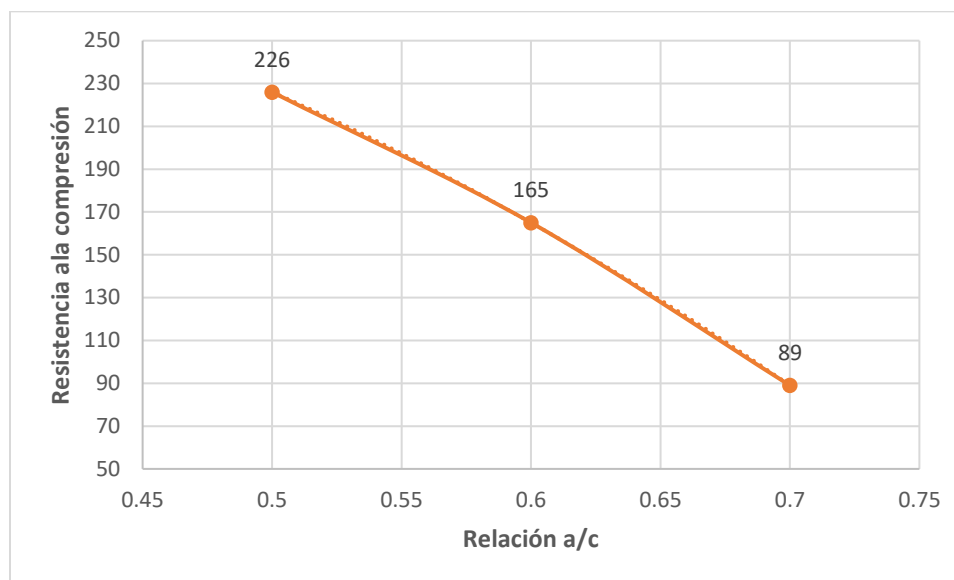


Figura 25. Relación F'c vs relación a/c de CR - 50% AGR

Fuente: Propia.

En la figura 25, se muestra que para el diseño con 50% de agregado reciclado, las relaciones a/c de 0.5, 0.6 y 0.7 la fuerza de compresión fue de $226 \frac{kg}{cm^2}$, $165 \frac{kg}{cm^2}$ y $89 \frac{kg}{cm^2}$ respectivamente. A comparación del concreto patrón y el concreto con 25 % reciclado, se puede comprobar que a medida que vamos aumentando la cantidad de agregado reciclado y agua va disminuyendo su resistencia a la compresión. Por lo cual, podemos analizar que ya para un concreto con la mitad de agregado reciclado su relación de a/c no puede ser mayor a 0.6 aproximadamente. Sin embargo, aún podemos apreciar que el primer resultado sigue siendo favorable para la resistencia que nosotros estamos buscando que es de $175 \frac{kg}{cm^2}$.

4. Concreto Reciclado – 100 % AGR

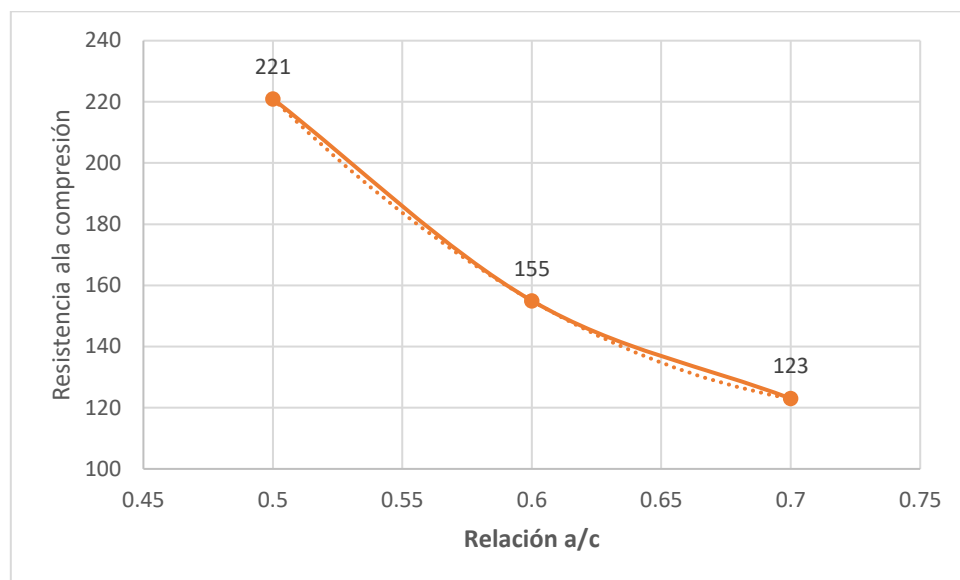


Figura 26 Relación f'_c vs relación a/c de CR - 100% AGR

Fuente: Propia.

En la figura 26, se muestra que para el diseño con 100 % de agregado reciclado, las relaciones a/c de 0.5, 0.6 y 0.7 la fuerza de compresión fue de $221 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$, $155 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ y $123 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ respectivamente. A comparación de los otros 3 concretos mencionados anteriormente, se sigue comprobando que a medida que vamos aumentando la cantidad de agregado reciclado y agua va disminuyendo su resistencia a la compresión y los resultados van siendo más críticos. Sin embargo, aún podemos remplazar la totalidad de agregado convencional por agregado reciclado en una relación de a/c cercana a 0.5, pero esto demandaría un aumento significativo de cemento.

A partir de estos resultados, se elige la óptima y exacta relación a/c según proyección hacia el eje X de cada uno de los diseños de mezcla para que así pasen o por lo menos alcancen la resistencia planificada de $175 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$.

En la tabla 49, se muestra las relaciones de a/c que se necesitan para la resistencia requerida con sus respectivos porcentajes de agregados reciclados.

CÓDIGO	RELACIÓN A/C
CC	0.67
CAR - 25%	0.63
CAR - 50%	0.58
CAR - 100%	0.56

Tabla 49. Relación a/c de cada uno de los diseños de mezcla finales.

Fuente: Propia.

3.5.3 Segunda etapa de mezclas

Después de haber obtenido la relación a/c ideal para obtener un $f'c = 175 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ tanto para el diseño patrón como para los diseños con diferentes porcentajes de agregado grueso reciclado, realizamos un reajuste a la relación a/c como factor de seguridad para cumplir con la resistencia requerida.

En la tabla 50, se muestran los valores finales para cada uno de los diseños de mezcla y con los cuales a partir de esos diseños se realizarán los ensayos en concreto fresco y endurecido:

CÓDIGO	RELACIÓN A/C
CC	0.65
CAR - 25%	0.60
CAR - 50%	0.55
CAR - 100%	0.50

Tabla 50. Relación a/c con factor de seguridad de diseños de mezclas finales.

Fuente: Propia.

3.5.3.1 Diseño patrón

✓ Diseño CC – 0.65

E la tabla 51, se muestra el diseño de mezcla para el concreto patrón. La relación a/c ideal para alcanzar la resistencia requerida es de 0.65:

MATERIALES	Peso Seco	Volumen	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	$\frac{kg}{m^3}$	m^3	$\frac{kg}{m^3}$	DOSIFICACIÓN	UNID.
Cemento Sol T1	369	0.1187	369	11.08	kg
Agua	240	0.2400	242	7.25	kg
Arena	760	0.2914	768	23.05	kg
Agregado grueso	892	0.3299	893	26.79	kg
Agregado reciclado	0	0	0	0.00	kg
Aire		0.02			
TOTAL	2261	1.0000	2272		

Tabla 51. Diseño de mezcla patrón con relación a/c = 0.65

Fuente: Propia.

3.5.3.2 Diseño AGR – 25 %

✓ **Relación a/c = 0.60**

Para el diseño de mezcla con presencia de un 25% de agregado grueso reciclado, la relación a/c determinada fue de 0.60 para alcanzar la resistencia solicitada.

En la tabla 52, se muestran los resultados.

MATERIALES	Peso Seco	Volumen	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	$\frac{kg}{m^3}$	m^3	$\frac{kg}{m^3}$	DOSIFICACIÓN	UNID.
Cemento Sol T1	400	0.1286	400	12.00	kg
Agua	240	0.2400	246	7.38	kg
Arena	748	0.2867	756	22.68	kg
Agregado grueso	658	0.2435	659	19.77	kg
Agregado reciclado	205	0.0812	207	6.22	kg
Aire		0.0200			
TOTAL	2251	1	2268		

Tabla 52. Diseño de mezcla AGR - 25% con relación a/c = 0.60

Fuente: Propia.

3.5.3.3 Diseño AGR – 50%

✓ **Relación a/c = 0.55**

Para un diseño de mezcla con presencia de 50% de agregado grueso reciclado y 50% de agregado grueso convencional, la relación a/c ideal es de 0.55.

