



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“VIABILIDAD DEL USO DE AGREGADO RECICLADO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO DE F’C 210 KG/CM² PROVENIENTE DE LA TRITURACIÓN DE PROBETAS DEL LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE UNA OBRA EN EL DISTRITO DE LA MOLINA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Julio Cesar Conocc Alejos

Asesor:

Mg. Ing. Paolo Macetas Porras

Lima – Perú

2018

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** el trabajo de tesis desarrollado por el (la) Bachiller **Julio Cesar Conocc Alejos**, denominada:

“VIABILIDAD DEL USO DE AGREGADO RECICLADO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO DE F' C 210 KG/CM² PROVENIENTE DE LA TRITURACIÓN DE PROBETAS DEL LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE UNA OBRA EN EL DISTRITO DE LA MOLINA”

Ing. Paolo Macetas Porras

ASESOR

Ing. Maximo Huambachano Martel

JURADO

PRESIDENTE

Ing. Luis Colonio Garcia

JURADO

Ing. Ronald Villanueva Maguiña

JURADO

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis padres y hermanos que siempre estuvieron conmigo en todo mi proceso académico, a una mujer grandiosa y tres pequeños ángeles que en esta última etapa fueron de gran motivación.

AGRADECIMIENTO

Sinceros agradecimientos al Ing. Paolo Macetas Porras, por su orientación y buenos consejos en mi tesis. Al técnico de laboratorio Ciro Quillatupa por su apoyo en los ensayos con materiales.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Antecedentes	12
1.2. Realidad Problemática.....	14
1.3. Formulación del Problema	20
1.3.1. <i>Problema General</i>	20
1.3.2. <i>Problema Específico</i>	20
1.3.2.1. <i>Problema específico 01</i>	20
1.3.2.2. <i>Problema específico 02</i>	20
1.3.2.3. <i>Problema específico 03</i>	20
1.4. Justificación.....	20
1.4.1. <i>Justificación Teórica</i>	20
1.4.2. <i>Justificación Práctica</i>	20
1.4.3. <i>Justificación Cuantitativa</i>	21
1.4.4. <i>Justificación Académica</i>	21
1.5. Objetivo.....	21
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	21
1.5.2. <i>Objetivo Específico</i>	21
1.5.2.1. <i>Objetivo específico 1</i>	21
1.5.2.2. <i>Objetivo específico 2</i>	22
1.5.2.3. <i>Objetivo específico 3</i>	22
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	23
2.1. Residuos Sólidos (RS).....	23
2.2. Residuos Sólidos de la Actividad de la Construcción y Demolición (RSCD).....	23

2.3.	Agregado de origen reciclado	25
2.4.	Concreto de origen Reciclado.....	25
2.5.	Definición de términos básicos	25
		2.5.1. Concreto 25
2.5.2.	Cemento Portland.....	26
		2.5.3. Agregado 28
CAPÍTULO 3.	DESARROLLO	33
3.1.	Desarrollo el Objetivo Específico 1	33
3.1.1.	Obtención de Agregado.....	33
		3.1.1.1. Agregado Patrón 33
		3.1.1.2. Agregado de origen Reciclado..... 33
3.1.2.	Granulometría y Modulo de Finura.....	33
		3.1.2.1. Agregado Patrón 33
		3.1.2.2. Agregado Reciclado 34
3.1.3.	Propiedad de los agregados patrón y reciclado	35
3.1.4.	Análisis de los resultados del agregado	37
		3.1.4.1. Granulometría 37
		3.1.4.2. Módulo de finura 39
		3.1.4.3. Peso unitario suelto..... 39
		3.1.4.4. Peso unitario compactado..... 39
		3.1.4.5. Peso específico de masa 40
		3.1.4.6. Absorción 40
3.2.	Desarrollo el Objetivo Específico 2	41
3.2.1.	Diseño de mezcla	41
3.2.2.	Análisis de los resultados del diseño de mezcla	41
		3.2.2.1. Cemento..... 41
		3.2.2.2. Agregado..... 42
		3.2.2.3. Agua 42
3.2.3.	Ensayos a realizar	42
3.2.4.	Análisis de los resultados del concreto	43
3.3.	Desarrollo el Objetivo Específico 3	44
3.3.1.	Costo de insumos	44

3.3.2.	<i>Análisis de precios unitarios</i>	45
3.3.3.	<i>Análisis de los resultados de los ensayos</i>	46
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES		48
4.1.	RESULTADOS	48
4.1.1.	<i>Resultados del Objetivo Especifico 1</i>	48
4.1.2.	<i>Resultados del Objetivo Especifico 2</i>	49
4.1.3.	<i>Resultados del Objetivo Especifico 3</i>	50
4.2.	CONCLUSIONES	51
4.3.	RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS		55
ANEXOS		59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.	Bombardeo Alemán a Londres en 1940.....	12
Figura N° 2.	Planta de tratamiento de escombros en México.....	13
Figura N° 3.	Generación de residuos por región	15
Figura N° 4.	Proporción de RSCD por el total de residuos sólido	16
Figura N° 5.	Producción de RSCD kg/m ² construido.....	17
Figura N° 6.	PBI Sector Construcción por Región.....	18
Figura N° 7.	Contaminación de la Costa Verde con RSCD	19
Figura N° 8.	Cantera clandestina en Cieneguilla.....	19
Figura N° 9.	Proporción Típica del Concreto.....	26
Figura N° 10.	Granulometría del agregado fino patrón vs reciclado.....	37
Figura N° 11.	Granulometría del agregado grueso patrón vs reciclado	38
Figura N° 12.	Granulometría del agregado global patrón vs reciclado.....	38
Figura N° 13.	Análisis de precio unitario del concreto patrón.....	45
Figura N° 14.	Análisis de precio unitario del concreto reciclado	46
Figura N° 15.	Comparación de las propiedades del agregado fino.....	48
Figura N° 16.	Comparación de las propiedades del agregado grueso	48
Figura N° 17.	Comparación dosificación del concreto f'c 210 kg/cm ²	49
Figura N° 18.	Comparación de dosificación en porcentaje.....	49
Figura N° 19.	Comparación resistencia del concreto f'c 210 kg/cm ²	50
Figura N° 20.	Comparación costo del agregado	50
Figura N° 21.	Comparación del costo del concreto	51
Figura N° 22.	Comparación de costo de otros concretos.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.	Norma Técnica Peruana para Gestión RSCD	14
Tabla N° 2.	Clasificación de RSCD según su peligrosidad	24
Tabla N° 3.	Propiedades del cemento utilizado en la investigación.....	27
Tabla N° 4.	Requisitos Granulométricos del agregado fino	28
Tabla N° 5.	Requisitos Granulométricos del agregado grueso	29
Tabla N° 6.	Requisito Granulométricos del agregado global.....	29
Tabla N° 7.	Granulometría del agregado fino patrón	34
Tabla N° 8.	Granulometría del agregado grueso patrón	34
Tabla N° 9.	Granulometría del agregado fino reciclado.....	35
Tabla N° 10.	Granulometría del agregado grueso reciclado	35
Tabla N° 11.	Propiedad de Agregado Patrón	36
Tabla N° 12.	Propiedades del Agregado Reciclado.....	36
Tabla N° 13.	Dosificación del Concreto de resistencia f'c 210 kg/cm ²	41
Tabla N° 14.	Resistencia del concreto en el tiempo	43
Tabla N° 15.	Costo del cemento y agua.....	44
Tabla N° 16.	Costo de agregado patrón	44
Tabla N° 17.	Costo del agregado reciclado según análisis	45
Tabla N° 18.	Costo de concretos de otras resistencias.....	47

RESUMEN

Desde los años 40 del siglo XX hasta la actualidad se han realizado distintas investigaciones en torno al concreto reciclado que han dado pie a la creación de normas y leyes que buscan llegar a una correcta gestión en el manejo de los residuos sólidos de la construcción y demolición (RSCD). Es por ello, que se presenta el uso del concreto reciclado como la solución a la mala gestión del tratamiento de los RSCD en Lima Metropolitana, siendo el principal objetivo demostrar la viabilidad de su uso. El desarrollo de esta investigación se basa en el análisis comparativo del agregado y concreto reciclado versus el convencional; para lo cual se estudió sus características, costo y elaboración.

En primer lugar, se encontró diferencias en sus propiedades por medio de los ensayos de granulometría, cálculo de peso unitario suelto y compactado, absorción de agregados, entre otros. Mediante estas pruebas se concluye que el agregado reciclado presenta un porcentaje mayor del 23 % en módulo de fineza, 71 % en absorción y un 5 % menos en peso unitario con respecto al agregado convencional. En segundo lugar, con los resultados obtenidos del agregado se calculó la dosificación de los materiales para lograr un concreto con una resistencia de 210 kg/cm². Es por ello, que debido a sus características la proporción de los agregados y el agua para la elaboración del concreto reciclado es distinta a la preparación de un concreto común. Del mismo modo, se determinó que en el transcurrir de los días existía una desigualdad en la resistencia a la compresión a favor del concreto habitual pero que disminuye en el tiempo. En tercer lugar, se hizo un análisis comparativo de los costos, donde el agregado y concreto reciclado versus el convencional resultó ser de menor costo en un 21 % y 5 %, respectivamente.

En conclusión, los resultados del análisis al agregado reciclado indican que es un material de baja calidad pero que puede ser reutilizado bajo una correcta dosificación de sus componentes. El concreto que se obtiene de dicha mezcla no es recomendado para el uso de elementos estructurales; sin embargo, pueden llegar a ser utilizados para la elaboración de concreto simple o para elementos prefabricados. Además, existe una diferencia menor en el costo de su preparación. Si bien es cierto los indicadores técnicos, económicos y ambientales sostienen que es factible usar concreto reciclado; no obstante, en el contexto local (Lima Metropolitana) se necesita el apoyo del gobierno para la regularización de las normas y leyes, así como el respaldo en el cumplimiento de las mismas a fin de lograr una mejor gestión en el manejo de los RSCD.

ABSTRACT

From the 40s of the twentieth century to the present there have been various investigations into recycled concrete that have led to the creation of standards and laws that seek to achieve proper management in the management of solid waste from construction and demolition (SWCD). For this reason, the use of recycled concrete is presented as the solution to the poor management of the SWCD treatment in Metropolitan Lima, the main objective being to demonstrate the viability of its use. The development of this research is based on the comparative analysis of aggregate and recycled concrete versus conventional; for which its characteristics, cost and elaboration were studied.

In the first place, differences were found in their properties by means of granulometry tests, loose and compacted unit weight calculation, absorption of aggregates, among others. Through these tests it is concluded that the recycled aggregate presents a percentage higher than 23% in fineness modulus, 71% in absorption and 5% less in unit weight with respect to conventional aggregate. Secondly, with the results obtained from the aggregate the dosing of the materials was calculated to achieve a concrete with a resistance of 210 kg / cm². That is why, due to its characteristics, the proportion of aggregates and water for the production of recycled concrete is different from the preparation of a common concrete. In the same way, it was determined that in the passing of the days there was an unevenness in the resistance to compression in favor of the usual concrete but that it decreases in time. Third, a comparative analysis of costs was made, where the aggregate and recycled concrete versus the conventional one were lower cost by 21% and 5%, respectively.

In conclusion, the results of the analysis to the recycled aggregate indicate that it is a material of low quality but that it can be reused under a correct dosage of its components. The concrete that is obtained from said mixture is not recommended for the use of structural elements; however, they can be used for the production of simple concrete or for prefabricated elements. In addition, there is a minor difference in the cost of its preparation. While it is true technical, economic and environmental indicators argue that it is feasible to use recycled concrete; nevertheless, in the local context (Metropolitan Lima) the government support is needed for the regularization of the norms and laws, as well as the support in the fulfillment of the same in order to achieve a better management in the management of the SWCD.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Los estudios del uso de materiales reciclados para la elaboración de concreto no es un tema abordado recientemente, ya que en los años cuarenta del siglo XX época en la que Europa se veía sumida en la Segunda Guerra Mundial, países afectados como Inglaterra, Alemania y la entonces Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), buscaban la forma de utilizar los escombros de sus ciudades bombardeadas en la reconstrucción de las mismas. Martínez-Molina., Torres-Acosta, Alonso-Guzmán, Chávez-García, Hernández-Barrios, Lara-Gómez, Martínez-Alonso, Pérez-Quiroz, Bedolla-Arroyo y González-Valdez (2016) mencionan que uno de los primeros informes de concreto reciclado fue realizado en la URSS, por Gluzhge P., miembro del instituto de investigación científica Gidrotskhnicheskoge Stroiteistvo, en el año 1946.

Figura N° 1. Bombardeo Alemán a Londres en 1940



Fuente: BBC (2010)

A los estudios de Gluzhge le sigue un centenar de investigaciones sobre el uso de agregado reciclado, como los realizados por Buck (1970) y Frodistoure-Yannas (1970) confirmando la factibilidad del uso del agregado reciclado para la fabricación de concreto. Recientes investigaciones realizadas con la aplicación de nuevas tecnologías y métodos profundizan más este material dándole varios enfoques, como el económico que le da Martínez S. y Mendoza E. (2006) donde concluye que “el agregado reciclado tiene su mejor aplicación en consumos de cemento bajos hasta

300 kg/m³, debido a que para consumos mayores pueden resultar mezclas antieconómicas” (p 13), o también investigaciones con un enfoque aplicativo como el que se muestra en la investigación de Domínguez L. y Martínez L. (2007) donde el uso no solo se da para la fabricación de concreto sino también para la fabricación de adoquines, mosaicos y bloques.

En el Perú uno de los primeros que realizó investigaciones en este campo es Muñoz I. (1975) en la que indica que se pueden obtener concretos aceptables y de buena calidad usando agregado reciclado y que también estos pueden alcanzar resistencias al 90% de la que se obtendría con un agregado convencional. Recientemente Ponce P. (2014) y Sumari R. (2016), de la misma casa de estudio, publicaron sus tesis sobre el uso de agregado reciclado para la elaboración de concreto, obteniendo resultados positivos en el uso de concreto triturado como agregado.

Ya en el siglo XXI a partir de los estudios realizados por varios investigadores, las instituciones técnicas y gobiernos de varios países como Reino Unido, Estados Unidos de Norteamérica, Alemania, Australia, Japón, Brasil, etc. publican normas para estandarizar el uso de agregado reciclado (ver anexo n.º 1).

Figura N° 2. Planta de tratamiento de escombros en México



Fuente: El Universal (2017)

En el Perú el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPÍ)¹ mediante las Normas Técnicas Peruanas (NTP) publica en el año 1999 la NTP 400.050 titulada “Manejo de Residuos de la Actividad de la Construcción y Demolición”, también el gobierno en el año 2013 por medio del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) aprueba mediante el Decreto Supremo N° 003-2013-VIVIENDA² el Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de la Construcción y Demolición. La norma y reglamento mencionado indica la metodología correcta de acopio de residuos sólidos de la construcción y demolición (RSCD).

Tabla N° 1. Norma Técnica Peruana para Gestión RSCD

NORMA TECNICA	DESCRIPCIÓN
NTP 400.050:2017	Manejo de residuos de la actividad de la construcción y demolición. Generalidades. 2ª Edición
NTP 400.051:1999	Reciclaje de mezclas asfálticas de demolición
NTP 400.052:2000	Reutilización y reciclaje de materiales de bases y sub-bases provenientes de la demolición de carreteras o plataformas
NTP 400.053:1999	Reciclaje de concreto de demolición
NTP 400.054:2000	Reciclaje de materiales de demolición no clasificados

Fuente: Elaboración propia

La presente investigación utilizara las probetas de concreto fracturadas en los ensayos de compresión del laboratorio de materiales de una obra de construcción de pavimento rígido en el distrito de La Molina en la provincia de Lima.