En la tabla 53, se muestran los resultados.

MATERIALES	Peso Seco	Volumen	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	$\frac{kg}{m^3}$	m^3	$\frac{kg}{m^3}$	DOSIFICACIÓN	UNID.
Cemento Sol T1	436	0.1403	436	13.09	kg
Agua	240	0.2400	250	7.50	kg
Arena	734	0.2713	742	22.25	kg
Agregado grueso	430	0.1592	431	12.93	kg
Agregado reciclado	401	0.1592	407	12.21	kg
Aire		0.02			
TOTAL	2241	0.99	2266		

Tabla 53. Diseño de mezcla AGR - 50% con relación a/c = 0.55

Fuente: Propia.

3.5.3.4 Diseño AGR – 100%

✓ **Relación a/c = 0.50**

Por último, para un diseño de mezcla con 100% de agregado grueso reciclado, se determinó una relación a/c de 0.50 para obtener la resistencia mínima de $175 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$.

En la tabla 54, se muestran los resultados.

MATERIALES	PESO	VOL.	Corrección por humedad	TANDA DE PRUEBA	
	kg/m3	m3	kg/m3	DOSIFICACION	UNID.
Cemento Sol T1	480	0.1543	480	14.40	kg
Agua	240	0.2400	258	7.73	kg
Arena	717	0.2747	724	21.73	kg
Agregado grueso	0	0	0	0.00	kg
Agregado reciclado	784	0.311	795	23.85	kg
Aire		0.02			
TOTAL	2221	1.00	2257		

Tabla 54. Diseño de mezcla AGR - 100% con relación a/c = 0.50

Fuente: Propia.

OBJETIVO 4

3.6 Ensayos en concreto fresco

Luego de obtener la relación a/c ideal aplicándoles un factor de seguridad para cada uno de los diferentes diseños con porcentaje de agregado grueso reciclado, procedemos a realizamos los ensayos en concreto fresco y para los diseños de esta segunda etapa de mezclas.

3.6.1 Asentamiento del concreto (Slump)

El ensayo se encuentra especificado en la NTP 339.035 (2015). Los diseños de mezcla se realizaron tomando como uno de los requerimientos que tenga un slump de 3 a 4 pulgadas, por lo cual en la primera etapa de mezcla solo se realizó para uno de los diseños con porcentaje de agregados. Para la segunda etapa de mezclas, se realizó el ensayo de slump para cada uno de los diseños.

En la tabla 55, se muestran los resultados del ensayo de slump para cada uno de los siguientes diseños.

ETAPA DE MEZCLA	CÓDIGO DE DISEÑO DE MEZCLA	SLUMP (pulg.)
1 era etapa	CC-0-0.5	3.4
	CC-0-0.6	3.5
	CC-0-0.7	3.7
	CAR-25-0.5	3.4
	CAR-25-0.6	3.6
	CAR-25-0.7	3.8
	CAR-50-0.5	3.1
	CAR-50-0.6	3.3
	CAR-50-0.7	3.4
	CAR-100-0.5	3
	CAR-100-0.6	3.2
	CAR-100-0.7	3.5
2 da etapa	CC-0-0.65	3.6
	CAR-25-0.6	3.7
	CAR-50-0.55	4.1
	CAR-100-0.5	3

Tabla 55. Slump por cada diseño de mezcla.

Fuente: Propia.

El asentamiento del concreto (Slump) obtenido en cada uno de los diseños de mezcla siguiendo la norma NTP 339.035 (2015), se encuentran dentro del rango de 3 a 4 pulgadas tal como fueron previstos en el diseño inicial.

3.6.2 Peso unitario

El ensayo de Peso Unitario se encuentra especificado en la NTP 339.046 (2013). En este ensayo se determinó la densidad de los diseños recién mezclados, o cual nos proporcionó fórmulas para calcular el rendimiento y el contenido de cemento.

A partir de los datos obtenidos en el laboratorio para los pesos del molde, la cantidad de muestra por diseño y volumen del molde a utilizar, se calculan los valores para el peso unitario de cada una de las mezclas de concreto.

En la tabla 56, se muestran los resultados.

Código del diseño	Peso del molde (gr)	Peso del molde + muestra (gr)	Peso de la muestra (kg)	Volumen del molde (m3)	Peso Unitario (kg/m3)
CC-0-0.65	3477.00	20057.70	16580.70	0.007	2368.67
CAR-25-0.6	3477.00	19740.00	16263.00	0.007	2323.29
CAR-50-0.55	3477.00	19910.30	16433.30	0.007	2347.61
CAR-100-0.5	3477.00	19517.40	16040.40	0.007	2291.49

Tabla 56. Pesos unitarios de las mezclas de concreto – segunda etapa.

Fuente: Propia.

El peso unitario para el diseño patrón, diseño con 25% de agregado reciclado, diseño con 50% de agregado reciclado y diseño con 100% de agregado reciclado son de $2368.67 \frac{kg}{m^3}$, $2323.29 \frac{kg}{m^3}$, $2347.61 \frac{kg}{m^3}$ y $2291.49 \frac{kg}{m^3}$ respectivamente. Estos valores se encuentran en el peso unitario establecido en la NTP entre $2240 \frac{kg}{m^3}$ y $2460 \frac{kg}{m^3}$.

En la tabla 57 se presentan los rendimientos de las mezclas de concreto en función de los pesos unitarios reales y teóricos.

Código	P.U Teórico ($\frac{kg}{m^3}$)	P.U Real ($\frac{kg}{m^3}$)	Rendimiento
CC-0-0.65	2272.00	2368.67	0.96
CAR-25-0.6	2269.00	2323.29	0.98
CAR-50-0.55	2266.00	2347.61	0.97
CAR-100-0.5	2257.00	2291.49	0.98

Tabla 57. Peso unitario teórico, real y rendimiento de las mezclas de concreto.

Fuente: Propia.

Podemos observar, que para un vaciado de mezcla a futuro se debe corregir las tandas propuestas en el subcapítulo 3.5.3 (segunda etapa de mezcla) con los rendimientos obtenidos anteriormente para así nuestra mezcla no disminuya su volumen requerido.

3.7 Ensayos en concreto endurecido

3.7.1 Resistencia a la compresión

El ensayo de resistencia a la compresión de testigos cilíndricos se encuentra especificado en la NTP 339.034 (2015). Este ensayo de laboratorio tiene como objetivo aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados hasta que presente una falla y así poder determinar la resistencia a la compresión máxima que soporta. Este ensayo se limita a concretos con un peso unitario superior a $800 \frac{kg}{m^3}$.

3.7.1.1 Resistencia a la compresión para la primera etapa de vaciados:

En la tabla 58, se muestran los resultados de ensayos de compresión a los 7 días:

Número	Código	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg-f)	F'c ($\frac{kg}{cm^2}$)	Promedio (7 días)
1	CC-0-0.5	15.39	186.05	55978.00	300.88	249.62
2	CC-0-0.5	15.40	186.35	36966.00	198.37	
1	CC-0-0.6	15.35	185.14	33305.00	179.89	216.86
2	CC-0-0.6	15.34	184.90	46933.00	253.83	
1	CC-0-0.7	15.48	188.17	18755.00	99.67	105.39
2	CC-0-0.7	15.34	184.82	20535.00	111.11	
1	CAR-25-0.5	15.43	186.87	37690.00	201.69	208.51
2	CAR-25-0.5	15.38	185.77	40002.00	215.33	
1	CAR-25-0.6	15.36	185.21	29931.00	161.60	153.89
2	CAR-25-0.6	15.36	185.27	27083.00	146.18	
1	CAR-25-0.7	15.28	183.29	20825.00	113.62	120.94
2	CAR-25-0.7	15.36	185.41	23780.00	128.26	
1	CAR-50-0.5	15.38	185.71	34200.00	184.16	191.45
2	CAR-50-0.5	15.43	186.88	37141.00	198.74	
1	CAR-50-0.6	15.42	186.85	25069.00	134.17	142.27
2	CAR-50-0.6	15.36	185.29	27863.00	150.38	
1	CAR-50-0.7	15.40	186.16	13280.00	71.34	76.66
2	CAR-50-0.7	15.36	185.37	15197.00	81.98	
1	CAR-100-0.5	15.40	186.27	37745.00	202.64	171.26
2	CAR-100-0.5	15.40	186.27	26055.00	139.88	
1	CAR-100-0.6	15.40	186.27	25725.00	138.11	134.63
2	CAR-100-0.6	15.40	186.27	24430.00	131.16	
1	CAR-100-0.7	15.40	186.27	19871.00	106.68	100.65
2	CAR-100-0.7	15.40	186.27	17624.00	94.62	

Tabla 58. Resistencia a la compresión a los 7 días de la primera etapa de mezclas.

Fuente: Propia.

En la figura 27, se muestra que para una relación a/c de 0.5, el concreto patrón a los 7 días alcanzó una resistencia de $249.62 \frac{kg}{cm^2}$. Además, los diseños de mezcla con 25%, 50% y 100% de reemplazo de agregado grueso reciclado alcanzó un porcentaje de reducción de resistencia a la compresión de 16.47%, 23.30% y 31.39% respectivamente.

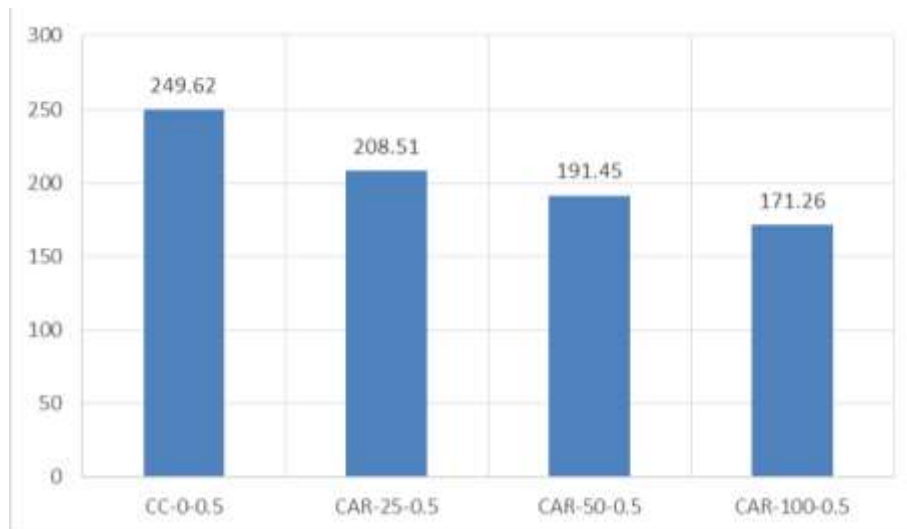


Figura 27. Resistencia a la compresión a 7 días con relación a/c = 0.5

Fuente: Propia.

En la figura 28, se muestra que los diseños de mezcla con relación a/c de 0.6 el concreto patrón a los 7 días alcanzó una resistencia de $216.86 \frac{kg}{cm^2}$ y para los diseños de mezcla con 25%, 50% y 100% de reemplazo de agregado grueso reciclado alcanzó un porcentaje de reducción de resistencia a la compresión de 29.04%, 34.39% y 37.92% respectivamente.

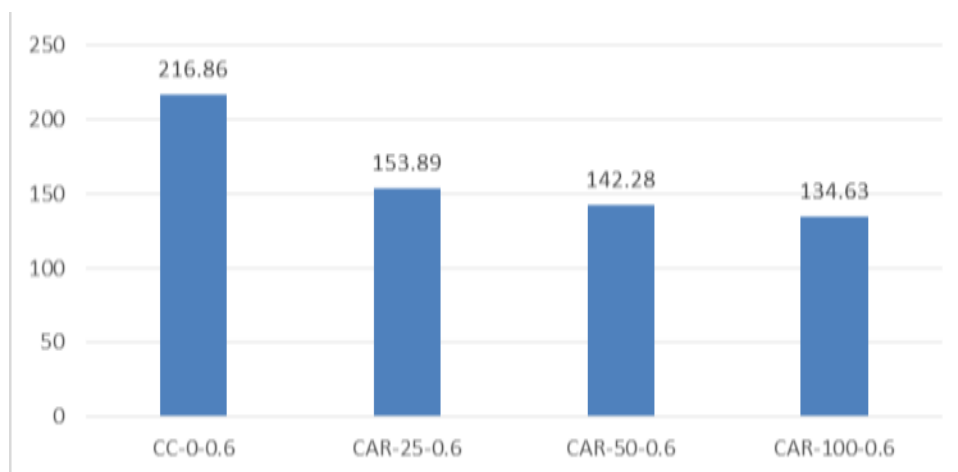


Figura 28. Resistencia a la compresión a 7 días con relación a/c = 0.6

Fuente: Propia.

En la figura 29, por último, se muestra que para el diseño de mezcla patrón con relación a/c de 0.7 a los 7 días alcanzó una resistencia de $132.04 \frac{kg}{cm^2}$ y para los diseños de mezcla con reemplazo de agregado grueso reciclado se obtiene que para el de 25% aumentó en 14.20%, el de 50% de reemplazo disminuyó 27.61 % y para el 100% de reemplazo aumento en 4.96%. La gran variación de estos resultados se debe a la alta relación a/c que se utiliza para estos diseños de mezcla lo cual ya va siendo mas inexacta.

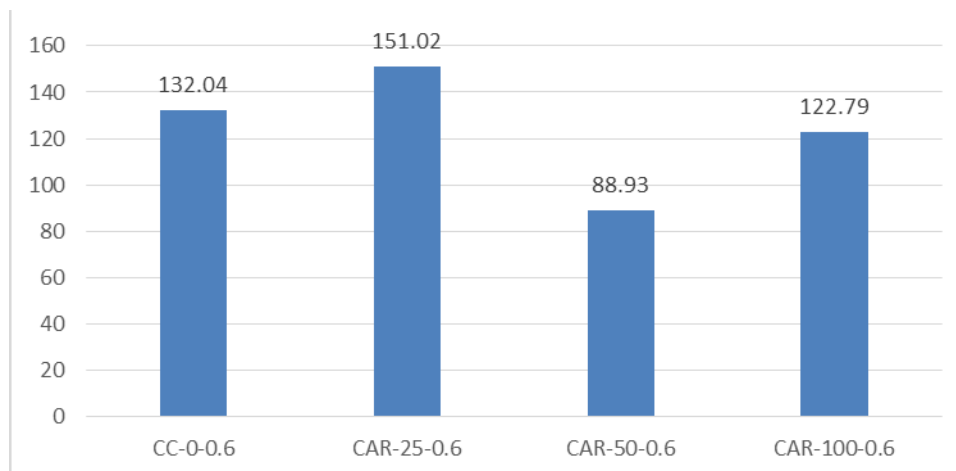


Figura 29. Resistencia a la compresión a 7 días - relación a/c =0.7

Fuente: Propia.

3.7.1.2 Resistencia a la compresión para la segunda etapa de vaciados:

Para esta segunda etapa, se realizaron los ensayos de compresión para los diseños óptimos para el diseño patrón y para los diseños con 25%, 50% y 100% de reemplazo por agregado grueso reciclado.

En la tabla 59, se muestra los resultados:

Diseño	Diámetro (cm)	Área (cm²)	Carga (kg-f)	F'c ($\frac{kg}{cm^2}$)
CC-0-0.65	15.27	183.13	36704	200.42
CAR-25-0.6	15.35	185.06	32680	196.02
CAR-50-0.55	15.30	183.85	36758	199.93
CAR-100-0.5	15.30	183.85	36022	195.93

Tabla 59. Resistencia a la compresión a los 28 días de la segunda etapa de mezclas.

Fuente: Propia.

Como se observa en los resultados, las resistencias obtenidas son similares puesto que fueron elegidas para cumplir con la resistencia de $175 \frac{kg}{cm^2}$ que se pide para la construcción de veredas incluyendo el factor de seguridad para cada uno de ellos.

3.7.2 Resistencia a la tracción indirecta

El ensayo de tracción indirecta de cilindros estándares de concreto se encuentra especificado en la NTP 339.084 (2012), método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción simple del hormigón por compresión diametral de una probeta cilíndrica.

Tal como se muestra en la ecuación 11, el esfuerzo de tracción indirecta del cilindro es:

$$T = \frac{2.P}{\pi.L.d} \dots (11)$$

Donde:

T = Esfuerzo de tracción indirecta ($\frac{kg}{cm^2}$)

P = Carga máxima indicada por la máquina de ensayo (N)

L = Longitud del cilindro (cm)

d = Diámetro del cilindro (cm)

En la tabla 60, se muestra los resultados a tracción a los 28 días.

Diseño	Diámetro (cm)	Largo (cm)	P (kg-f)	Tracción
CC-0-0.65	15.31	30.10	22728.68	31.40
CAR-25-0.6	15.35	30.50	21285.00	28.94
CAR-50-0.55	15.38	30.60	19260.00	26.05
CAR-100-0.5	15.32	30.80	17485.00	23.59

Tabla 60. Resistencia a la tracción a los 28 días

Fuente: Propia.