12. Realidad Problemática

La gestión inadecuada de residuos sólidos es ya un problema global donde todos los países buscan soluciones para reducir los daños que esta pueda causar ya no solo al medio ambiente, sino también a la salud y a la economía mundial. En la Conferencia de la Naciones Unidas Sobre el

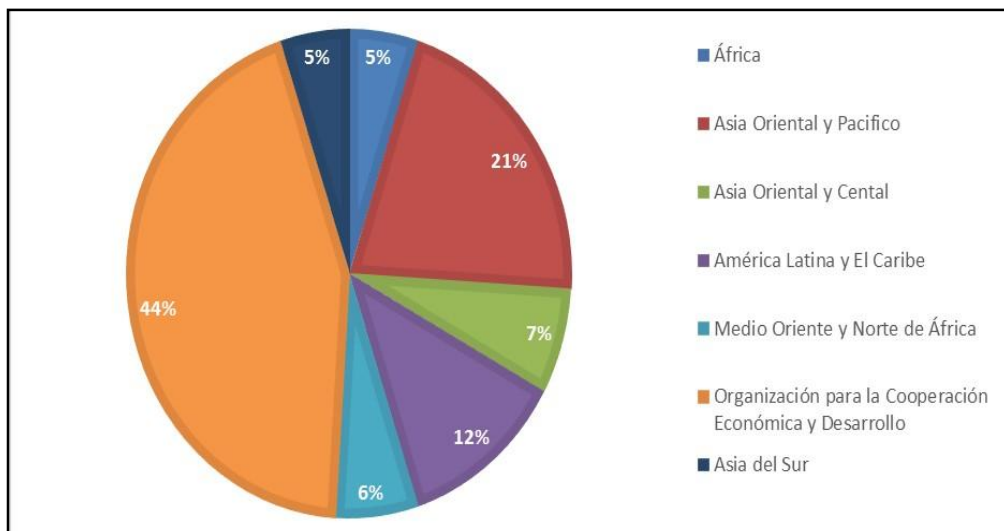
¹ Desde el año 2014 el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) es el organismo encargado de revisar y publicar las Normas Técnicas Peruanas.

² En el año 2016 se aprueba el D.S. 019-2016-VIVIENDA, que modifica el D.S. 003-2013-VIVIENDA.

Desarrollo Sostenible (RIO+20, 2012) se dio la información de que cada año en el mundo se genera “entre 7 000 y 10 000 millones de toneladas de residuos sólidos urbano procedente de hogares, comercio, industria y la construcción” (UNEP, 2012). Ojeda y Quintero (2008); citado por Sáez y Urdaneta (2014) sostiene que:

Factores como el crecimiento demográfico, la concentración de población en las zonas urbanas, el desarrollo ineficaz del sector industrial y/o empresarial, los cambios en patrones de consumo y las mejoras del nivel de vida, entre otros, han incrementado la generación de residuos sólidos en los pueblos y ciudades (p. 122).

Figura N° 3. Generación de residuos por región



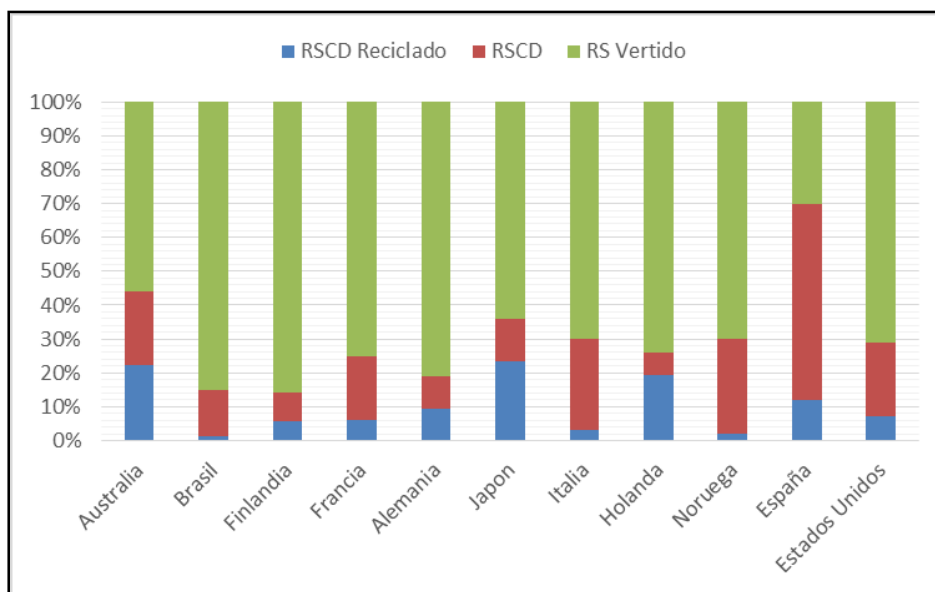
Fuente: The World Bank (2012)

Según lo mostrado en la figura n.º 3 la región con mayor porcentaje de generación de residuos es la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OCED) conformado en su mayoría por países del primer mundo³ como Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, España, Reino Unido, Japón, etc. (Ver anexo n.º 2), por lo que podemos concluir que a mayor desarrollo de consumo, mayor es la generación de residuos.

³ La expresión primer mundo actualmente hace referencia a aquellos países que han logrado un muy alto grado de desarrollo humano (IDH), disfrutan de los más altos estándares de vida posibles, gracias a una buena distribución de la riqueza, sanidad, esperanza de vida y calidad de los servicios. (https://es.wikipedia.org/wiki/Primer_mundo).

De todos los residuos sólidos generados en el mundo un porcentaje le corresponde a los RSCD y esto depende mucho de la región en la que se genere este tipo de residuo. Un factor que determina la proporción de RSCD en una región es el nivel de desarrollo en el sector construcción, un estudio de V. Tam, K. Wang y C. Tam (2008), recopila información de varios países sobre la proporción de RSCD con respecto al total de residuos sólidos generados (ver figura n.º 4).

Figura N° 4. Proporción de RSCD por el total de residuos sólido



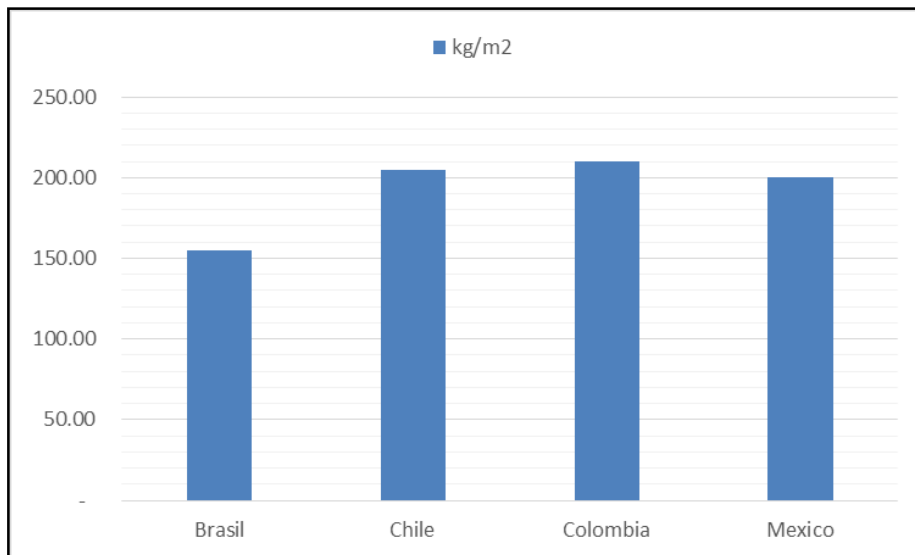
Fuente: V. Tam, K. Wang y C. Tam (2008)

De lo visto en la figura n.º 4 podemos considerar que los RSCD representan entre un 10% a 70% del total de residuos sólidos que es un porcentaje alto teniendo en cuenta las toneladas de residuos que se generan en el mundo. De la misma figura se puede observar dos casos resaltantes. En España se aprecia que del total de residuos sólidos un 70% corresponde a RSCD, pero solo un 17% se trata de manera adecuada; caso contrario ocurre en Holanda que del total de residuos sólidos, un 26% corresponde a RSCD y del total de RSCD el 75% se recicla. Esta diferencia se debe a las estrictas políticas medio ambientales tomadas por el gobierno holandés.

América Latina no es ajena a este problema ya que según lo mostrado en la figura n.º 3 este representa un 12%, en el orden regional ocupando el tercer lugar. Un informe de la Fundación ENT (2016) indica:

El auge experimentado por las ciudades latinoamericanas, y los procesos de renovación urbana que se están llevando a cabo en estas ciudades, han conllevado la generación de grandes cantidades de *RSCD*, los cuales debido a la falta de planificación y a la inexistencia de instalaciones de tratamiento o disposición controlada, se han ido depositando en vertederos de residuos urbanos o bien de forma incontrolada [*las cursivas son mías*] (p. 06).

Figura N° 5. Producción de RSCD kg/m² construido



Fuente: Estudio "What a waste", citado por Carmen Silva (2017)

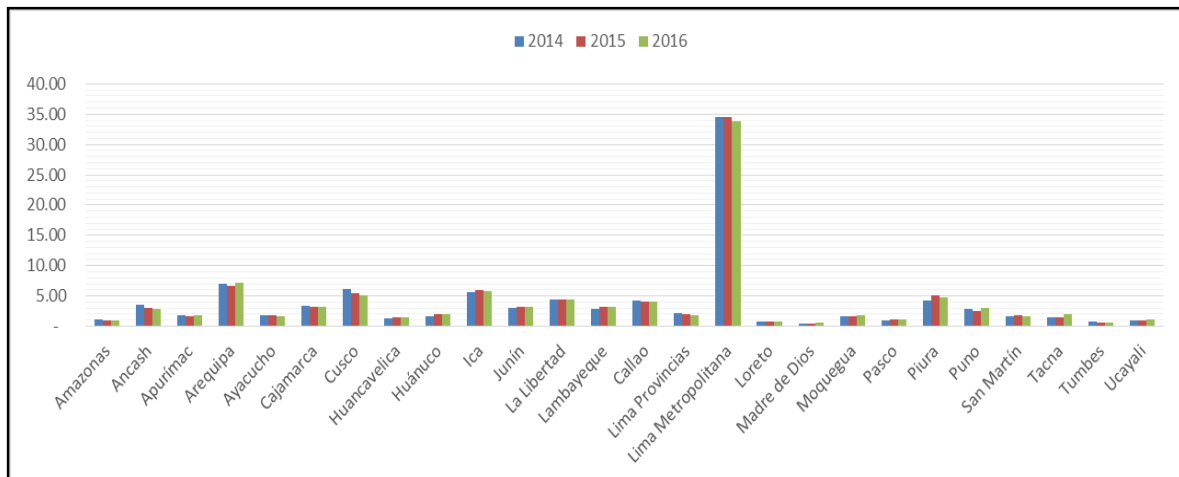
En la última década el Perú ha estado viviendo un *boom de la construcción* y a pesar de la crisis económica el sector de la construcción se ha estado manteniendo con leves desaceleraciones. Según datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) el sector construcción en estos últimos años representa entre un 6 y 7% del producto bruto interno (PBI). El desarrollo de este sector económico en el Perú también trae un aumento en la generación de residuos sólidos de la construcción que a pesar de las normas y leyes establecidas se ha convertido en un gran problema ambiental.

Es en Lima Metropolitana donde más se ha desarrollado el sector económico de la construcción (ver figura n.º 6) y a la vez es el lugar más afectado por el *lado oscuro del boom* de la construcción haciendo referencia a los aspectos negativos, se menciona dos aspectos:

- La gestión inadecuada de RSCD.

- La aparición de canteras ilegales de agregados.

Figura N° 6. PBI Sector Construcción por Región



Fuente: INEI (2016)

La gestión inadecuada de RSCD en Lima Metropolitana es más notoria. Es por ello, que es común observar distintas zonas de la ciudad usadas como punto de acopio de escombros, sobre todo en distritos en la que el recojo de residuos sólidos es inapropiado. Una publicación de la versión electrónica del diario El Comercio del 26 de agosto 2017, elaborado por Juan Pablo León indica: La demolición parece ser un negocio tan rentable como la propia construcción. O por lo menos lo es en Lima, una ciudad donde cada día se producen 30.000 m³ de desmote, es decir, unas 19.000 toneladas (...) En Lima existen seis lugares autorizados para recibir residuos sólidos –en Lurín, Cañete, Ate y tres en el Callao–, pero ninguno exclusivamente para desmote de construcciones. En el 2012, el municipio chalaco estableció zonas potenciales para instalar escombreras, pero aún está en etapa de proyecto. Mientras tanto, el 70% de desmote va al mar y a los ríos y solo el 30% restante va a los puntos autorizados, señala CAPECO.

Ante la demanda de insumos para la construcción como es el caso de los agregados, en Lima Metropolitana han aparecido infinidad de canteras informales que producen este material a un bajo precio pero a cuesta del grave impacto ambiental que genera la producción, siendo lamentablemente parte de esta red ilegal las empresas constructoras y ferreterías. Una publicación de la versión electrónica del diario El Comercio del 15 de agosto del 2014, elaborado por Luis Silva Nole indica:

En Lima hay un número indeterminado de canteras informales e ilegales que producen materiales que son insumo para la industria de la construcción, pero que a la vez son el primer eslabón de una cadena mafiosa de ese sector de la economía (...) El producto de estas canteras –añade la fuente– es comprado por un usuario directo para construcción informal, por camioneros y por inmobiliarias.

Figura N° 7. Contaminación de la Costa Verde con RSCD



Fuente: Ministerio del Ambiente (2012)

Figura N° 8. Cantera clandestina en Cieneguilla



Fuente: Andina Agencia Peruana de Noticias (2017)

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿Es viable para las plantas concreteras fabricar concreto f'c 210 kg/cm² usando como agregado los restos triturados de las probetas?

1.3.2. Problema Específico

1.3.2.1. Problema específico 01

¿Cuáles son las características físicas de un agregado reciclado proveniente de la trituración de concreto en comparación con el agregado convencional?

1.3.2.2. Problema específico 02

¿Qué diferencia tiene un concreto de f'c 210 kg/cm² elaborado con agregado reciclado proveniente de la trituración de concreto en comparación de uno elaborado con agregado convencional?

1.3.2.3. Problema específico 03

¿Hay una diferencia en el costo de elaboración entre un concreto de f'c 210 kg/cm² con agregado reciclado proveniente de la trituración de concreto y uno con agregado convencional?

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación Teórica

La construcción de una infraestructura vendría ser un bien final que pasa por varias etapas en su proceso de construcción, por lo que tenemos el concepto de un proceso lineal que parte de un inicio y llega a una etapa final y consta de extracción de recursos naturales, fabricación de materiales de construcción, proceso de construcción, operación, demolición y eliminación. La presente investigación propone agregar un eslabón al proceso lineal de construcción y convertirlo en un proceso cíclico, esta sería la etapa de Reciclaje/ Rehúso de RSCD (ver anexo n.º 3).

1.4.2. Justificación Práctica

La investigación propone darle un uso a los RSCD, en este caso en particular es la elaboración de concreto, pero también puede ser utilizado para la fabricación de materiales pre-

fabricados como adoquines, ladrillos, bloques, postes, ductos, guarda-vías, etc. o simplemente el material agregado para cama de arena, sistemas de drenaje y relleno de suelos. En el Perú existe MP RECICLA S.A.C. empresa pionera en la fabricación de elementos prefabricados utilizando agregado reciclado.