Para el diseño patrón, 25%, 50% y 100% de agregado reciclado los resultados fueron de 3.08, 2.84, 2.55, 2.31 MPa respectivamente. Los resultados obtenidos están acorde a la resistencia propia del concreto que es de $F'c = 175 \frac{kg}{cm^2}$.

En la figura 30, se muestran que de los resultados se puede deducir que a medida que se va aumentando el agregado reciclado disminuye en promedio 2.6 kg/cm² en comparación al diseño previo.

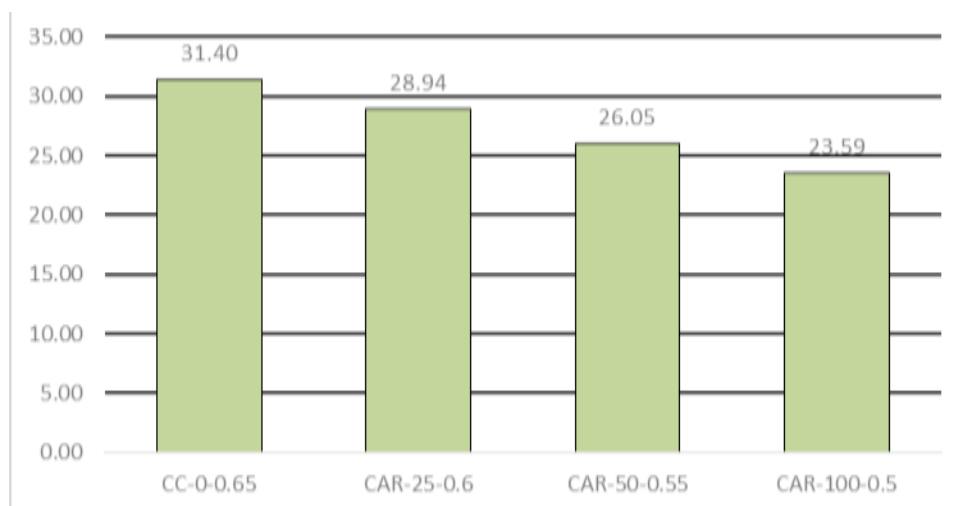


Figura 30. Resistencia a la tracción a los 28 días.

Fuente: Propia.

Para los concretos con agregados reciclados, los valores de la resistencia a la tracción indirecta están por debajo de la muestra patrón. Sin embargo, debido a que todos los concretos son de similares F'_c , de la figura 30 también se puede concluir que, la tracción es el 13.88 % en promedio con respecto a la resistencia a la compresión. Se puede dar la siguiente formula como un aporte a nuestra investigación.

Tal como se muestra en la ecuación 12, la tracción es:

$$T = 0.14 * F'c \dots (12)$$

Donde:

T = Esfuerzo de tracción indirecta de concretos con agregado reciclado ($\frac{kg}{cm^2}$)

$F'c$ = Resistencia a la compresión ($\frac{kg}{cm^2}$)

3.7.3 Resistencia a la flexión

El ensayo de la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo se encuentra especificada en la NTP 339.078 (2012), método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.

Tal como se muestra la ecuación 13, la resistencia a la flexión del concreto en vigas es:

$$R = \frac{P.L}{b.d^2} \dots (13)$$

Donde:

R = módulo de rotura (MPa)

P = máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo (N)

L = Longitud libre entre apoyos (mm)

b = ancho promedio de la muestra (mm)

d = altura promedio de la muestra (mm)

En la tabla 61, se muestran los resultados a flexión a 28 días.

Diseño	Dimensiones			Carga máxima	Carga Máxima	Módulo de Rotura
	b1	d	L	Kg-f	N	R
CC-0-0.65	153	148	450	3800	37265.33	5.00
CAR-25-0.60	153.4	151	450	3780	37069.14	4.77
CAR-50-0.55	154	151.3	450	3110	30498.68	3.89
CAR-100-0.5	154	153	450	2780	27262.49	3.40

Tabla 61. Resistencia a la flexión a los 28 días.

Fuente: Propia.

Para el diseño patrón, 25%, 50% y 100% de agregado reciclado los módulos de rotura son de 5.00, 4.77, 3.89, 3.40 MPa. Cabe acotar que todas las fracturas están dentro del tercio medio de la luz libre. El concreto con 25 % de agregado reciclado alcanza un 95% de resistencia con respecto al concreto patrón. Lo cual nos indica que esta propiedad es muy similar si solo se reemplaza un 25 % de agregado reciclado. Por otro lado, el concreto CAR-50-0.55 con 50% de agregado reciclado alcanza un 78 % con respecto a la resistencia patrón. Sin embargo, para este tipo de concretos la resistencia obtenida estaría dentro de los rangos aceptables. Por último, ya para un concreto con 100% agregado reciclado su resistencia baja un 32 % con respecto al concreto patrón.

En la figura 31, se muestra que se puede concluir que por más que los concretos tengan la misma resistencia a la compresión, su resistencia a la flexión va disminuyendo en los porcentajes antes mencionados.

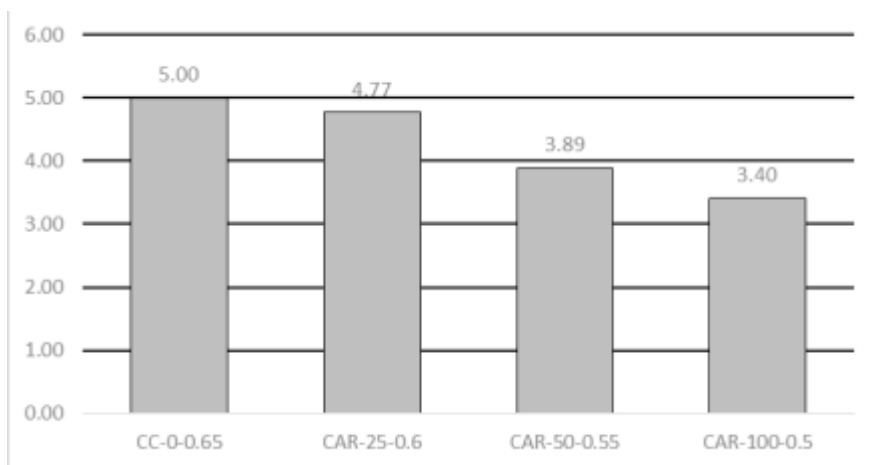


Figura 31. Resistencia a la flexión a los 28 días.

Fuente: Propia.

La resistencia a la flexión es el 21.96 % en promedio con respecto a la resistencia a la compresión.

Se puede dar la siguiente formula como un aporte a nuestra investigación.

Tal como se muestra en la ecuación 14, el módulo de rotura para concretos con agregados reciclados (R) es.

$$R = 0.22 * F'c \dots (14)$$

Donde:

R = Modulo de rotura para concretos con agregados reciclados ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$)

F'c= Resistencia a la compresión ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$)

OBJETIVO 5

3.8 Aplicación del diseño obtenido en veredas

3.8.1 Características de la vereda

A continuación, se describen las características utilizadas para el molde de vereda que se ha realizado para su elaboración. En primer lugar, las dimensiones que se utilizaron fueron de 1.00 metro de ancho por 1.00 metro de largo por 0.15 metros de profundidad. La resistencia a la compresión fue de $175 \frac{kg}{cm^2}$ y un terreno compactado a un 95% por una capa de 15 cm como mínimo. Estas características se eligieron en base a las veredas típicas que se encuentran en Lima Metropolitana y en base al criterio que nos da la norma CE.010 (2010) en el capítulo 4.4 de Pavimentos Especiales.

En la tabla 62, se muestra los requisitos mínimos para pavimentos especiales.

Pavimento Elemento \ Tipos de		Aceras o veredas	Pasajes Peatonales	Ciclovías
Sub-rasante		95 % de compactación: Suelos granulares - Proctor modificado Suelos Cohesivos - Proctor estándar		
		Espesor compactado: ≥ 150 mm		
Base		CBR ≥ 30 %		CBR ≥ 60 %
Espesor de la capa de rodadura	Asfáltico	≥ 30 mm		
	Concreto de cemento portland	≥ 100 mm		
	Adoquines	≥ 40 mm (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40mm)		
Material	Asfáltico	Concreto Asfáltico*		
	Concreto de cemento portland	$f_c \geq 17,5$ Mpa (175 kg/cm ²)		
	Adoquines	$f_c \geq 32$ Mpa (320 kg/cm ²)		N.R **

* El concreto asfáltico debe ser hecho preferentemente con mezcla en caliente. Donde el proyecto considere mezclas en frío, estas deben ser hechas con asfalto emulsificado.

** N.R: No recomendable.

Tabla 62. Requisitos mínimos para pavimentos especiales.

Fuente: Extraído de (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), 2010)

Se comprueba que nuestras dimensiones están acorde a las condiciones mínimas que exige la norma tanto en base, espesor, material, y uso o tipo de pavimento.

En segundo lugar, la mezcla a utilizar fue CAR-50-0.55 que se eligió en base al análisis de resultados que se obtuvo del capítulo anterior de la presente tesis. Elegimos dicho tipo de mezcla porque si se hace un balance entre cantidad a utilizar de agregado reciclado y propiedades físicas y mecánicas que te da dicho concreto, sería el más óptimo para utilizar.

Posteriormente en el análisis de precios unitarios también se dará una comparación y un criterio para elegir el tipo de mezcla antes mencionada.

En tercer lugar, se describirá el procedimiento constructivo que se ha utilizado. Por último, complementario a nuestra investigación, se realizará el ensayo de extracción con diamantina y las probetas sean rotas a 28 días. Dichos resultados confirmarían nuestra hipótesis.

3.9 Análisis de precios unitarios

Como punto de partida y con valores proporcionados por UNICON, empresa líder de premezclado de concreto de nuestro mercado, llegamos a establecer un precio de S/. 206.00 (no incluye IGV) soles por m³ de concreto convencional con una resistencia a la compresión de $175 \frac{kg}{cm^2}$. Además, se solicitó una cotización a la empresa CAJAS ECOLÓGICAS por el agregado grueso reciclado dándonos un porcentaje mayor en un 14.29 % en comparación con un agregado grueso convencional.

A continuación, realizamos los análisis de precios unitarios para cada uno de los porcentajes de reemplazo de agregado grueso reciclado con precios obtenidos en la revista COSTOS.

En las tablas 63, 64, 65, y 66 se muestra para la mezcla patrón, para la mezcla con 25% de reemplazo, para la mezcla con 50 % de reemplazo y para la mezcla con 100% de reemplazo respectivamente.

MATERIAL	CANTIDAD	UND	PRECIO	SUBTOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
Cemento	369	Kg	0.3647	134.57	198.50
Agua	242	Lt	0.0018	0.44	
Arena	768	Kg	0.0350	26.88	
Agregado Grueso	893	kg	0.0410	36.61	
Agregado Reciclado	0	kg	0.0478	0.00	

Tabla 63. Precios unitarios para mezcla patrón.

Fuente: Propia.

MATERIAL	CANTIDAD	UND	PRECIO	SUBTOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
Cemento	400	Kg	0.3647	145.88	209.70
Agua	246	Lt	0.0018	0.44	
Arena	756	Kg	0.0350	26.46	
Agregado Grueso	659	kg	0.0410	27.02	
Agregado Reciclado	207	kg	0.0478	9.89	

Tabla 64. Precios unitarios para mezcla con 25% de AGR.

Fuente: Propia.

MATERIAL	CANTIDAD	UND	PRECIO	SUBTOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
Cemento	436	Kg	0.3647	159.01	222.55
Agua	250	Lt	0.0018	0.45	
Arena	742	Kg	0.0350	25.97	
Agregado Grueso	431	kg	0.0410	17.67	
Agregado Reciclado	407	kg	0.0478	19.45	

Tabla 65. Precios unitarios para mezcla con 50% de AGR.

Fuente: Propia.

MATERIAL	CANTIDAD	UND	PRECIO	SUBTOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
Cemento	480	Kg	0.3647	175.06	238.86
Agua	258	Lt	0.0018	0.46	
Arena	724	Kg	0.0350	25.34	
Agregado Grueso	0	kg	0.0410	0	
Agregado Reciclado	795	kg	0.0478	38.00	

Tabla 66. Precios unitarios para mezcla con 100% de AGR.

Fuente: Propia.

En base a los resultados obtenidos de los análisis de precios unitarios de cada uno los porcentajes de reemplazo con el precio del diseño de mezcla patrón (CC-0-0.65).

En la tabla 67, se muestra los porcentajes de variación en el precio entre cada uno.

Porcentaje	25%	50%	100%
Diferencia x m3 (S/.)	11.2	24.05	40.36
%	5.64	12.11	20.33

Tabla 67. Tabla comparativa de precios unitarios para diseños de mezcla.

Fuente: Propia.

En la tabla 68, se muestra, además, la comparación con el precio por m3 dado por UNICON.

Porcentaje	25%	50%	100%
Diferencia x m3 (S/.)	3.7	16.55	32.86
%	1.80	8.03	15.95

Tabla 68. Tabla comparativa de precios unitarios para diseños de mezcla con UNICON.

Fuente: Propia.

Podemos apreciar que remplazando 50% de reciclado con el convencional el precio por m3 aumenta en aproximadamente 8%, lo cual haciendo un balance entre lo económico y lo ambiental es atractivo para su uso. Por la parte técnica, estos concretos están diseñados con las mismas o similares propiedades mecánicas que un concreto convencional. Es por ello que hemos elegido la mezcla CAR – 50 – 0.55 como la mezcla más óptima entre las tres.

3.10 Procedimiento constructivo

A continuación, se detalla el procedimiento constructivo del molde de la vereda que se ha realizado. En primer lugar, se debe compactar el terreno, que debe estar nivelado y compactado.

En la figura 32, se muestra el procedimiento.



Figura 32. Terreno compactado a un 95% por una capa de 15 cm como mínimo

Fuente: Propia.

Luego de realizar la compactación del terreno, se prepara el encofrado donde se vaciará la mezcla de concreto reciclado CAR-50-0.55. Las dimensiones del encofrado son de 1 metro x 1 metro y 20 cm de altura con la intención de satisfacer los 15 cm de altura de la mezcla más los 2 cm de capa de agua para el curado diario.

En la figura 33, se muestra el encofrado antes mencionado.



Figura 33. Encofrado de molde de vereda

Fuente: Propia.

Se procede con el pesaje de los materiales involucrados y el vaciado de la mezcla, donde se combinan en un trompo mezclador (agua, cemento, agregado fino, agregado grueso convencional y reciclado).

En las figuras 34 y 35, se muestran los procedimientos.



Figura 34. Recolección de los materiales antes del vaciado en la mezcladora

Fuente: Propia.



Figura 35. Colocación de materiales en la mezcladora

Fuente: Propia.

Por último, se procede con el vaciado de concreto en el encofrado. Se fue vaciando poco a poco en capas y a medida que se iba relleno se iba emparejando la mezcla con una paleta, Paralelamente en el vaciado se procede con el vibrado de la mezcla (varilla de acero punta de bala) con el objetivo de tener una mezcla mejor trabajable. Sin embargo, se tuvo cuidado de no vibrar en exceso debido a que los materiales se pueden separar.

En las figuras 36 y 37, se muestran los procedimientos.



Figura 36. Vaciado de concreto en el molde de vereda

Fuente: Propia.



Figura 37. Nivelación y emparejamiento del vaciado

Fuente: Propia.

Finalmente, se dio un acabo a la superficie del vaciado del molde de tal manera que sea lo más plano posible.

En la figura 38, se muestra el procedimiento antes mencionado.



Figura 38. Molde terminado de concreto con agregado reciclado

Fuente: Propia.

3.11 Ensayo en concreto endurecido del molde en vereda

En el presente capítulo se mostrarán los resultados obtenidos del ensayo en concreto endurecido que se hicieron al molde de vereda a 28 días de curado.

3.11.1 Ensayo de extracción de diamantina

Este ensayo tiene el objetivo de determinar el espesor de un pavimento de concreto, losa o elemento estructural, por mediciones de longitud de una extracción diamantina en una estructura de concreto. La referencia normativa para este ensayo es la NTP 339.211 (2015). (Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2015).

Resultados:

En la tabla 69, se muestran los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión ($\frac{kg}{cm^2}$) a 28 días de probetas extraídas con diamantina:

Además, se puede corroborar los resultados en el ANEXO 3 ya que dichos testigos se ensayaron en un laboratorio externo al de la UPC.

PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3
213.00	206.00	200.00
TIPO DE FALLA		
3	3	3

Tabla 69. Resultados de resistencia a la compresión (kg/cm²) a 28 días de probetas extraídas con diamantina.

Fuente: Propia.

Comentarios:

Los resultados de compresión para las probetas 1, 2 y 3 ensayadas fueron de 213, 206 y 200 kg/cm² respectivamente. El promedio de las 3 fue de 206.33 kg/cm². Tal como era de esperarse, la resistencia obtenida fue la diseñada desde un inicio gracias a los capítulos anteriores, se logró la viabilidad técnica del uso del agregado grueso reciclado obtenido de la reutilización de un concreto eliminado en obra para la elaboración de una nueva mezcla que cumpla con la norma técnica peruana y con estándares mínimos de calidad. Nuestra hipótesis se confirma.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES

En el siguiente capítulo llegamos a las conclusiones correspondientes para la presente tesis y en relación a los objetivos pactados al inicio de la presente investigación:

Objetivo 1: Proponer un plan de gestión óptimo para la recolección del concreto desechado en obra.