1.4.3. Justificación Cuantitativa

Citando la información de la revista Perú Construye (2016) solo en concreto premezclado en Lima se produce aproximadamente 230 000 m³ al mes, por definición sabemos que el concreto se compone aproximadamente de 70% de agregado por lo que se deduce que se usaron 161 00 m³ de agregado, entre fino y grueso. Si reemplazamos el agregado natural por agregado reciclado solo en un 20%, como lo sugieren algunos estudios, estaríamos ahorrando 32 200 m³ de agregado natural extraído de canteras al mes y reduciendo en un 4% aproximadamente el volumen de escombros generados en Lima, esto significaría un gran avance.

1.4.4. Justificación Académica

El uso de agregados alternativos para la elaboración de concreto es un tema que viene siendo estudiado desde ya hace varios años, es una propuesta de la presente investigación seguir ahondando en estos temas en la universidades peruanas que a diferencia de otros países de la región como México y Brasil estamos atrasados. Estudiar el uso de agregados alternativos en los cursos de tecnología del concreto puede incentivar más a los estudiantes de ingeniería a seguir investigando sobre concretos ecológicos, sostenibles y económicos.

1.5. Objetivo

1.5.1. Objetivo General

Determinar la viabilidad de la fabricación de concreto f'c 210 kg/cm² utilizando como agregado los restos triturados de probetas de concreto de la misma Resistencia, en las plantas concreteras ubicadas en Lima Metropolitana.

1.5.2. Objetivo Específico

1.5.2.1. Objetivo específico 1

Determinar las características físicas del agregado reciclado proveniente de la trituración de probetas de concreto en comparación con el agregado convencional.

1.5.2.2. Objetivo específico 2

Determinar las diferencias físicas entre un concreto f'c 210 kg/cm² elaborado con agregado reciclado proveniente de la trituración de probetas de concreto y uno elaborado con agregado convencional.

1.5.2.3. Objetivo específico 3

Determinar la diferencia en costo en la elaboración de un concreto f'c 210 kg/cm² con agregado reciclado proveniente de la trituración de concreto y uno con agregado convencional.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

21. Residuos Sólidos (RS)

Según Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (2016) lo define:

Residuo sólido es cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio, del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse, para ser manejados priorizando la valorización de los residuos y en último caso, su disposición final.

Los desechos en fase sólida o semisólida son considerados como residuos sólidos. También se considera residuos aquellos que siendo líquido o gas se encuentran contenidos en recipientes o depósitos que van a ser desechados, así como los líquidos o gases, que por sus características fisicoquímicas no puedan ser ingresados en los sistemas de tratamiento de emisiones y efluentes y por ello no pueden ser vertidos al ambiente. En estos casos los residuos no sólidos (líquido y/o gases) deben ser acondicionados de forma segura para su adecuada disposición final.

El artículo 31 del D.L. N° 1278 (2016) clasifica a los residuos sólidos:

Los residuos se clasifican, de acuerdo al manejo que reciben, en peligrosos y no peligrosos, y según la autoridad pública competente para su gestión, en municipales y no municipales. El Reglamento del presente Decreto Legislativo puede establecer nuevas categorías de residuos por su origen u otros criterios, de ser necesario.

22. Residuos Sólidos de la Actividad de la Construcción y Demolición (RSCD)

El Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de la Construcción y Demolición (2016) lo define:

Se consideran residuos sólidos de la construcción y demolición a aquellos que cumpliendo la definición de residuo sólido contenida la Ley N° 27314⁴, Ley General de Residuos Sólidos, son generados durante el proceso de construcción de edificaciones e infraestructura, el cual comprende las obras nuevas, ampliación, remodelación, demolición, rehabilitación, cercado, obras menores, acondicionamiento o refacción u otros.

Tabla N° 2. Clasificación de RSCD según su peligrosidad

RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	
RESIDUOS PELIGROSOS	RESIDUOS NO PELIGROSOS
<ul style="list-style-type: none"> • Restos de madera tratada • Envases de removedores de pinturas, aerosoles • Envases de removedores de grasa, adhesivos, líquidos para remover pintura. • Envases de pinturas, pesticidas, contrachapados de madera, colas, lacas. • Restos de tubos de fluorescentes, transformadores, condensadores, etc. • Restos de PVC (solo luego de ser sometidos a temperaturas mayores a 40 °C). • Restos de planchas de fibrocemento con asbesto, pisos de vinilo asbesto, paneles divisores de asbestos. • Envases de solventes. • Envases de preservantes de madera. • Restos de cerámicos, baterías. • Filtros de aceite, envases de lubricantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desmonte limpio • Instalaciones <ul style="list-style-type: none"> ○ Mobiliario fijo de cocina. ○ Mobiliario fijo de cuartos de baño. • Fachadas <ul style="list-style-type: none"> ○ Puertas. ○ Ventanas. ○ Revestimientos de piedra. ○ Elementos prefabricados de hormigón. • Estructura <ul style="list-style-type: none"> ○ Vigas y pilares. ○ Elementos prefabricados de hormigón. • Cubiertas <ul style="list-style-type: none"> ○ Tejas. ○ Tragaluces y claraboyas. ○ Soleras prefabricadas. ○ Tableros. ○ Placas sándwich. • Particiones interiores <ul style="list-style-type: none"> ○ Mamparas. ○ Tabiquerías móviles o fijas. ○ Barandillas. ○ Puertas. ○ Ventanas. • Acabados interiores <ul style="list-style-type: none"> ○ Cielo raso (escayola). ○ Pavimentos flotantes. ○ Alicatados. ○ Elementos de decoración.

Fuente: Ministerio del Ambiente (2016)

⁴ Con Fecha 23-12-2016, se aprobó el Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, la misma que establece la derogatoria de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos, a partir de la entrada en vigencia de su Reglamento.

23. Agregado de origen reciclado

La N.T.P. 400.011 (2008) lo define como el “agregado procedente del tratamiento de materiales inorgánicos usados en construcción” (p. 05). En el caso específico del agregado reciclado proveniente de la trituración de concreto, Perez (2011) lo define como “el árido resultante del proceso de machaqueo, cribado y procesado en plantas de reciclado de residuos de *concreto* utilizados previamente en el proceso constructivo [*las cursivas son más*]” (p.17).

Se puede calificar el agregado reciclado “según la naturaleza de los residuos de origen, (...) en áridos reciclados provenientes del *concreto*, áridos reciclados cerámicos o áridos mixtos cuando proceden de una mezcla de residuos de distinta naturaleza [*las cursivas son más*]” (Perez, 2011, p. 16).

Con respecto a las propiedades del agregado reciclado estas están supeditadas a las características del concreto de origen, Perez (2011) indica por ejemplo que la granulometría del agregado reciclado depende del proceso de trituración, composición y resistencia del concreto de origen; en el caso de la densidad esta es inferior a los agregados convencionales, como consecuencia a las partículas de mortero en su composición, que son menos densas; la absorción es una de las propiedades que alcanza valores muy superiores en comparación con el agregado convencional debido a las partículas de mortero que son materiales porosos; por último la resistencia del agregado reciclado presenta un elevado coeficiente de Los Ángeles debido también a la cantidad de mortero y la calidad del concreto de origen.

24. Concreto de origen Reciclado

López G. (2008) lo define:

Se entiende por concreto de origen reciclado al concreto fabricado con gravas recicladas o una mezcla de agregado reciclado y grava natural. Los numerosos estudios realizados hasta el momento han analizado la influencia que tienen sobre el concreto la utilización de la grava gruesa y el agregado fino reciclado. (p. 17).

25. Definición de términos básicos

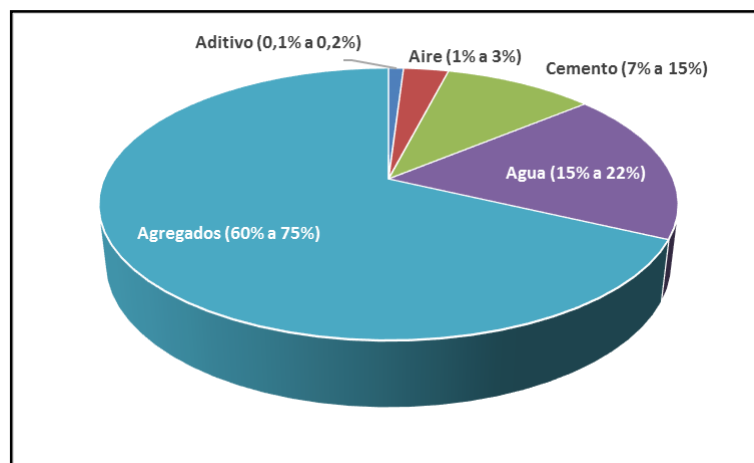
2.5.1. Concreto

“Mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos” (RNE Norma E060, 2009).

Se clasifica según el RNE Norma E060 en:

- Concreto armado o reforzado.- Concreto estructural reforzado con no menos de la cantidad mínima de acero, pre-esforzado o no.
- Concreto simple.- Concreto estructural sin armadura de refuerzo o con menos refuerzo que el mínimo especificado para concreto reforzado.

Figura N° 9. Proporción Típica del Concreto



Fuente: Elaboración propia.

2.5.2. Cemento Portland

La NTP 334.01 (2001) lo define como “cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker de portland compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de la formas de sulfato de calcio como una adición durante la molienda” (p. 07).

Tipo de Cemento Portland según la NTP 334.090:

- Cemento Portland tipo I: De uso general.
- Cemento Portland tipo II (MH): De uso general, específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos.
- Cemento Portland tipo III: Cuando se requiere alta resistencia inicial.
- Cemento Portland tipo IV: Cuando se desea bajo calor de hidratación.
- Cemento Portland tipo V: Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

Tipo de Cemento Portland Adicionado según la NTP 334.090:

- Cemento Portland tipo IP: Cemento Puzolánico (15%-40%)
- Cemento Portland tipo IPM: Cemento Puzolánico Modificado (menos de 15%).
- Cemento Portland tipo IS: Cemento de Escoria (25%-70%).
- Cemento Portland tipo ICo: Cemento Compuesto (hasta 30%).
- Cemento Portland tipo IL: Cemento Calizo.
- Cemento Portland tipo IT: Cemento Ternario (dos adiciones).

El cemento portland utilizado para la investigación es el tipo I marca SOL, cuyas propiedades son comparadas con los requisitos exigidos por la norma NTP 334.009.

Tabla N° 3. Propiedades del cemento utilizado en la investigación.

PARÁMETROS	UNIDAD	CEMENTO SOL TIPO I	NTP 334.009
Contenido de aire	%	6,62	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0,08	Máximo 0,80
Superficie específica	cm ² / g	3361	Máximo 2600
Densidad	g / ml	3,12	No específica
Resistencia a la Compresión			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg / cm ²	296	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg / cm ²	357	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg / cm ²	427	No específica
Tiempo de Fraguado			
Fraguado Vicat inicial	min.	127	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min.	305	Máximo 375
Composición Química			
MgO	%	2,93	Máximo 6,0
SO ₃	%	3,08	Máximo 3,5
Pérdida al fuego	%	2,25	Máximo 3,0
Residuo insoluble	%	0,68	Máximo 1,5

Fuente: UNACEM

2.5.3. Agregado

“Conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por esta NTP. Se les llama también áridos”. (NTP 400.011, 2008, p. 02).

Se clasifica en de acuerdo a su tamaño en:

Agregado Fino.- “Agregado artificial de rocas o piedras proveniente de la disgregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037” (NTP 400.011, 2008, p. 04).

Tabla N° 4. Requisitos Granulométricos del agregado fino

REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LA ARENA				
TAMIZ MALLA N°	PORCENTAJE QUE PASA			
	LIMITES TOTALES	GRUESO C	MEDIO M	FINO F
3/8" – 9,50 mm.	100	100	100	100
N° 4 – 4,75 mm.	89 – 100	95 – 100	85 – 100	89 – 100
N° 8 – 2,36 mm.	65 – 100	80 – 100	65 – 100	80 – 100
N° 16 – 1,18 mm.	45 – 100	50 – 85	45 – 100	70 – 100
N° 30 – 600 um.	25 – 100	25 – 60	25 – 80	55 – 100
N° 50 – 300 um.	5 – 70	10 – 30	5 – 48	5 – 70
N° 100 – 150 um.	0 – 12	2 – 10	0 – 12	0 – 12

Fuente: NTP 400.037

Agregado Grueso.- Agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N° 4) que cumple los límites establecidos en la NTP 400.037, proveniente de la disgregación natural o artificial de la roca. (NTP 400.011, 2008, p. 04). (Ver tabla 05).

Agregado Global. – “Mezcla de agregado fino y agregado grueso, normalizado por una granulometría”. (NTP 400.011, 2008, p. 04). (Ver tabla 06).

Tabla N° 5. Requisitos Granulométricos del agregado grueso

Tamiz No.	Tamaño en mm.	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA POR EL TAMIZ												
		100 mm.	90 mm.	75 mm.	63 mm.	50 mm.	37.5 mm	25 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm
		5"	3.5"	3"	2.5"	2"	1.5"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16
1	90 a 37.5 mm.	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 15					
2	63 a 37.5 mm.			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15					
3	50 a 25 mm.				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15				
357	50 a 4.75 mm				100	90 a 100		35 a		10 a 30		0 a 15		
4	37.5 a 19 mm.					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 15			
467	37.5 a 4.75 mm.					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 15		
5	25 a 12.5 mm.						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
56	25 a 9.5 mm.						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5		
57	25 a 4.75 mm.						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
6	19 a 9.5 mm.							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	0 a 5	
67	19 a 4.75 mm.							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	0 a 5
7	12.5 a 4.75 mm.								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	0 a 5
8	9.5 a 2.36 mm.									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: NTP 400.037

Tabla N° 6. Requisito Granulométricos del agregado global

AGREGADO GLOBAL			
MALLA (mm.)	PORCENTAJE QUE PASA (MASA)		
	T.M.N. 37,50 (1 1/2")	T.M.N. 19,00 (3/4")	T.M.N. 9,50 (3/8")
50,00 (2")	100	-----	-----
37,50 (1 1/2")	95 a 100	100	-----
19,00 (3/4")	45 a 80	95 a 100	-----
12,50 (1/2")	-----	-----	100
9,50 (3/8")	-----	-----	95 a 100
4,75 (N° 4)	25 a 50	35 a 55	30 a 65
2,36 (N° 8)	-----	-----	20 a 50
1,18 (N° 16)	-----	-----	15 a 40
600 um (N° 30)	8 a 30	10 a 35	10 a 30
300 um (N° 50)	-----	-----	5 a 15
150 um (N° 100)	0 a 8*	0 a 8*	0 a 8*

Fuente: NTP 400.037

Definición de las propiedades de los agregados según la Norma Técnica Peruana:

Granulometría.- La NTP 400.11 (2008) lo define:
Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado. La NTP 400.012 establece el procedimiento para su distribución mediante el tamizado, obteniéndose la masa de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices. Eventualmente se calcula la masa retenida y/o que pasa, también los porcentajes parciales y acumulados. (p. 06).

Tamaño máximo.- “Es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso”. (NTP 400.011, 2008, p. 07).

Tamaño nominal máximo.- “Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido”. (NTP 400.011, 2008, p. 07).

Módulo de finura.- “Factor que se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividido por 100”. (NTP 400.011, 2008, p. 06).

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Acumulados retenidos (1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100}$$

Peso unitario suelto.- “Es el peso de un agregado con sus vacíos en un volumen unitario. El procedimiento de ensayo esta normado por la NTP 400.017 y se determina según la siguiente relación” (Sumari, 2016, p. 12):

$$PUS = \frac{\text{Peso suelto del agregado}}{\text{Volumen unitario}}$$

Peso unitario compactado.- Es el peso de un agregado a un grado de compactación en un volumen unitario. El procedimiento de ensayo esta normado por la NTP 400.017 y se determina según la siguiente relación (Sumari, 2016, p. 12):

$$PUC = \frac{\text{Peso varillado del agregado}}{\text{Volumen unitario}}$$

Peso específico de masa.- Es el cociente de dividir el peso de un agregado entre el volumen del mismo sin considerar los vacíos. El procedimiento de ensayo esta normado por la NTP 400.022. (Sumari, 2016, p 12)

Porcentaje de absorción.- Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El procedimiento de ensayo esta normado por la NTP 400.022 y NTP

400.21 , para el agregado fino y grueso respectivamente; se determina según la expresión. (Sumari, 2016, 12):

$$\% \text{ de absorción} = \frac{\text{Psss} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

- Psss: Peso de la muestra saturado superficialmente seco.
- Peso seco: Peso de la muestra secado al horno.

Contenido de humedad.- Es la cantidad de agua retenida en un momento determinado por las partículas del agregado. El procedimiento de ensayo esta normado por la NTP 339.185; se determina según la expresión. (Sumari, 2016, p. 12):

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{Peso original de la muestra} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

Material más fino que pasa la malla 200.- Porcentaje que determina el material más fino de la muestra en relación a la malla N° 200. El procedimiento de ensayo esta normado por la NTP 400.018; se determina según la expresión. (Sumari, 2016, p. 13)

$$\% \text{ que pasa malla N}^{\circ} 200 = \frac{\text{Peso seco} - \text{Peso despues del lavado}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

Definición sobre el proceso del diseño de mezcla:

Diseño de mezcla.- Laura (2006) sostiene que “es un proceso que consiste de pasos dependientes entre sí: (a) selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos); (b) determinar cantidades relativas ‘proporcionamiento’ para producir un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada” (p. 02). Existe varios métodos de diseño de mezcla, para mencionar los más utilizados: Método ACI, método de Fuller, método de Walker, método de Modulo de Fineza de la Combinación de Agregados.

Método de Fineza de la Combinación de Agregados.- Método desarrollado por el Laboratorio de Concreto de la Universidad de Maryland, este método utiliza el módulo de finura del agregado fino, grueso y global para proporcionar la cantidad de agregado fino y grueso.

Resistencia del concreto (f'c).- El RNE (2009) lo define como la “resistencia a la compresión del concreto empleada en el diseño (...) evaluada en MPa” (p. 29). Este valor numérico se obtiene de los ensayos de compresión axial que reciben probetas cilíndricas de concreto de 6” de diámetro por 12” de altura.

Resistencia promedio (f'cr).- El RNE (2009) lo define como la “resistencia promedio a la compresión del concreto, empleada como base para la dosificación del concreto” (p. 18).

Asentamiento del concreto (Slump).- Ensayo que se realiza al concreto fresco para medir su trabajabilidad y fluidez, la unidad de medida es en pulgadas y se puede clasificar el concreto como: Seco (0” a 2” de asentamiento), Plástica (3” a 4” de asentamiento) y Fluidas (5” a más pulgadas de asentamiento).

Definición sobre el análisis de costo:

Análisis de precios unitarios (APU).- Es el análisis matemático que se realiza a una actividad sobre una unidad de medida determinada con el fin de calcular el precio:

- Cuantifica la cantidad de recursos (mano de obra, material, equipos)
- Determina el rendimiento de trabajo por jornada laboral.

CAPÍTULO 3. DESARROLLO

Presentamos el desarrollo del plan de trabajo de la tesis.

3.1. Desarrollo el Objetivo Específico 1

El desarrollo del siguiente objetivo tiene como misión obtener las características físicas de los agregados convencionales (agregado patrón) y agregado reciclado, luego realizar el diseño de mezcla utilizando el método del módulo de la finura y la combinación de agregados, por último comparar las características del concreto elaborado con agregado patrón y el concreto con agregado reciclado.

3.1.1. Obtención de Agregado:

3.1.1.1. Agregado Patrón

El agregado patrón lo suministro el laboratorio donde se realizaron los ensayos. Se extrajo 617,9 gr de arena gruesa y 33 660 gr de piedra chancada.

3.1.1.2. Agregado de origen Reciclado

El agregado reciclado se obtuvo de la demolición de probetas de concreto suministrados por el laboratorio donde se realizaron los ensayos; se demolió un total de sesenta (60) probetas con una comba. Se obtuvo 722,7 gr de arena gruesa reciclada y 9 632 gr de piedra chancada reciclada.

3.1.2. Granulometría y Modulo de Finura

El agregado fino y agregado grueso tanto patrón y reciclado serán comparados con el uso recomendado por la NTP 400.037 En el caso del agregado grueso, tanto patrón como reciclado, serán comparados con el uso ASTM 57 (TMN 1" a N°4).

3.1.2.1. Agregado Patrón

En la tabla N° 7 y 8 se presentan los resultados de los ensayos de granulometría del agregado fino y grueso respectivamente, además el módulo de finura de ambos.

Tabla N° 7. Granulometría del agregado fino patrón

TAMIZ	PESO RETENIDO (GR)	% RETENIDO	% RET. ACUM.	% QUE PASA ACUMULADO
3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4	17,30	2,80	2,80	97,20
N° 8	85,30	13,80	16,60	83,40
N° 16	138,60	22,43	39,04	60,96
N° 30	145,80	23,60	62,63	37,37
N° 50	131,10	21,22	83,85	16,15
N° 100	76,30	12,35	96,20	3,80
FONDO	23,50	3,80	100,00	0,00
TOTAL	617,90	100,00	MF =	3,01

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8. Granulometría del agregado grueso patrón

TAMIZ	PESO RETENIDO (GR)	% RETENIDO	% RET. ACUM.	% QUE PASA ACUMULADO
6"	0,00	0,00	0,00	100,00
3"	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	3 070,00	9,12	9,12	90,88
1/2"	12 633,00	37,53	46,65	53,35
3/8"	7 259,00	21,57	68,22	31,78
1/4"	8 010,00	23,80	92,01	7,99
N° 4	1 415,00	4,20	96,22	3,78
N° 8	821,00	2,44	98,66	1,34
FONDO	452,00	1,34	100,00	0,00
TOTAL	33 660,00	100,00	MF =	6,72

Fuente: Elaboración propia

3.1.2.2. Agregado Reciclado

En la tabla N° 9 y 10 se presentan los resultados de los ensayos de granulometría del agregado reciclado fino y grueso respectivamente, además el módulo de finura de ambos.

Tabla N° 9. Granulometría del agregado fino reciclado

TAMIZ	PESO RETENIDO (GR)	% RETENIDO	% RET. ACUM.	% QUE PASA ACUMULADO
3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4	67,60	9,35	9,35	90,65
N° 8	224,70	31,09	40,45	59,55
N° 16	159,60	22,08	62,53	37,47
N° 30	109,50	15,15	77,68	22,32
N° 50	67,90	9,40	87,08	12,92
N° 100	40,10	5,55	92,62	7,38
FONDO	53,30	7,38	100,00	0,00
TOTAL	722,70	100,00	MF =	3,70

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 10. Granulometría del agregado grueso reciclado

TAMIZ	PESO RETENIDO (GR)	% RETENIDO	% RET. ACUM.	% QUE PASA ACUMULADO
6"	0,00	0,00	0,00	100,00
3"	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	536,00	5,56	5,56	94,44
3/4"	0,00	0,00	5,56	94,44
1/2"	6 155,00	63,90	69,47	30,53
3/8"	0,00	0,00	69,47	30,53
1/4"	0,00	0,00	69,47	30,53
N° 4	2 510,00	26,06	95,53	4,47
N° 8	281,00	2,92	98,44	1,56
FONDO	150,00	1,56	100,00	0,00
TOTAL	9 632,00	100,00	MF =	6,69

Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Propiedad de los agregados patrón y reciclado

Los ensayos para obtener las propiedades de los agregados se realizaron en el Laboratorio según las normas N.T.P. que corresponde (ver anexo n° 04, 05, 06, 07, 15).

A continuación se presenta un resumen de los resultados de los ensayos en las tablas n° 11 para agregado patrón y 12 para el agregado reciclado.

Tabla N° 11. Propiedad de Agregado Patrón

PROPIEDAD	CODIGO	UND.	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Procedencia		-	Cantera Jicamarca	Cantera Jicamarca
Módulo de finura	MF	-	3,01	6,72
Peso Unitario Suelto	PUS	Kg/m ³	1 499,91	1 387,50
Peso Unitario Compactado	PUC	Kg/m ³	1 767,14	1 621,34
Peso específico de masa	PE	gr/cc	2,68	2,72
Porcentaje de absorción	%ABS	%	1,73	1,01
Contenido de Humedad	%H	%	7,20	0,10
Material más fino que pasa la malla N° 200	M200	%	5,30	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12. Propiedades del Agregado Reciclado

PROPIEDAD	CODIGO	UND.	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Procedencia		-	Geolab M&M	Geolab M&M
Módulo de finura	MF	-	3,70	6,69
Peso Unitario Suelto	PUS	Kg/m ³	1 463,31	1 309,78
Peso Unitario Compactado	PUC	Kg/m ³	1 639,62	1 523,02
Peso específico de masa	PE	gr/cc	2,59	2,65
Porcentaje de absorción	%ABS	%	2,94	1,73
Contenido de Humedad	%H	%	4,15	2,00
Material más fino que pasa la malla N° 200	M200	%	2,60	-

Fuente: Elaboración propia

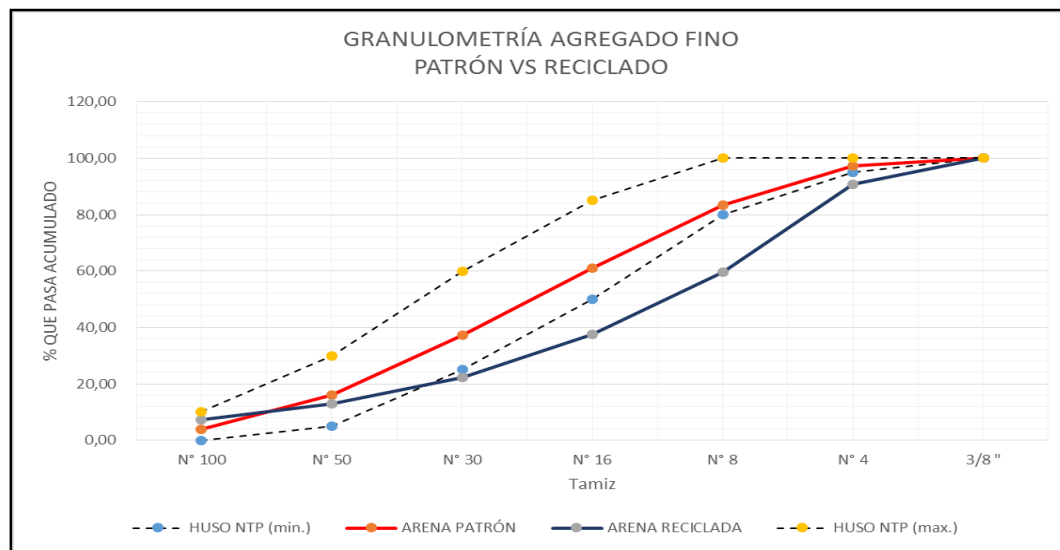
3.1.4. Análisis de los resultados del agregado

3.1.4.1. Granulometría

Agregado fino.- Se observa en la figura n° 10 que la curva de granulometría del agregado fino patrón se encuentra dentro de los límites establecidos por la NTP 400.037, por lo que se cumple con las especificaciones técnicas; mientras que la curva de granulometría del agregado fino reciclado no está cumpliendo con los parámetros indicados en la NTP. La curva granulométrica es tendencia hacia la derecha lo que significa que tiene fracciones más gruesas en especial de las mallas N° 4, N° 8 y N° 16.

Es importante aclarar que la norma indica que se permitirá el uso de los agregados que no cumplan con la gradación indicada, siempre y cuando existan otros estudios calificados que aseguren que el material producirá el concreto de calidad requerido.

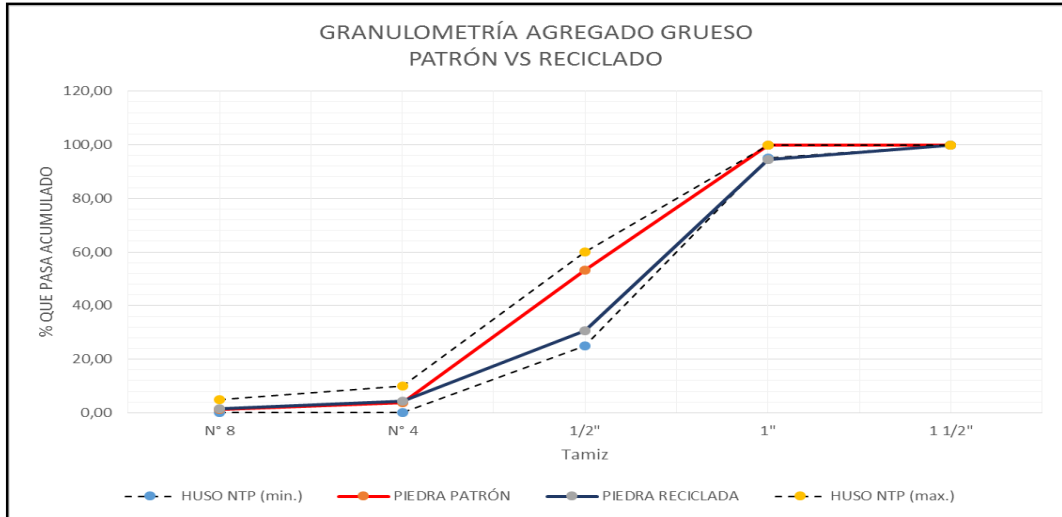
Figura N° 10. Granulometría del agregado fino patrón vs reciclado



Fuente: Elaboración propia

Agregado grueso.- Se observa en la figura n° 11 que el agregado grueso patrón y reciclado se encuentra dentro de los límites establecidos por el huso ASTM N° 57 (1" a N°4) estadounidense, también aprobada por la NTP 400.37, por lo que las propiedades granulométricas del agregado grueso son aptas para el su uso en la preparación de concreto.