- Se propuso mediante un flujo grama genérico que el plan de gestión óptimo para la recolección del concreto desechado en obra consiste en uno en el cual se inicie con una persona o profesional a cargo que acondicione una zona en obra para el acopio de los RCD que luego serán trasladados a una planta (escombrera) y ahí se tomaran mejores medidas medioambientales bajo fiscalización municipal que disminuyan la generación de impactos ambientales durante el traslado de los RCD y las actividades propias de la planta.
- Nos dimos cuenta que para que funcione un plan de gestión óptimo para la recolección de RCD necesita ser implementado en cada una de las obras en nuestra capital mediante alguna normativa u ordenanza que este de la mano de una fiscalización municipal debido a que en la actualidad las empresas constructoras de nuestro país no están concientizadas al cien por ciento sobre el impacto ambiental que generan sus actividades.
- Es importante conocer que planes de sistema de gestión se utilizan alrededor del mundo y sobre todo en países con realidades socioambientales similares al nuestro con el objetivo de replicar dichas herramientas y mejorar al máximo nuestra propuesta brindada por la presente tesis.

Objetivo 2: Evaluar las propiedades mecánicas del agregado grueso reciclado comparando con un agregado grueso convencional.

- Con respecto a la curva granulométrica, el agregado grueso reciclado se encuentra dentro de los límites inferiores y superiores para un TMN de 1” por lo cual cumple con las propiedades granulométricas adecuadas para un diseño de mezcla teniendo en cuenta que se usara en combinación con un agregado convencional. Además, el valor del módulo de fineza para el agregado grueso reciclado determinado fue de 7.15.
- Como resultado de la evaluación de las propiedades mecánicas entre un agregado grueso reciclado y un agregado grueso convencional se obtuvo que en relación a la densidad el agregado grueso presentar menores valores debido a la presencia de mortero adherido lo que hace que el volumen ocupado sea menos denso. Por otro lado, la absorción que presenta el AGR es mucho mayor al del agregado grueso convencional debido a la presencia del mortero que retiene mayor cantidad de agua.
- En los resultados para el contenido de humedad, el AGR presenta valores altos en comparación del AGC, esto se debe a la presencia del mortero adherido y el proceso de trituración al cual ha sido sometido para ser usado como un nuevo agregado.

Objetivo 3: Elaborar mezclas de concreto con diferentes porcentajes (0%, 25%, 50% y 100%) de agregado grueso reciclado para luego evaluar su comportamiento físico del concreto.

- Se diseñó y elaboró cuatro diseños de mezclas utilizando el método de combinación de agregados y utilizando diferentes porcentajes de reemplazo de AGR por AGC. Se realizó un diseño de mezcla patrón, es decir un concreto con agregados 100% naturales y tres diseños con reemplazo de AGR por AGC en porcentajes de 25%, 50%

y 100%. A partir de estos diseños y luego de realizar los ensayos en concreto fresco y endurecido, se determinó que el diseño óptimo fue de 50% de reemplazo de AGR.

- Se determinó que, para la metodología de trabajo empleada para la presente investigación, el cual consistió en determinar la relación a/c óptima para cada uno de los porcentajes de reemplazo de AGR por AGN fue de gran importancia para obtener la resistencia requerida puesto que se obtienen valores más confiables para la resistencia a la compresión. La relación a/c que incluye un factor de seguridad para los diseños de CC, CAR-25%, CAR-50% y CAR-100% se fijaron en 0.65, 0.60, 0.55 y 0.50, respectivamente.
- A medida que se fue diseñando y aumentando los porcentajes de reemplazo de AGR, se determinó que la relación a/c se tuvo que reducir con el objetivo de que la resistencia a la compresión no disminuya, que finalmente representa una mayor cantidad de cemento en el diseño de mezcla. Esto se debe al que aumentar la cantidad de porcentaje de AGR, aumenta la cantidad de mortero adherido a la mezcla.

Objetivo 4: Evaluar las propiedades del concreto fresco y endurecido.

- Como resultado de la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto con agregado grueso reciclado en diferentes porcentajes de reemplazo (0%, 25%, 50% y 100%) se obtuvo mediante ensayos de laboratorio que para la resistencia a la compresión a medida que se aumentaba el porcentaje de reemplazo disminuía considerablemente a partir de 50% y que al reemplazar más porcentaje la cantidad de cemento utilizado para llegar a dicha resistencia es demasiado lo cual lo hace excesivamente alto en términos de costos.
- Para los valores de slump de los diseños para la segunda etapa de mezclas, se obtuvieron valores entre 3 a 4 pulgadas. Estos valores se encuentran dentro del rango establecido inicialmente para realizar los diseños de mezcla. Por otro lado, los valores para el peso unitario se obtuvieron valores de 0.96, 0.98, 0.97 y 0.98 para el concreto patrón, CAR-25%, CAR-50% y CAR-100%, respectivamente.

- Con los valores obtenidos de los ensayos de tracción y flexión, se determinó que el esfuerzo a la tracción indirecta representa aproximadamente el 13.88 % de la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión representa aproximadamente el 21.96 % con respecto a la resistencia a la compresión.

Objetivo 5: Aplicar el diseño de mezcla elegido para la construcción de la vereda.

- Con la mezcla óptima obtenida del análisis en general se construyó un molde de vereda con las siguientes características: 1.00 metro de ancho por 1.00 metro de largo por 0.15 metros de profundidad, la resistencia a la compresión de 175 kg/cm² y un terreno compactado a un 95% por una capa de 15 cm. La cual mediante el ensayo de extracción de diamantina y la ruptura de dichas probetas cumplió con lo estipulado inicialmente en su diseño.
- Por otro lado, en términos de costos, la vereda construida con un diseño de mezcla de 50% de reemplazo de AGR cuestan 8% más en comparación con un diseño convencional. Estos resultados son alentadores para que en un futuro se pueda recolectar, transformar y utilizar los desechos de concreto en obra de manera industrial en nuevos diseños de mezcla y aplicarlos en veredas, como es el caso.
- El diseño utilizado CAR-50-0.55 fue el óptimo para la construcción de la vereda por cumplir y obtener valores favorables al realizar los ensayos para las propiedades físicas y mecánicas del concreto. Además, este diseño elegido con el 50% de AGR representa un punto medio entre el aspecto económico y medioambiental.

CAPÍTULO 5: RECOMENDACIONES

Después las conclusiones ya mencionadas, recomendamos lo siguiente para futuras investigaciones:

Objetivo 1: Proponer un plan de gestión óptimo para la recolección del concreto desechado en obra.

- Para una propuesta más elaborada de un plan de gestión óptimo para la recolección de concreto desechado en obra se recomienda continuar con un trabajo de investigación más especializado que se pueda aplicar en un área específica de nuestra capital y evaluar su producción para la venta al mercado.
- Por otro lado, para la recolección y separación de los RCD es importante tener en cuenta la limpieza del concreto a triturar ya que las impurezas presentes en estos afectan directamente a las propiedades del nuevo concreto a realizar.
- Se recomienda que, para la zona de acopio en obra, se debe organizar una cuadrilla de personas responsables que se encarguen de la correcta separación y diferenciación de residuos RCD con otros tipos de residuos que se puedan generar productos de los trabajos en la obra.

Objetivo 2: Evaluar las propiedades mecánicas del agregado grueso reciclado comparando con un agregado grueso convencional.

- Para el almacenamiento de los agregados, se recomienda mantener estos en un lugar seco donde no se encuentra en contacto con el agua, puesto que, por ejemplo, al estar en contacto con la lluvia o humedad de la zona, los agregados se saturan y ocasionan resultados inexactos en los ensayos de absorción y contenido de humedad, y como consecuencia, varía la cantidad de agua en la mezcla y finalmente, disminuye la resistencia a la compresión.

- La trituración del concreto de demolición para convertirlo en un agregado grueso reciclado debe realizarse de manera adecuada teniendo cuidado en el TMN que se desea obtener puesto que su textura, superficie y tamaño influye en los resultados para los ensayos de agregados.
- Se recomienda que, para futuras investigaciones, hacer uso de diferentes TMN para los AGR y el agregado grueso convencional. Además, podrían hacerse uso de otras variables como el tipo de cemento a utilizar, cantidades de relación a/c, uso de agua tratada para diseño de mezcla, uso de agregado fino reciclado, etc.