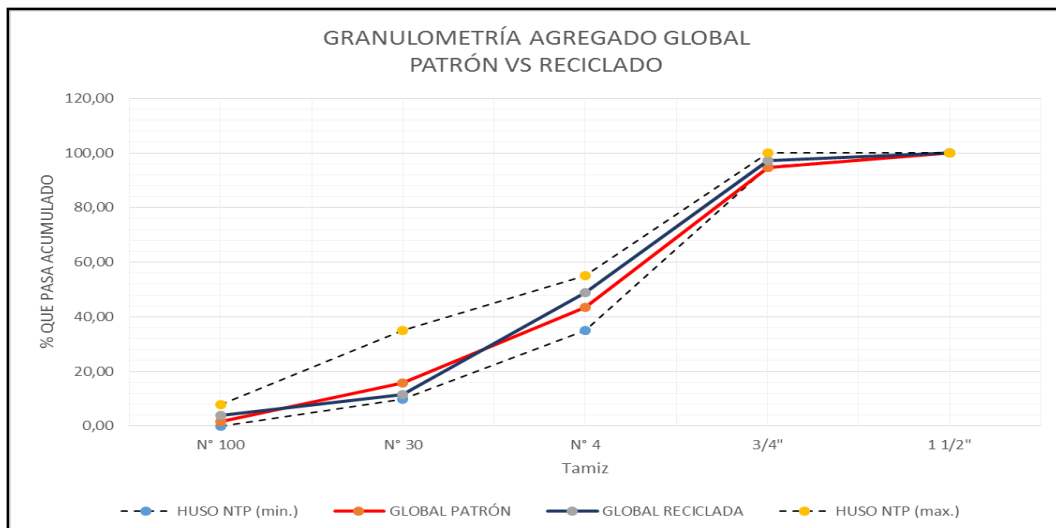
Figura N° 11. Granulometría del agregado grueso patrón vs reciclado



Fuente: Elaboración propia

Agregado global.- Se observa en la figura n° 12 que el agregado global patrón y reciclado se encuentra dentro de los límites establecidos por la NTP (3/4"), por lo que las propiedades granulométricas del agregado grueso son aptas para el su uso en la preparación de concreto.

Figura N° 12. Granulometría del agregado global patrón vs reciclado



Fuente: Elaboración propia

3.1.4.2. Módulo de finura

Agregado fino.- El módulo de finura del agregado fino patrón es 3,01 y del agregado fino reciclado 3,70, el módulo de finura del agregado reciclado es 22,78 % mayor con respecto al módulo de finura del agregado patrón.

Agregado grueso.- El modulo del agregado grueso patrón es 6,72 y del agregado grueso reciclado 6,69, el módulo de finura del agregado reciclado es 0,48 % menor con respecto al módulo de finura del agregado patrón.

La diferencias en el módulo de finura, sobre todo en el módulo de finura del agregado fino, se debe al proceso de trituración manual que se aplicó a las probetas de concreto, esto tuvo como consecuencia partículas gruesas en el agregado reciclado fino.

3.1.4.3. Peso unitario suelto

Agregado fino.- El peso unitario suelto del agregado fino patrón es 1 499,91 kg/cm² y del agregado fino reciclado 1 463,31 kg/cm², el peso unitario suelto del agregado reciclado es 2,44 % menor en comparación con el peso unitario suelto del agregado patrón.

Agregado grueso.- El peso unitario suelto del agregado grueso patrón es 1 387,50 kg/cm² y del agregado grueso reciclado 1 309,78 kg/cm², el peso unitario suelto del agregado reciclado es 5,60 % menor en comparación con el peso unitario suelto del agregado patrón.

La leve diferencia entre cada tipo de agregado se debe a las partículas de mortero sueltas o adheridas al agregado original contenidas en el agregado reciclado, estas partículas tienen menor densidad.

3.1.4.4. Peso unitario compactado

Agregado fino.- El peso unitario compactado del agregado fino patrón es 1 767,14 kg/cm² y del agregado fino reciclado 1 639,62 kg/cm², el peso unitario compactado del agregado reciclado es 7,22 % menor en comparación con el peso unitario compactado del agregado patrón.

Agregado grueso.- El peso unitario compactado del agregado grueso patrón es 1 621,34 kg/cm² y del agregado grueso reciclado 1 523,02 kg/cm², el peso unitario compactado del agregado reciclado es 6,06 % menor en comparación con el peso unitario compactado del agregado patrón.

La leve diferencia entre cada tipo de agregado se debe a las partículas de mortero sueltas o adheridas al agregado original contenidas en el agregado reciclado, estas partículas tienen menor densidad.

3.1.4.5. Peso específico de masa

Agregado fino.- El peso específico de masa del agregado fino patrón es 2,68 gr/cc y del agregado fino reciclado 2,59 gr/cc, el peso específico de masa del agregado reciclado es 3,40 % menor en comparación con el peso específico de masa del agregado patrón.

Agregado grueso.- El peso específico de masa del agregado grueso patrón es 2,72 gr/cc y del agregado fino reciclado 2,65 gr/cc, el peso específico de masa del agregado reciclado es 2,50 % menor en comparación con el peso específico de masa del agregado patrón.

La leve diferencia entre cada tipo de agregado se debe a las partículas de mortero sueltas o adheridas al agregado original contenidas en el agregado reciclado, estas partículas tienen menor densidad.

3.1.4.6. Absorción

Agregado fino.- El porcentaje de absorción del agregado fino patrón es 1,73 % y del agregado fino reciclado 2,94 %, la absorción del agregado reciclado es 70,24 % mayor en comparación con la absorción del agregado patrón.

Agregado grueso.- El porcentaje de absorción del agregado grueso patrón es 1,01 % y del agregado fino reciclado 1,73 %, la absorción del agregado reciclado es 71,18 % mayor en comparación con la absorción del agregado patrón.

La diferencia en valores de porcentaje de absorción entre cada tipo de agregado es más resaltante con respecto a otras propiedades, esto debido a las partículas de mortero en la composición del agregado reciclado que se caracteriza por ser materiales porosos y por ende más absorbentes.

32. Desarrollo el Objetivo Específico 2

El desarrollo del objetivo específico dos tiene como misión comparar las características de los concretos elaborados con el agregado patrón y el agregado reciclado, partiendo desde el diseño de la mezcla hasta los ensayos al concreto endurecido.

3.2.1. Diseño de mezcla

El método que utilizaremos para el diseño de mezcla será el Método de Fineza de la Combinación de Agregados. Se diseña un concreto de resistencia f'c 210 kg/cm², de consistencia plástica (Slump: 4"). La estimación de la cantidad de agua, cemento y selección de su proporción agua - cemento (a/c) será establecido por la norma ACI 211.1 (ver anexo n° 08) y serán los mismos tanto para el concreto patrón como para el concreto reciclado (ver anexo n° 09). El hito en el proceso del diseño mezcla que diferencia al concreto patrón del concreto reciclado será: (a) la proporción de agregado fino y agregado grueso que depende del módulo de finura (ver anexo n° 10). (b) La cantidad de agua para la mezcla que varía según el porcentaje de humedad y absorción del agregado patrón y reciclado (ver anexo n° 11).

Tabla N° 13. Dosificación del Concreto de resistencia f'c 210 kg/cm²

INSUMO	UND.	f'c 210 kg/cm ² AGREGADO PATRON	f'c 210 kg/cm ² AGREGADO RECICLADO
Cemento	bls	8,43	8,43
Arena Gruesa	m ³	0,54	0,64
Piedra Chancada	m ³	0,75	0,67
Agua	m ³	0,17	0,19

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Análisis de los resultados del diseño de mezcla

3.2.2.1. Cemento

La cantidad de cemento por metro cubico de concreto se mantiene tanto para el concreto patrón como para el concreto reciclado, esto se debe a que la cantidad de cemento está en función

a la relación agua / cemento y la cantidad inicial de agua estimada, cuyo valores son igual para ambos concretos.

3.2.2.2. Agregado

Agregado fino.- La cantidad de agregado fino en el concreto patrón es 0,54 m³ y en el concreto reciclado es de 0,64 m³, la cantidad de agregado fino en el concreto reciclado es 16,85 % mayor en comparación a la cantidad de agregado fino en el concreto patrón.

Agregado grueso.- La cantidad de agregado grueso en el concreto patrón es 0,75 m³ y en el concreto reciclado es de 0,67 m³, la cantidad de agregado grueso en el concreto reciclado es 11,46 % menor en comparación a la cantidad de agregado grueso en el concreto patrón.

El aumento y reducción de cantidad en el agregado fino y grueso respectivamente se debe en la variación de la proporción del agregado:

- Concreto patrón, el agregado fino 42,52 % y el agregado grueso 57,48 %.
- Concreto reciclado, el agregado fino 51,64 % y el agregado grueso 48,36 %.

Esta variación se debe la diferencia del módulo de finura en los agregados, sobre todo el módulo de finura del agregado fino que cambia de 3,01 en el agregado patrón a 3,70 en el agregado reciclado (Revisar ítem 3.1.4.2.).

3.2.2.3. Agua

La cantidad de agua en el concreto patrón es 0,17 m³ y en el concreto reciclado es de 0,19 m³, la cantidad de agua en el concreto reciclado es 11,33 % mayor en comparación a la cantidad de agua en el concreto patrón. Este incremento se debe principalmente a la compensación de agua que se realiza por el porcentaje de absorción elevado del agregado reciclado en comparación al agregado patrón (Revisar ítem 3.1.4.6).

3.2.3. Ensayos a realizar

El mezclado se realizó según lo indica la dosificación del diseño de mezcla. La mezcla del concreto patrón presento una buena trabajabilidad con un slump de 4.5", la mezcla del concreto reciclado también presento una buena trabajabilidad con un slump también de 4.5", pero se observó que la mezcla del concreto reciclado presentaba muchos grumos teniendo dificultad en realizar las muestras de concreto, por la que se adiciono 0,02 m³ de agua por metro cubico de concreto. La

temperatura del concreto fresco en un ambiente 20,05 °C era de 26,01 °C para el concreto patrón y 24,5 °C para el concreto reciclado.

Los moldes para las probetas de concreto tienen como medida 6" de diámetro y 12" de longitud. Se les realizaron los ensayos de compresión axial a los 3 y 7 días (ver anexo n° 13).

Tabla N° 14. Resistencia del concreto en el tiempo

DIA	% f'c	ESTIMADO	PATRÓN	RECICLADO
0	0%	0,00	0,00	0,00
3	40%	84,00	93,80	81,39
7	65%	136,50	169,77	168,41

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Análisis de los resultados del concreto

En el día 03 el concreto patrón tiene una resistencia de 93,80 kg/cm² que en comparación con la resistencia esperada (84,00 kg/cm²) está un 11,66 % por encima, el concreto reciclado tiene una resistencia de 81,39 kg/cm² que en comparación con la resistencia esperada está un 3,11 % por debajo. Si comparamos el concreto patrón versus el concreto reciclado, da como resultado que el concreto reciclado alcanza una resistencia 13,23 % menor en comparación con el concreto patrón.

En el día 07 el concreto patrón tiene una resistencia de 169,77 kg/cm² que en comparación con la resistencia esperada (136,50 kg/cm²) está un 24,37 % por encima, el concreto reciclado tiene una resistencia de 168,41 kg/cm² que en comparación con lo estimado está un 23,38 % por encima. Si comparamos el concreto patrón versus el concreto reciclado, da como resultado que el concreto reciclado alcanza una resistencia 0,80 % menor en comparación con el concreto patrón.

A pesar de que ambos tipos de concreto llegaron a alcanzar la resistencia para la cual fueron diseñados, se puede notar una diferencia de resistencia que va disminuyendo con el pasar del tiempo. La resistencia del concreto reciclado está por debajo del concreto patrón y esto se debe a la mala calidad del agregado reciclado por su alto grado de porosidad.

3.3. Desarrollo el Objetivo Específico 3

El desarrollo del objetivo específico tres tiene como misión la de comparar el costo de elaboración de un concreto teniendo en cuenta la proporción de materiales especificados en el diseño de mezcla.

3.3.1. Costo de insumos

Para el análisis económico solo se tomara en cuenta en el comparativo de los insumos o materiales componentes del concreto, no tomaremos el costo de la mano de obra ni en el costo de maquinarias y/o equipos ya que estos son costos fijos para nuestro análisis.

En el conjunto de insumos necesarios para el análisis tenemos el cemento y el agua que mantendrán el mismo precio tanto para el análisis de precio unitario del concreto patrón y del concreto reciclado.

Tabla N° 15. Costo del cemento y agua

RECURSO	UND.	COSTO (S/.)	FUENTE
CEMENTO PORTLAND TIPO I	bls	17,67	Revista Costos - Julio 2018
AGUA	m3	5,21	Tarifa SEDAPAL

Fuente: Elaboración propio

El costo del agregado patrón es variable dependiendo de la cantidad de volumen a comprar y de la distancia de la cantera al punto de distribución y/o a la obra. Para el análisis usaremos el precio de volúmenes mayores a 10 m³ y de canteras autorizadas.

Tabla N° 16. Costo de agregado patrón

RECURSO	UND.	COSTO (S/.)	FUENTE
AGREGADO FINO PATRÓN	m3	38,00	Comercializadora Rumiwasi
AGREGADO GRUESO PATRÓN	m3	42,00	Comercializadora Rumiwasi

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el costo agregado reciclado se tiene en cuenta antecedentes de otras investigaciones sobre el costo del material en cuestión. Bedoya y Dzul (2015) indica “que el agregado reciclado presenta el 65 % del costo del agregado natural” (p. 08) mientras que Ospina, Moreno y Rodríguez (2017) sostiene que “que los precios del agregado de concreto reciclado frente al agregado de concreto natural denota un ahorro del 25,2%; esto se debe a que los costos de producción del agregado natural vinculan la utilidad que se espera obtener al explotar cualquier terreno y los costos de trámites y licencias de explotación” (p. 45). Por último Silva (2017) precisa que “debido a que al ser un producto sustituto dentro de un mercado con gran oferta de agregados tradicionales entraría con el mismo precio fijado por el mercado” (p. 22). Se obtuvo una cotización del agregado fino reciclado comercializado por la empresa CICLO de 30,00 soles por metro cúbico (ver anexo n° 14) que en comparación con la cotización del agregado patrón (ver tabla n° 17) esta 21,05 % menor en costo.

Se aprecia que en el mejor de los casos el agregado reciclado será un 35,00 % en menor costo que el agregado convencional y en el peor de los casos tendría que tener el mismo costo, como dato intermedio el costo de agregado reciclado debería estar entre un 21 a 25 % en menor costo que el agregado patrón. Para los casos mostrados en los antecedentes se demuestra que el agregado reciclado puede tener menor o igual costo que un agregado convencional, se descarta la idea que el agregado reciclado pueda costar más que el agregado convencional. Para efecto de análisis se tomara en cuenta una diferencia de 21, %.

Tabla N° 17. Costo del agregado reciclado según análisis

RECURSO	UND.	COSTO (S/.)	FUENTE
AGREGADO FINO RECICLADO	m ³	30,02	Análisis de la tesis
AGREGADO GRUESO RECICLADO	m ³	33,18	Análisis de la tesis

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Análisis de precios unitarios

Se realiza los análisis de precios unitarios teniendo en cuenta la dosificación calculada del concreto (ver subtítulo 3.2.1.) y los costos de los insumos (ver subtítulo 3.3.1.).

Figura N° 13. Análisis de precio unitario del concreto patrón

Partida	01.01.01 CONCRETO F'c 210 KG/CM2 (AGREGADO PATRÓN)						
	Rend. MO: 0,00	Rend. EQ: 0,00	Unidad:	m3	Total (S/.):	202,04	
Codigo	Descripcion	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	
Materiales						202,04	
MAT0001	AGREGADO FINO PATRÓN	m3		0,5435	38,00	20,65	
MAT0002	AGREGADO GRUESO PATRÓN	m3		0,7524	42,00	31,60	
MAT0005	CEMENTO PORTLAND TIPO I (BLS: 42.	bls		8,4274	17,67	148,91	
MAT0009	AGUA	m3		0,1679	5,21	0,87	

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 14. Análisis de precio unitario del concreto reciclado

Partida	01.01.01 CONCRETO F'c 210 KG/CM2 (AGREGADO RECICLADO)						
	Rend. MO: 0,00	Rend. EQ: 0,00	Unidad:	m3	Total (S/.):	191,06	
Codigo	Descripcion	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	
Materiales						191,06	
MAT0003	AGREGADO FINO RECICLADO	m3		0,6351	30,02	19,07	
MAT0004	AGREGADO GRUESO RECICLADO	m3		0,6662	33,18	22,10	
MAT0005	CEMENTO PORTLAND TIPO I (BLS: 42.	bls		8,4274	17,67	148,91	
MAT0009	AGUA	m3		0,1869	5,21	0,97	

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Análisis de los resultados de los ensayos

Se determinó para esta investigación que el costo del agregado reciclado es 21 % de menor costo que el agregado patrón. Esta diferencia es consecuencia de varios factores que pueden ser materia de una investigación aparte, pero básicamente estos factores serían: el ahorro en costo por las licencias de explotación, el valor ganado por el acopio de los RSCD que a la vez son materia prima, el subsidio por parte del gobierno o de otros organismos como ocurre en otros países.

El costo por materiales del concreto f'c 210 kg/cm² elaborado con agregado patrón es de S/. 202,04 y del concreto elaborado con agregado reciclado es de S/. 191,06, el costo del concreto reciclado es 5,44 % menor en comparación con concreto patrón. Esto se debe principalmente al menor costo del agregado reciclado.

A pesar de que la investigación se centra en el concreto de resistencia f'c 210 kg/cm² se realizó los cálculos para un diseño de mezcla y costeo de elaboración de concreto de resistencias 175, 245, 350 kg/cm² donde se nota que la diferencia en costo disminuye en función al aumento de la resistencia (ver tabla n°. 18). Se nota la diferencia de precio entre ambos tipos de concreto siendo favorable al concreto reciclado, llegara a un punto en la que el concreto reciclado y patrón tendrán precios similares pero ya para concretos cuya resistencias no son comerciables.

Tabla N° 18. Costo de concretos de otras resistencias

CONCRETO	PATRON	RECICLADO	DIF.
175	100,00 %	93,95 %	6,05 %
210	100,00 %	94,56 %	5,44 %
245	100,00 %	95,29 %	4,71 %
350	100,00 %	95,51 %	4,49 %

Fuente: Elaboración propio

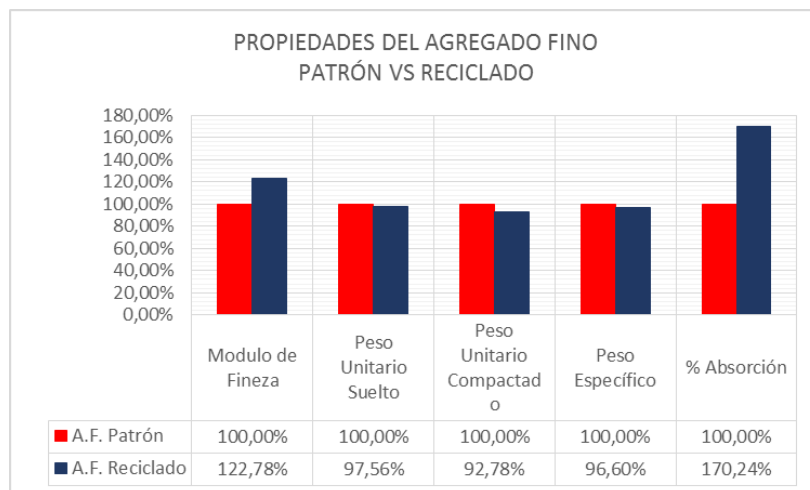
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Resultados del Objetivo Especifico 1

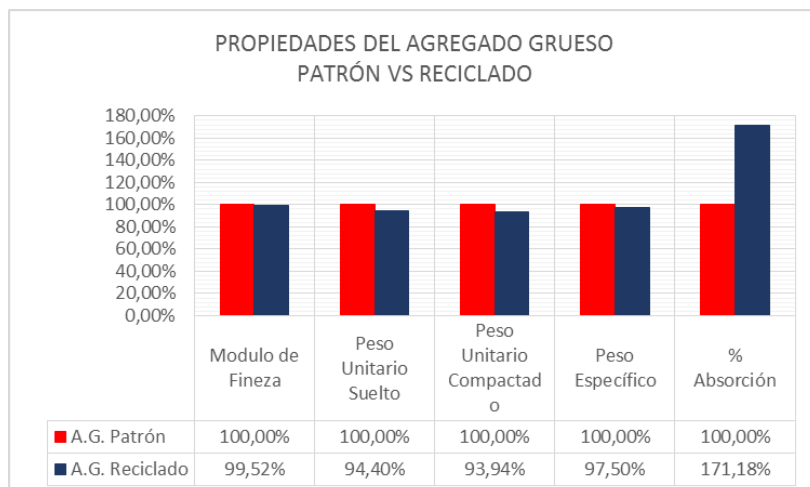
Después de haber realizados los ensayos al agregado patrón y al agregado reciclado en laboratorio, comparamos los resultados.

Figura N° 15. Comparación de las propiedades del agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 16. Comparación de las propiedades del agregado grueso

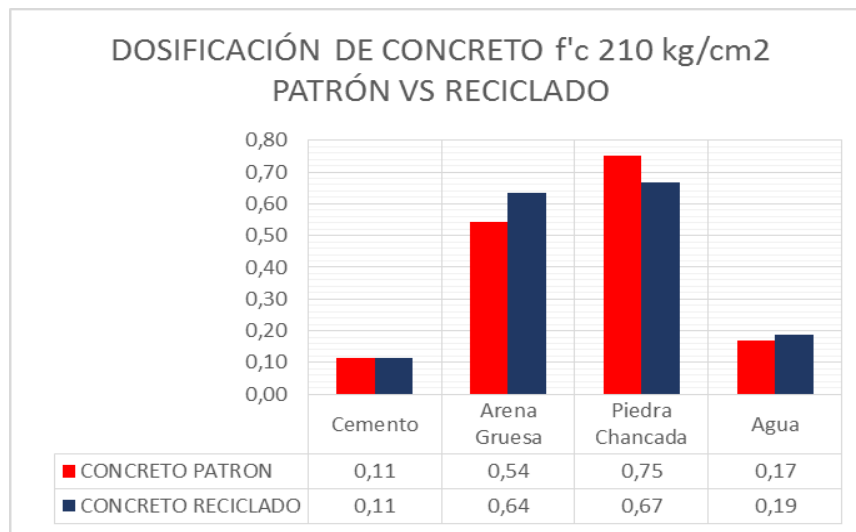


Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Resultados del Objetivo Especifico 2

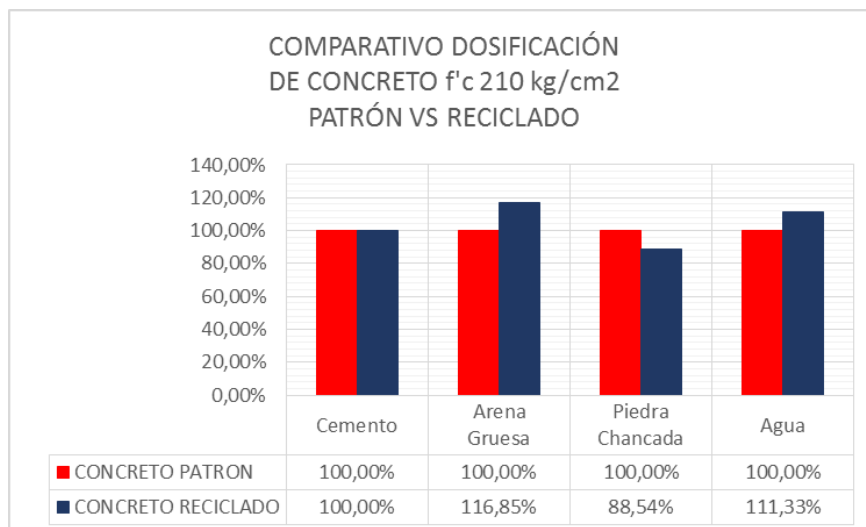
Con las propiedades de los dos tipos de agregado se realiza el diseño de mezcla para un concreto de resistencia f'c 210 kg/cm².

Figura N° 17. Comparación dosificación del concreto f'c 210 kg/cm²



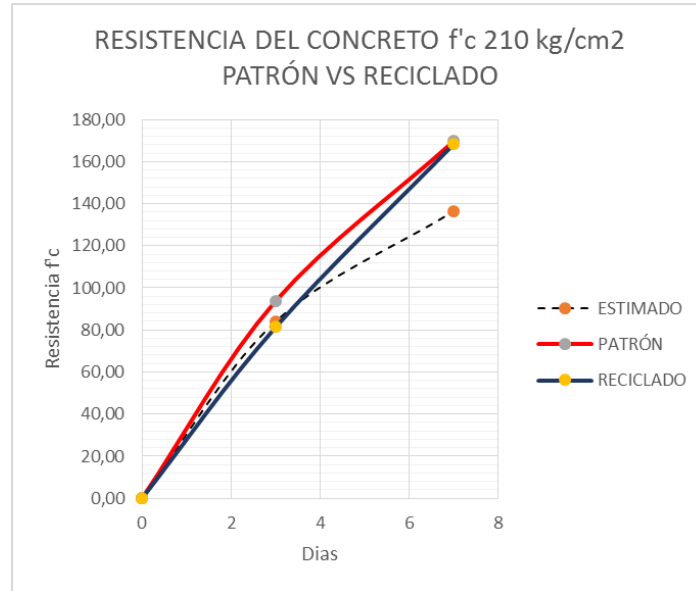
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 18. Comparación de dosificación en porcentaje



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 19. Comparación resistencia del concreto f'c 210 kg/cm2

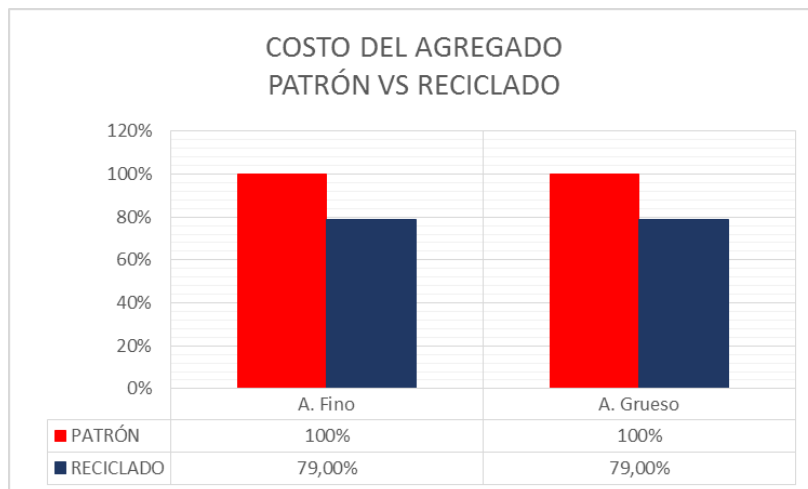


Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Resultados del Objetivo Especifico 3

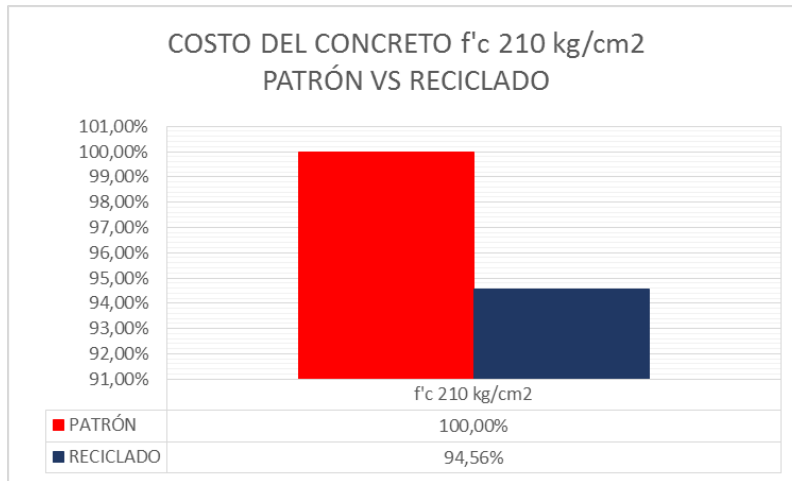
Con la dosificación de la mezcla de concreto f'c 210 kg/cm2 se realiza un análisis del costo unitario por m3 del concreto elaborado con el agregado patrón y el concreto elaborado con agregado reciclado.

Figura N° 20. Comparación costo del agregado



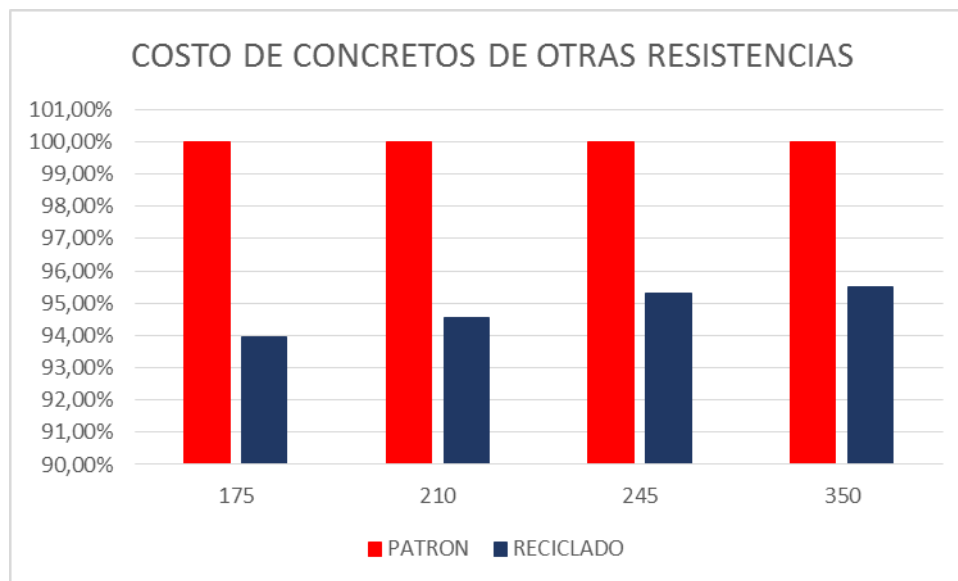
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 21. Comparación del costo del concreto



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 22. Comparación de costo de otros concretos



Fuente: Elaboración propia

42. CONCLUSIONES

Con respecto al objetivo específico 01 sobre las características del agregado se concluye lo siguiente:

1. El peso del agregado reciclado es menor que la del agregado patrón, en este caso 5 % menor. Esta diferencia puede variar según la cantidad de partículas de mortero, sueltas o adheridas al agregado, estas partículas tienen una baja densidad.
2. El agregado reciclado tiene un porcentaje de absorción mayor al de un agregado patrón, en este caso 71 % más. Esta diferencia puede variar, al igual que en punto uno, según la cantidad de partículas de mortero en su contenido, estas partículas son porosas.
3. El agregado reciclado es menos denso, más absorbente y no es homogéneo, estas características lo clasifican como un agregado de baja calidad para elaborar concretos siendo esta su principal desventaja.

Con respecto al objetivo específico 02 sobre las características del concreto se concluye lo siguiente:

4. La dosificación del concreto reciclado tiene mayor volumen de agregado fino en comparación al concreto patrón. Esto se debe a la proporción de agregado fino y grueso que está en función al módulo de finura.
5. El concreto reciclado consume mayor agua en su dosificación, en este caso 11 % más que el concreto patrón. Este consumo adicional de agua puede variar dependiendo del porcentaje de absorción (ver punto 2 de conclusiones) y el porcentaje de humedad del agregado reciclado.
6. El concreto reciclado alcanza la resistencia de para la cual fue diseño, no obstante el concreto reciclado tiene una menor resistencia que el concreto patrón, a pesar de que ambos fueron diseñados para alcanzar la misma resistencia, esto se debe a la baja calidad del agregado reciclado. Los resultados de esta investigación indican una diferencia en promedio del 7 % menor en comparación con la resistencia del concreto patrón.