Objetivo 3: Elaborar mezclas de concreto con diferentes porcentajes (0 %,25%, 50% y 100%) de agregado grueso reciclado para luego evaluar su comportamiento físico del concreto.

- Recomendamos que para el diseño de mezcla utilizar y con los valores óptimos para la resistencia a la compresión obtenidos en la presente investigación, utilizar otras relaciones a/c y porcentajes de reemplazo ente 30% a 60 % del agregado grueso convencional por agregado reciclado. Incluso, podrían realizarse futuras investigaciones con diseños de mezcla que incluyan aditivos.
- El uso del método de combinación de agregados para el diseño de mezcla fue muy importante puesto que se realiza un diseño en función de los tipos agregados participantes en la mezcla, sobre todo en un diseño donde se utilizan 3 tipos de agregados: AGR, AGC y AN.
- Se recomienda que, al realizar las mezclas, aplicar los pesos exactos de los materiales y el correcto uso de equipos y herramientas puesto que de esto depende la exactitud y fiabilidad de los resultados. Es muy importante, la limpieza y humedecimiento del trompo antes de realizar cada uno de los diseños.

Objetivo 4: Evaluar las propiedades del concreto fresco y endurecido.

- Para la trabajabilidad del concreto con agregado reciclado, se recomienda que entre el mezclado y vaciado del concreto en obra no sea mayor a 30 minutos debido que el tiempo de fraguado es mayor a un concreto convencional.
- Con respecto a los valores obtenidos para la resistencia a la compresión, se recomienda para futuras investigaciones realizar mezclas de concreto reciclado con mayores resistencias e incluso su aplicación en elementos estructurales
- Es importante que al realizar los procedimientos de los ensayos de concreto fresco y endurecido seguir con cuidado los pasos establecidos para no obtener variabilidad en los resultados obtenidos.

Objetivo 5: Aplicar el diseño de mezcla elegido para la construcción de la vereda.

- Se recomienda realizar otros ensayos para la vereda construida, como por ejemplo, ensayos de durabilidad.
- Para resultados de análisis de precios unitarios, recomendamos utilizar costos de otras empresas recolectoras y trituradoras de concreto reciclado. De igual manera, aplica para valores en el mercado para cada uno de los componentes que intervienen en un diseño de mezcla.
- Realizar de manera adecuada y constante el curado de la vereda, puesto que la mala práctica de este procedimiento afectaría en la curva de resistencia del concreto de la vereda.

CAPITULO 6: BIBLIOGRAFÍA

En el siguiente capítulo presentamos la bibliografía correspondiente para la presente tesis:

- ACI Committee 211. (2002). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal,. (*ACI 211.1-91*) (*Reapproved 2002*), 1-38.
- Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO). (2017). *Informe económico de la construcción*. Lima: Comité.
- Castaño, J. O. (2013). Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes. *Tecnura*, 121-129.
- Cement, Concrete & Aggregates. (2008). *Use of recycled aggregates in construction*. Sídney: CCAA OFFICES.
- Ciclo. (2017). *Ciclo - Productos Áridos Reciclados*. Obtenido de Ciclo - Productos Áridos Reciclados: <https://ciclo.com.pe/>
- Concretos Reciclados. (2004). *Concretos Reciclados*. Recuperado el 30 de Mayo de 2019, de Concretos Reciclados: <http://www.concretosreciclados.com.mx/>
- Congreso de la República. (20 de Julio de 2000). Ley General de Residuos Sólidos . N° 27314. Lima, Lima, Perú.
- Deng, X., Lu, Z., Li, P., & Xu, T. (2016). Mechanical Properties of Recycled Coarse Aggregate Concrete. *De Gruyter Open*, 20-34.
- Diario El Comercio. (26 de Agosto de 2017). En Lima se generan 19 mil toneladas de desmonte al día y el 70% va al mar o ríos. Lima, Lima, Perú. Recuperado el 15 de Mayo de 2019, de <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/lima-generan-19-mil-toneladas-desmonte-dia-70-mar-rios-noticia-453274-noticia/>
- ENDERS Produktion GmbH. (2015). *ENDERS*. Obtenido de ENDERS: https://www.crushers.de/enders/index.php?option=com_content&view=article&id=646&Itemid=1328&lang=es
- EUROSTAT. (2010). *Estadísticas sobre residuos*. Luxemburgo: Comisión Europea.
- FAM Magdeburg conveyors and Construction GmbH. (1996). *FAM GmbH*. Obtenido de FAM GmbH: <https://www.fam.de/produkte/aufbereitungstechnik/brecher/index.html>
- Grubl, P., & Ruhl, M. (Noviembre de 1998). German Committe for Reinforced Concrete . *Code (DAFSTB) - Concrete with Recycled Aggregates*. Londres, Reino Unido: Thomas Telford Limited.
- Hansen, T. (1986). Recycled aggregate and recycled aggregate concrete. *Materials and Structures*, 201-246.

- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2012). NTP 339.078. *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2012). NTP 339.084. *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2013). NTP 339.046. *Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2013). NTP 339.185. *Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2013). NTP 400.012. *Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2013). NTP 400.012. *Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2013). NTP 400.021. *Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2014). NTP 400.020. *Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaño grande por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2015). NTP 339.034. *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2015). NTP 339.035. *Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2015). NTP 339.211. *Método de ensayo normalizado para la determinación del espesor de elementos de concreto mediante la extracción de núcleos*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2016). NTP 334.009. *Cemento Portland*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2016). NTP 400.017. *Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados*. Lima, Lima, Perú: INACAL.

- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2017). NTP 400.050. *Manejo de residuos de la actividad de la construcción y demolición. Generalidades*. Lima, Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2018). NTP 400.037. *Agregados para concreto*. Lima, Lima, Lima: INACAL.
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2010). *Espacios potenciales para escombreras en período de emergencia en el área metropolitana de Lima y Callao*. Lima: Sistema de Información sobre Recursos para Atención de Desastres. Recuperado el 25 de Junio de 2019, de <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1751/doc1751-2d.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2015). *Anuario de estadísticas ambientales*. Lima: Sistema Nacional de Información Ambiental - SINIA.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2016). *Registro Nacional de Municipalidades*. Lima: INEI.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2017). *PBI según sectores económicos*. Recuperado el 19 de Marzo de 2019, de INEI Web site: https://www1.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/indices_tematicos/5_actecon_kte_13.xlsx
- Klee, H. (2009). Reciclando Concreto. *Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible*, 04-06.
- Kumutha, R., & Vijai, K. (2010). Strength of concrete incorporating aggregates recycled from demolition waste. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 64-71.
- Lamond, J. F. (2001). Removal and Reuse of Hardened Concrete. *ACI Committee 555*, 18-19.
- Leon, J. P. (26 de Agosto de 2017). *Diario El Comercio*. Recuperado el 30 de Abril de 2019, de <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/lima-generan-19-mil-toneladas-desmonte-dia-70-mar-rios-noticia-453274-noticia/>
- Mehta, P. K. (2001). Reducing the Environmental Impact of Concrete. *Concrete International*, 61-66.
- Mena Sanclemente, C., & Valdes Castro, Y. (9 de Julio de 2014). *Dosificación óptima de una mezcla de concreto con materiales reciclados procedente de residuos de construcción y demolición (RCD) de la ciudad de Cali para uso en obras viales de bajo tránsito*. Calí, Calí, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Metso Minerals - France SAS. (2015). *METSO Aggregates*. Obtenido de METSO Aggregates: <https://www.metso.com/products/crushers/cone-crushers/nordberg-hp-series/>

- Meyer, C. (10 de Diciembre de 2005). *Concrete as a green building material*. Recuperado el 15 de Mayo de 2019, de Semantic Scholar Organization Web site:
<https://pdfs.semanticscholar.org/28a8/a01a5068bfb9b39ea6f3774e37bf17f0e117.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). G-050. *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Lima, Perú: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción – SENCICO.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2013). Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de la Construcción y Demolición. Lima, Lima, Perú: MIVIVIENDA.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Información provista por los gobiernos locales y estudios de caracterización de residuos sólidos*. Lima: Dirección General de Gestión de Residuos Sólido. Recuperado el 01 de Abril de 2019
- Ministerio del Ambiente. (2015). Planificación ante el cambio climático. *Proyecto Plan Cambio Climático*, 14.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024*. Dirección General de Gestión de Residuos Sólido. Lima: Consejo Nacional del Ambiente. Recuperado el 20 de Mayo de 2019, de
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-nacional-gestion-integral-residuos-solidos-2016-2024>
- Ministerio del Ambiente. (2018). *Listado de infraestructuras de disposición final de residuos sólidos*. Lima : Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos.
- Ninalaya, R. (20 de 08 de 2015). Empresa lleva el desmonte de las construcciones a lugares autorizados. (G. Becerra, Entrevistador)
- Okinomou, N. (2005). Recycled concrete aggregates. *Cement Concrete Comp.*, 315-318.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2014). *Ranking de cumplimiento en la gestión y manejo de residuos sólidos*. Lima: OEFA.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2014). *Residuos sólidos de construcción y demolición*. Lima: OEFA.
- Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2015). *La fiscalización ambiental de residuos*. Lima: OEFA.
- Pasquel Carbajal, E. (1993). Tópicos de Tecnología del Concreto. En E. Pasquel Carbajal, *Tópicos de Tecnología del Concreto* (págs. 12-13). Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Reciclando Concreto. (2009). *Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible*, 4.