Con respecto al objetivo específico 03 sobre el análisis económico del concreto se concluye lo siguiente:

7. Se determinó que el agregado reciclado puede tener menor (21 a 35 % menos) o igual costo que el agregado convencional.
8. El concreto elaborado con agregado reciclado es de menor costo que el concreto patrón, en este caso 5 % menos (considerando un agregado 21 % de menor costo). La diferencia se da principalmente por menor costo del agregado.

Conociendo todas las conclusiones determinamos:

9. Si se analiza las propiedades del agregado reciclado, aun siendo un agregado de baja calidad, y se dosifica correctamente puede ser utilizado para la elaboración de concreto y llegar a los esfuerzos esperados; sumado el bajo costo del agregado reciclado y lo beneficioso que sería su uso para el medio ambiente, se puede concluir su viabilidad en el aspecto técnico, económico y ambiental.
10. Para redondear la idea de la conclusión final cito un estudio de factibilidad para instalar un planta de tratamiento de RSCD realizado por Silva A. (2017) que indica lo siguiente:

Existe de una oportunidad de negocio nueva en el Perú, basada en el reciclaje de residuos de la construcción para su conversión en agregado de concreto. Entre los factores macro y micro que respaldan el proyecto destacan el permanente desarrollo de la industria de la construcción (...) y el creciente respaldo de las regulaciones políticas y gubernamentales para mitigar el impacto de la creciente contaminación y escasez de vertederos autorizados. Esto reforzado además por el carácter pionero del producto y el interés creciente de las empresas del rubro por las prácticas constructoras sostenibles, representa un escenario óptimo para el proyecto (p. 105).

4.3. RECOMENDACIONES

Recomendaciones para la utilización del agregado reciclado:

1. Evitar realizar la trituración manual del concreto para fabricar agregado reciclado, esta acción genera partículas no homogéneas en tamaño obteniendo partículas gruesas en el agregado fino.
2. Por ser un agregado de baja calidad con características variables se necesita conocer sus propiedades y realizar una correcta dosificación, por tal motivo evitar utilizar el concreto reciclado en elementos estructurales sin no se tiene el asesoramiento técnico calificado. Esta restricción es una desventaja para propagar su uso.
3. En la actualidad el uso del agregado reciclado es recomendado para la fabricación de elementos prefabricados, hoy en Lima existen empresas que utilizan los residuos de concreto para elaborar ladrillos, bloques, adoquines, postes de concreto, etc.
4. En el caso se utilice concreto reciclado para alcanzar altas resistencias, se recomienda que la composición de agregado no sea en su totalidad de origen reciclado, sino también este compuesto por agregado natural y la utilización de algún aditivo que mejore sus propiedades.

Se recomienda continuar los siguientes temas de investigación:

5. Concreto reciclado utilizando equipos mecánicos para la trituración.
6. Concreto reciclado utilizando aditivos que me permitan tener mejores propiedades.
7. Concreto reciclados combinando agregados reciclados con agregado naturales.
8. Estudio económico que determine el costo real del agregado reciclado.

REFERENCIAS

- Bedolla, C. y Dzul, L. (2015) El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana. En *Revista Ingeniería de construcción*, 30 (2) pp. 1-12. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732015000200002
- Buck, A. D. (1977) Recycled Concrete as a Source of Aggregate. En *Journal Proceedings – ACI*, 74 (5) pp. 212-219. Recuperado de <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/11004>.
- Concreto en obra: Un mercado cada vez más sólido. (22 de junio 2016). *Perú Construye*, pp. 77-83.
- Domínguez Lepe, J. A. y Martínez, L. E. (2007) Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas. En *Revista Ingeniería*, 11 (3). Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46711305>.
- Frondistou-Yannas, S. (1977) Waste Concrete as Aggregate for New Concrete En *Journal Proceedings – ACI*, 74 (8) pp. 373-376. Recuperado de <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/11019>
- Fundación ENT (2016). *Metodología para la gestión ambiental de RCD en ciudades de América Latina*. Barcelona: FENT.
- Laura H., S. (2006). *Diseño de mezclas de concreto*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- León, J. P. (26 de agosto de 2017). *En Lima se generan 19 mil toneladas de desmonte al día y el 70% va al mar o ríos*. *El Comercio*, Lima. Recuperado de <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/lima-generan-19-mil-toneladas-desmonte-dia-70-mar-rios-noticia-453274>
- Lopez, C. (2018). *Capitulo II: Generación de gravas recicladas*. México DF: Universidad Nacional Autónoma de México

Martínez-Molina, W., Torres, A. A., Alonso-Guzmán, E. M., Chávez-García, H. L., Hernández-Barrios, H., Lara-Gómez, C., Martínez-Alonso, W., Pérez-Quiroz, J. T., Bedolla-Arrollo, J. A., González-Valdéz, F. M. (2015). Concreto Reciclado: Una revisión. En Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, 5 (3) pp. 235-248. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427643087006>

Martínez-Soto, I. E. y Mendoza-Escobedo, C.J. (2006) Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. En *Revista Ingeniería, investigación y tecnología*, 7 (3). Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432006000300002

Ministerio del Ambiente (2016). Guía Informativa: Manejo de residuos de construcción y demolición en obras menores .Lima: MINAM

Muñoz Ibáñez, J. (1975). *Utilización de desechos de concreto como agregado grueso*. (Tesis Título Profesional). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Ospina G., M., Moreno A. L. y Andrea R., K. (2017). Análisis técnico-económico del uso de concreto reciclado y el concreto convencional en Colombia. En *Revista Actas de Ingeniería*, 3 (1) pp. 36-47. Recuperado <http://fundacioniai.org/actas/Actas3/Actas3.4.pdf>

Perez Benedicto, J. (2011). Estudio experimental sobre propiedades mecánicas del hormigón reciclado con áridos procedentes de la no calidad en prefabricación. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España.

Perú. Congreso de la Republica (2017). *Decreto Legislativo Ley N° 1278: Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos Recuperado* de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Decreto-Legislativo-N%C2%B0-1278.pdf>

Perú. Instituto Nacional de Calidad (2018) *Norma Técnica Peruana 339.185:2013 AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. 2ª Edición.

Perú. Instituto Nacional de Calidad (2016) *Norma Técnica Peruana 400.017.2011 AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o*

densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. 3a. Edición (Basada ASTM C 29/C29M-2009).

Perú. Instituto Nacional de Calidad (2016) *Norma Técnica Peruana 400.018.2013 AGREGADOS*: Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 µm (N° 200) por lavado en agregados.

Perú. Instituto Nacional de Calidad (2018) *Norma Técnica Peruana 400.021.2013 AGREGADOS*: Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. 3a Edición.

Perú. Instituto Nacional de Calidad (2018) *Norma Técnica Peruana 400.022.2013 AGREGADOS*: Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. 3a Edición.

Perú. Instituto Nacional de Calidad (2016) *Norma Técnica Peruana 400.041.2011 AGREGADOS*: Índice de espesor del agregado.

Perú. Instituto Nacional de Calidad (2017) *Norma Técnica Peruana 400.050.2017 MANEJO DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCION*: Manejo de residuos de la actividad de la construcción y demolición. Generalidades. 2ª Edición.

Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016). *Decreto Supremo N° 019-2016-VIVIENDA*: Decreto Supremo que modifica el Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de la Construcción y Demolición, aprobado por Decreto Supremo N° 003-2013-VIVIENDA. Recuperado de <http://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-modifica-reglamento-gestion-manejo-residuos-las>

Ponce Portocarrero, C. (2014). Estudio del concreto reciclado de mediana a baja resistencia, utilizando cemento portland tipo I. (Tesis Título Profesional). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

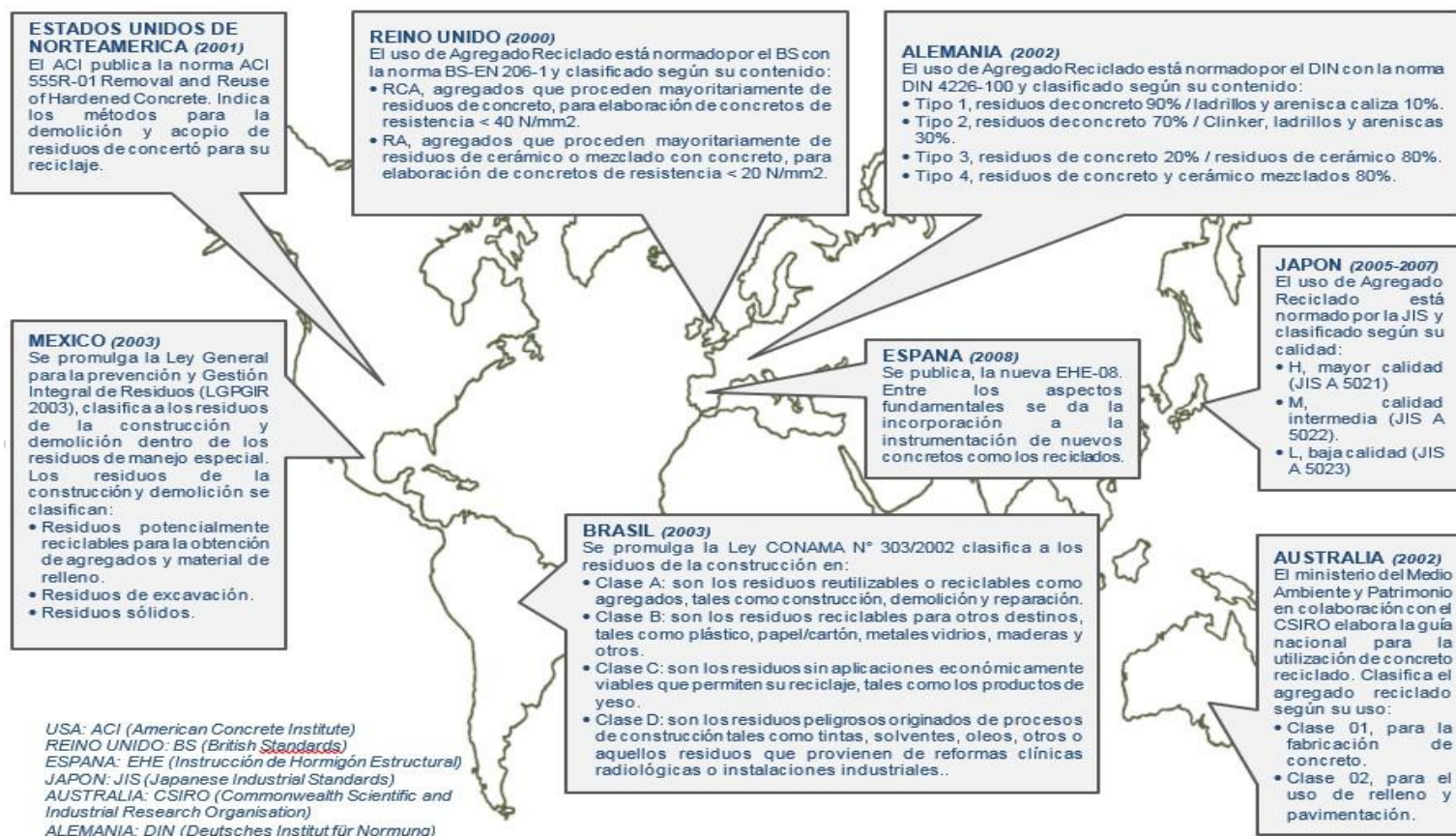
Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente y Asociación Internacional de Residuos Sólidos (2013). *Perspectiva mundial de la gestión de residuos*. Osaka: UNEP.

- Sáez, A. y Urdaneta, J. (2014) Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. En *Revista Omnia*, 20 (3) pp. 121-135. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/737/73737091009/>
- Silva Arriola, C. (2017). *Estudio de pre factibilidad para la instalación de una planta de tratamiento y transformación de residuos de construcción en agregado de concreto*. (Tesis Título Profesional). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Silva, L. (15 de agosto de 2014). *Canteras Informales e ilegales inician mafia de construcción*. El Comercio, Lima. Recuperado de <https://elcomercio.pe/lima/canteras-informales-e-ilegales-inician-mafia-construccion-352711>
- Sumari Ramos, J. (2016). *Estudio del concreto de mediana a alta resistencia elaborado con residuos de concreto y cemento portland tipo I*. (Tesis Título Profesional). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- The World Bank & Urban Development and Local Government (2012). *What a waste a global review of solid waste management*. Washington, DC: WB.
- Tam, V. W., Wang, K. y Tam, C. M. (2008) Assessing relationships among properties of demolished concrete, recycled aggregate and recycled aggregate concrete using regression analysis. En *Journal of Hazardous Materials*, 152 (2) pp. 703-714. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/737/73737091009/>

ANEXOS

Anexo n. ° 1. Normativa Internacional sobre residuos de la construcción	60
Anexo n. ° 2. Clasificación de países por regiones	61
Anexo n. ° 3. Etapas de la construcción	64
Anexo n. ° 4. Peso unitario del agregado fino	65
Anexo n. ° 5. Peso unitario del agregado grueso	66
Anexo n. ° 6. Peso específico del agregado fino	67
Anexo n. ° 7. Peso específico del agregado grueso.....	68
Anexo n. ° 8. Consideraciones para el diseño de mezcla	69
Anexo n. ° 9. Diseño de Mezcla – Primera Etapa.....	70
Anexo n. ° 10. Diseño de Mezcla – Segunda Etapa.....	71
Anexo n. ° 11. Diseño de Mezcla – Tercera Etapa.....	72
Anexo n. ° 12. Diseño de Mezcla – Cuarta Etapa	73
Anexo n. ° 13. Rotura de Probetas	74
Anexo n. ° 14. Cotización de agregado reciclado	75
Anexo n. ° 15. Panel Fotográfico	76
Anexo n. ° 16. Informe de Ensayos GEOLAB M&M.....	79

Anexo n.º 1. Normativa Internacional sobre residuos de la construcción



Fuente: Cesar Ponce (2014), diseño: elaboración propia

Anexo n.º 2. Clasificación de países por regiones

África (AFR)	Asia Oriental y el Pacífico (EOC)	Asia Oriental y Central (AOC)	América Latina y el Caribe (ALC)	Medio Oriente y África del Norte (MOAN)	Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCED)	Asia del Sur (AS)
Angola	Brunéi	Albania	Antigua y Barbuda	Argelia	Andorra	Bangladés
Benín	Camboya	Armenia	Argentina	Baréin	Australia	Bután
Botswana	China	Bielorrusia	Bahamas	Egipto	Austria	India
Burkina Faso	Fiji	Bulgaria	Barbados	Irán	Belgica	Maldivas
Burundi	Hong Kong	Croacia	Bélice	Iraq	Canada	Nepal
Camerun	Indonesia	Chipre	Bolivia	Israel	Rep. Checa	Pakistan
Cabo Verde	Laos	Estonia	Brasil	Jordania	Dinamarca	Sri Lanka
Rep. Africa Central	Macao, China	Georgia	Chile	Kuwait	Finlandia	
Chad	Malasia	Letonia	Colombia	Líbano	Francia	
Rep. Democrática del Congo	Islas Marshall	Lituania	Costa Rica	Malta	Alemania	
Rep. del Congo	Mongolia	Macedonia	Cuba	Marruecos	Grecia	
Costa de Marfil	Birmania	Polonia	Dominica	Omán	Hungría	
Eritrea	Filipinas	Rumania	Rep. Dominicana	Catar	Islandia	
Etiopía	Singapur	Rusia	Ecuador	Arabia Saudita	Irlanda	
Gabón	Islas Salomón	Serbia	El Salvador	Siria	Italia	
Gambia	Tailandia	Eslovenia	Granada	Túnez	Japon	
Ghana	Tonga	Tayikistán	Guatemala	Emiratos Árabes Unidos	Corea del Sur	