- Sachan, A. (2013). Management of Construction and Demolition Waste Materials. *Conference: International Conference on Sustainable Civil Infrastructure (ASCE India)*, 1068-1076.
- Santos, L. (2007). *Comitiva da prefeitura de Cuiabá visita centrar de reciclaje*. Cuiabá: Producao.
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). (2010). CE.010. *Pavimentos Urbanos*. Lima, Lima, Perú: Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2010-03079.
- Torám, J. T. (2017). *Informe de producción y gestión de residuos de construcción y demolición en España*. Madrid: Asociación Española de Reciclaje de RCD.
- Yeheyis, M. H. (2013). An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. *Clean Techn Environ Policy*, 81-91.

ANEXOS

ANEXO 1. ENSAYO DE ABRASIÓN DE LOS ÁNGELOS DE AGREGADO GRUESO RECICLADO.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil
LABORATORIO N°1 ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"


Accreditation Board for Engineering and Technology


INFORME

Del
A
Obra
Asunto
Expediente N°
Recibo N°

: Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
: MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO
: ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DEL CONCRETO RECICLADO
: Ensayo de Abrasión en Agregados
: 17-1874
: 55892

1.0. DE LA MUESTRA
2.0. DEL EQUIPO
3.0. MÉTODO DEL ENSAYO
4.0. RESULTADOS

: CONCRETO RECICLADO M-2
: Máquina de ensayo "Los Ángeles", marca ELE.
Certificado de calibración: LD 0332-2016
: Norma de referencia NTP 400.019:2014.
Procedimiento interno AT-PR-18.
:

MUESTRA	TNM	TIPO DE GRADACIÓN	PORCENTAJE DE DESGASTE (%)	RELACIÓN DE UNIFORMIDAD
CONCRETO RECICLADO M-2	1"	A	29.7	0.25

5.0. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación, ~~deben~~ proporcionadas por el solicitante.

Hecho por
Técnico

: Ing. M. A. Tejada S.
: Sr. T.M.T.


Ms. Ing. Ana Torre Carrillo
Jefe (a) del laboratorio

NOTAS:

1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



UNI-LEM
La Calidad es nuestro compromiso
Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
apartado 1301 - Perú
(511) 381-3343
(511) 481-1070 Anexo: 306



www.lem.uni.edu.pe
lem@uni.edu.pe
Laboratorio de Ensayos
de Materiales - UNI



ANEXO 2. PANEL FOTOGRÁFICO

En el presente panel fotográfico se presentará las 18 fotografías que se registraron a lo largo del desarrollo de la presente tesis:



Foto 1: Recolección de los RCD en obra



Foto 2: Muestra del agregado reciclado



Foto 3: Máquina trituradora



Foto 4: Muestra trituradonse



Foto 5: Muestra de agregados grueso convencional (Granulometría).



Foto 6: Muestra de agregados (Contenido de humedad)



Foto 7: Peso específico y absorción de agregados finos



Foto 8: Peso unitario suelto de agregado grueso convencional



Foto 9: Materiales y equipos para el vaciado de las mezclas



Foto 10: Mezclado y vaciado de los diferentes concretos



Foto 11: Probetas cilíndricas



Foto 12: Ensayo de slump



Foto 13: Compresión axial



Foto 14: Tracción indirecta



Foto 15: Fallo por compresión axial



Foto 16: Resistencia a la flexión



Foto 17: Meclado del concreto reciclado



Foto 18: Vaciado de concreto en vereda

INGEOCONTROL		INFORME		Cédulas	AE-FG-191
		MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN		Versión	01
				Fecha	29-04-2015
				Página	1 de 1
PROYECTO	: Concreto con Agregado Reciclado				REGISTRO N°: IDC19-LEM-826-01
SOLICITANTE	: Brian Gutiérrez Vazquez				REALIZADO POR : J. Gutiérrez
CÓDIGO DE PROYECTO	: —				REVISADO POR : —
UBICACIÓN DE PROYECTO	: San Miguel				
FECHA DE EMISIÓN	: 11/12/2019				
Tipo de muestra	: Diamantina				
Presentación	: Especímenes cilíndricos				
F/c de diseño	: Indicado en la identificación				

Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
ASTM C39/C39M-15

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (mm)	TIPO DE FALLA	RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO	FUERZA MÁXIMA (kg)	ESFUERZO
Diamantina 1	30/11/19	30/11/19	0	9.42	18.1	3	1.71	14527.9	213 kg/cm ²
Diamantina 2	30/11/19	30/11/19	0	9.4	18.2	3	1.72	14327.7	206 kg/cm ²
Diamantina 3	30/11/19	30/11/19	0	9.38	18.2	3	1.73	12603.8	200 kg/cm ²

Fig. 3 Esquema de los Tipos de Probetas Típicas

Fonte: ASTM C39

8.2 If the specimen length-to-diameter ratio is 1.75 or less, convert the result obtained in 5.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table (Note 1):

Ratio	Factor
1.40	1.75
1.50	1.60
1.60	1.45
1.75	1.00

Use interpolation to determine correction factors for L/D values between those given in the table.

Fonte: ASTM C39

Ratio	Factor
1.40	1.75
1.50	1.60
1.60	1.45
1.75	1.00

Fonte: ASTM C39

8.3 If the specimen length-to-diameter ratio is 1.75 or less, convert the result obtained in 5.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table (Note 1):

Ratio	Factor
1.40	1.75
1.50	1.60
1.60	1.45
1.75	1.00

Fonte: ASTM C39

8.4 If the specimen length-to-diameter ratio is 1.75 or less, convert the result obtained in 5.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table (Note 1):

Ratio	Factor
1.40	1.75
1.50	1.60
1.60	1.45
1.75	1.00

Fonte: ASTM C39

8.5 If the specimen length-to-diameter ratio is 1.75 or less, convert the result obtained in 5.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table (Note 1):

Ratio	Factor
1.40	1.75
1.50	1.60
1.60	1.45
1.75	1.00

Fonte: ASTM C39

8.6 If the specimen length-to-diameter ratio is 1.75 or less, convert the result obtained in 5.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table (Note 1):

Ratio	Factor
1.40	1.75
1.50	1.60
1.60	1.45
1.75	1.00

Fonte: ASTM C39

8.7 If the specimen length-to-diameter ratio is 1.75 or less, convert the result obtained in 5.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table (Note 1):

Ratio	Factor
1.40	1.75
1.50	1.60
1.60	1.45
1.75	1.00

Fonte: ASTM C39

8.8 If the specimen length-to-diameter ratio is 1.75 or less, convert the result obtained in 5.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table (Note 1):

Ratio	Factor
1.40	1.75
1.50	1.60
1.60	1.45
1.75	1.00

Fonte: ASTM C39

8.9 If the specimen length-to-diameter ratio is 1.75 or less, convert the result obtained in 5.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table (Note 1):

Ratio	Factor
1.40	1.75
1.50	1.60
1.60	1.45
1.75	1.00

Fonte: ASTM C39

8.10 If the specimen length-to-diameter ratio is 1.75 or less, convert the result obtained in 5.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table (Note 1):

Ratio	Factor
1.40	1.75
1.50	1.60
1.60	1.45
1.75	1.00

Fonte: ASTM C39

8.11 If the specimen length-to-diameter ratio is 1.75 or less, convert the result obtained in 5.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table (Note 1):

Ratio	Factor
1.40	1.75
1.50	1.60
1.60	1.45
1.75	1.00

Fonte: ASTM C39

8.12 If the specimen length-to-diameter ratio is 1.75 or less, convert the result obtained in 5.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table (Note 1):

Ratio	Factor
1.40	1.75
1.50	1.60
1.60	1.45
1.75	1.00

Fonte: ASTM C39

8.13 If the specimen length-to-diameter ratio is 1.75 or less, convert the result obtained in 5.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table (Note 1):

Ratio	Factor
1.40	1.75
1.50	1.60
1.60	1.45
1.75	1.00

Fonte: ASTM C39

8.1