África (AFR)	Asia Oriental y el Pacífico (EOC)	Asia Oriental y Central (AOC)	América Latina y el Caribe (ALC)	Medio Oriente y África del Norte (MOAN)	Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCED)	Asia del Sur (AS)
Guinea	Vanuatu	Turquía	Guyana	Territorios Palestinos	Luxemburgo	
Kenia	Vietnam	Turkmenistán	Haití		Monaco	
Lesoto			Honduras		Holanda	
Liberia			Jamaica		Nueva Zelanda	
Madagascar			Mexico		Noruega	
Malawi			Nicaragua		Portugal	
Malí			Panamá		Eslovaquia	
Mauritania			Paraguay		España	
Mauricio			Perú		Suecia	
Mozambique			San Cristobal y Nieves		Suiza	
Namibia			Santa Lucía		Reino Unido	
Niger			San Vicente y las Granadinas		Estados Unidos de Norteamérica	
Nigeria			Surinam			
Ruanda			Trinidad y Tobago			
Sao Tomé y Príncipe			Uruguay			
Senegal			Venezuela			
Seychelles						
Sierra Leona						
Sudafrica						

África (AFR)	Asia Oriental y el Pacífico (EOC)	Asia Oriental y Central (AOC)	América Latina y el Caribe (ALC)	Medio Oriente y África del Norte (MOAN)	Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCED)	Asia del Sur (AS)
Suazilandia						
Tanzania						
Togo						
Uganda						
Zambi						
Zimbawe						

Fuente: The Bank World (2012)

Anexo n.º 3. Etapas de la construcción

ETAPAS DE UNA CONSTRUCCION (CONVENCIONAL)



NUEVO CICLO DE UN EDIFICACIÓN



Fuente: Ingecap

Anexo n.º 4. Peso unitario del agregado fino

Peso Unitario Suelto

ID	DESCRIPCIÓN	UND.	PATRON			RECICLADO		
			M-1	M-2	M-3	M1	M-2	M-3
1	Peso del recipiente + muestra	gr.	13 012,00	13 056,00	13 035,00	12 750,00	12 785,00	12 794,00
2	Peso del recipiente	gr.	2 460,00	2 460,00	2 460,00	2 460,00	2 460,00	2 460,00
3	Peso de la muestra	gr.	10 552,00	10 596,00	10 575,00	10 290,00	10 325,00	10 334,00
4	Volumen	m ³	7 050,00	7 050,00	7 050,00	7 050,00	7 050,00	7 050,00
5	Peso unitario suelto	gr./m ³	1,497	1,503	1,500	1,460	1,465	1,466
6	Prom. Peso Unitario Suelto	gr./m ³	1,500			1,463		

Peso Unitario Compactado

ID	DESCRIPCIÓN	UND.	PATRON			RECICLADO		
			M-1	M-2	M-3	M1	M-2	M-3
1	Peso del recipiente + muestra	gr.	14 935,00	14 870,00	14 950,00	14 018,00	14 053,00	13 987,00
2	Peso del recipiente	gr.	2 460,00	2 460,00	2 460,00	2 460,00	2 460,00	2 460,00
3	Peso de la muestra	gr.	12 475,00	12 410,00	12 490,00	11 558,00	11 593,00	11 527,00
4	Volumen	m ³	7 050,00	7 050,00	7 050,00	7 050,00	7 050,00	7 050,00
5	Peso unitario suelto	gr./m ³	1,770	1,760	1,772	1,639	1,644	1,635
6	Prom. Peso Unitario Suelto	gr./m ³	1,767			1,640		

Anexo n.º 5. Peso unitario del agregado grueso

Peso Unitario Suelto

ID	DESCRIPCIÓN	UND.	PATRON			RECICLADO		
			M-1	M-2	M-3	M1	M-2	M-3
1	Peso del recipiente + muestra	gr.	27 588,00	27 612,00	27 636,00	26 489,00	26 517,00	26 524,00
2	Peso del recipiente	gr.	7 940,00	7 940,00	7 940,00	7 940,00	7 940,00	7 940,00
3	Peso de la muestra	gr.	19 648,00	19 672,00	19 696,00	18 549,00	18 577,00	18 584,00
4	Volumen	m ³	14 178,00	14 178,00	14 178,00	14 178,00	14 178,00	14 178,00
5	Peso unitario suelto	gr./m ³	1,386	1,388	1,389	1,308	1,310	1,311
6	Prom. Peso Unitario Suelto	gr./m ³	1,388			1,310		

Peso Unitario Compactado

ID	DESCRIPCIÓN	UND.	PATRON			RECICLADO		
			M-1	M-2	M-3	M1	M-2	M-3
1	Peso del recipiente + muestra	gr.	30 945,00	30 902,00	30 935,00	29 543,00	29 548,00	29 509,00
2	Peso del recipiente	gr.	7 940,00	7 940,00	7 940,00	7 940,00	7 940,00	7 940,00
3	Peso de la muestra	gr.	23 005,00	22 962,00	22 995,00	21 603,00	21 608,00	21 569,00
4	Volumen	m ³	14 178,00	14 178,00	14 178,00	14 178,00	14 178,00	14 178,00
5	Peso unitario suelto	gr./m ³	1,623	1,620	1,622	1,524	1,524	1,521
6	Prom. Peso Unitario Suelto	gr./m ³	1,621			1,523		

Anexo n. ° 6. Peso específico del agregado fino

ID	DESCRIPCIÓN	UND.	PATRON		RECICLADO	
			M-1	M-2	M-1	M-2
S	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en Aire)	gr.	500,00	500,00	500,00	500,00
B	Peso Frasco + agua	gr.	705,80	704,30	701,20	704,30
D	Peso Frasco + agua + A	gr.	1 205,80	1 204,30	1 201,20	1 204,30
C	Peso del Mat. + agua en el frasco	gr.	1 019,50	1 018,10	1 008,60	1 011,30
E	Vol de masa + vol de vacío = D-C	cc.	186,30	186,20	192,60	193,00
A	Pe. De Mat. Seco en estufa (105°C)	gr.	491,50	491,50	485,80	485,60
F	Vol de masa = E - (S - A)	cc.	177,80	177,70	178,40	178,60
	Pe bulk (Base seca) = $A/(B+S-C)$ (gr/cm ³)	gr./cc.	2,64	2,64	2,52	2,52
	Pe bulk (Base saturada) = $S/(B+S-C)$ (gr/cm ³)	gr./cc.	2,68	2,69	2,60	2,59
	Pe aparente (Base Seca) = $A/(B+A-C)$ (gr/cm ³)	gr./cc.	2,76	2,77	2,72	2,72
	% de absorción = $(S-A)/A*100$	%	1,73	1,73	2,92	2,97
	Prom. del p.e. de masa	gr./cc.	2,64		2,52	
	Prom. del p.e. de masa sss	gr./cc.	2,68		2,59	
	Prom. del peso aparente	gr./cc.	2,77		2,72	
	Prom. % de absorción	%	1,73		2,94	

Anexo n. ° 7. Peso específico del agregado grueso

ID	DESCRIPCIÓN	UND.	PATRON		RECICLADO	
			M-1	M-2	M-1	M-2
B	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Aire) (gr)	gr.	5 122,00	5 089,00	5 065,00	5 160,00
C	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Agua) (gr)	gr.	3 239,80	3 221,20	3 155,20	3 218,60
D	Vol. de masa + vol de vacíos = D-C (gr)	gr.	1 882,20	1 867,80	1 909,80	1 941,40
A	Peso material seco en estufa (105°C)(gr)	gr.	5 070,50	5 038,50	4 978,90	5 072,50
E	Vol. de masa = D-(B-A) (gr)	cc.	1 830,70	1 817,30	1 823,70	1 853,90
	Pe bulk (Base seca) = A/(B-C)	gr./cc.	2,69	2,70	2,61	2,61
	Pe bulk (Base saturada) = B/(B-C)	gr./cc.	2,72	2,72	2,65	2,66
	Pe Aparente (Base Seca) = A/(A-C)	gr./cc.	2,77	2,77	2,73	2,74
	% de absorción = ((B - A) / A * 100)	%	1,02	1,00	1,73	1,72
	Prom. del p.e. de masa	gr./cc.	2,70		2,61	
	Prom. del p.e. de masa sss	gr./cc.	2,72		2,65	
	Prom. del peso aparente	gr./cc.	2,77		2,73	
	Prom. % de absorción	%	1,01		1,73	

Anexo n. ° 8. Consideraciones para el diseño de mezcla

Calcular Resistencia promedio de cálculo (f'cr)

f'c	f'cr
< 210	f'c + 70
210 a 350	f'c + 84
> 350	f'c + 98

Calculo de cantidad estimada de agua por metro cubico de concreto.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en lt/m ³ de concreto para los tamaños maximos de agregados gruesos y tamaños maximos de agregados							
	10 mm 3/8"	12,5 mm 1/2"	20 mm 3/4"	25 mm 1"	40mm 1 1/2"	50 mm 2"	70 mm 3"	150 mm 6"
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO								
30 a 50 1" a 2"	205,00	200,00	185,00	180,00	160,00	155,00	145,00	125,00
80 a 100 3" a 4"	225,00	215,00	200,00	195,00	175,00	170,00	160,00	140,00
150 a 180 6" a 7"	240,00	230,00	210,00	205,00	185,00	180,00	170,00	---
Cantidad aproximada de aire atrapado (%)	3,00	2,50	2,00	1,50	1,00	0,50	0,30	0,20

Relación entre el agua y el cemento (a/c) según resistencia del concreto

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DIAS (f'cr) (kg/cm ²)	RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0,38	---
400	0,43	---
350	0,48	0,40
300	0,55	0,46
250	0,62	0,53
200	0,70	0,61
150	0,80	0,71

Módulo de fineza del agregado global

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso		Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para contenidos de cemento en sacos/m ³ indicados				
mm	Pulg.	5	6	7	8	9
10	3/8"	3,88	3,96	4,04	4,11	4,19
12,5	1/2"	4,38	4,46	4,54	4,61	4,69
20	3/4"	4,88	4,96	5,04	5,11	5,19
25	1"	5,18	5,26	5,34	5,41	5,49
40	1 1/2"	5,48	5,56	5,64	5,71	5,79
50	2"	5,78	5,86	5,94	6,01	6,09
70	3"	6,08	6,16	6,24	6,31	6,39

Anexo n. °9. Diseño de Mezcla – Primera Etapa

Primer proceso del diseño de mezcla en la que los datos y resultados son los mismos para cada uno.

Descripción	Simbolo	Unidad	PATRÓN	RECICLADO
			Cantidad	Cantidad
Resistencia del concreto	f'c	kg/cm ²	210,00	210,00
Resistencia promedio requerida	f'cr	kg/cm ²	294,00	294,00
Asentamiento	Slump	pulgadas	4,00	4,00
Tamaño Máximo Nominal del agregado	T.M.N.	pulgadas	3/4	3/4
Cantidad de agua de mezclado por m ³		lt o kg	200,00	200,00
Peso Específico de Agua		kg/m ³	1 000,00	1 000,00
Volumen de agua		m ³	0,20	0,20
Cantidad de aire atrapado		%	2,00%	2,00%
Relación agua - cemento	a/c		0,56	0,56
Contenido de cemento por m ³		kg	358,17	358,17
Contenido de cemento		bls	8,43	8,43
Peso Específico de Cemento	p.e.	kg/m ³	3 150,00	3 150,00
Volumen de cemento		m ³	0,11	0,11
Volumen total del agregado		m ³	0,67	0,67

Anexo n. ° 10. Diseño de Mezcla – Segunda Etapa

Etapa en la que se define la proporción de agregado en el concreto patrón y concreto reciclado.

Descripción	Simbolo	Unidad	PATRÓN	RECICLADO
			Cantidad	Cantidad
Modulo de Fineza del Agregado Fino	mf		3,01	3,70
Modulo de Fineza del Agregado Grueso	mg		6,72	6,69
Modulo de Fineza del Agregado Global	mc		5,14	5,14
Porcentaje del volumen de agregado fino	rf	%	42,52%	51,64%
Porcentaje del volumen de agregado grueso	rg	%	57,48%	48,36%
Volumen de agregado fino por m ³		m ³	0,28	0,34
Volumen de agregado grueso por m ³		m ³	0,38	0,32
Peso especifico del agregado fino	p.e.	kg/m ³	2 684,56	2 593,36
Peso especifico del agregado grueso	p.e.	kg/m ³	2 722,94	2 654,99
Peso del agregado fino		kg	760,48	892,35
Peso del agregado grueso		kg	1 042,93	855,46

Anexo n. ° 11. Diseño de Mezcla – Tercera Etapa

Etapa en la que se corrige la cantidad de agregado y el agua por el porcentaje de humedad y absorción.

Descripción	Símbolo	Unidad	PATRÓN	RECICLADO
			Cantidad	Cantidad
% Humedad del agregado fino	%Hum.	%	7,20	4,15
% Humedad del agregado grueso	%Hum.	%	0,10	2,00
Corrección del peso del agregado fino		kg	815,23	929,38
Corrección del peso del agregado grueso		kg	1 043,98	872,56
% Absorción del agregado fino	%Abs.	%	1,73	2,94
% Absorción del agregado grueso	%Abs.	%	1,01	1,73
Agua en agregado fino		kg	41,60	10,76
Agua en agregado grueso		kg	-9,48	2,33
Agua efectiva		lt o kg	167,88	186,91

Anexo n. ° 12. Diseño de Mezcla – Cuarta Etapa

Resultado del diseño de mezcla de ambos concretos (patrón y reciclado).

Descripción	Símbolo	Unidad	PATRÓN	RECICLADO
			Cantidad	Cantidad
Cemento		kg	358,17	358,17
Arena Gruesa		kg	815,23	929,38
Piedra Chancada		kg	1 043,98	872,56
Agua		lt o kg	167,88	186,91
Cemento		bls	8,43	8,43
Arena Gruesa		m ³	0,54	0,64
Piedra Chancada		m ³	0,75	0,67
Agua		m ³	0,17	0,19

Anexo n.º 13. Rotura de Probetas

CILINDRO N°	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (DIAS)	CARGA TOTAL (KG)	CARGA CORREGIDA (KG)	DIAMETRO (CM)	ÁREA	ESFUERZO (KG/CM ²)
PATRON								
MC-01	18/07/2018	21/07/2018	3,00	16 825,00	16 825,00	15,15	180,27	93,33
MC-02	18/07/2018	21/07/2018	3,00	17 014,00	17 014,00	15,16	180,50	94,26
MC-03	18/07/2018	25/07/2018	7,00	30 522,00	30 522,00	15,22	181,94	167,76
MC-04	18/07/2018	25/07/2018	7,00	31 089,00	31 089,00	15,18	180,98	171,78
RECICLADO								
MC-01	01/08/2018	04/08/2018	3,00	14 340,00	14 340,00	15,20	181,46	79,03
MC-02	01/08/2018	04/08/2018	3,00	14 820,00	14 820,00	15,01	176,95	83,75
MC-03	01/08/2018	08/08/2018	7,00	30 700,00	30 700,00	15,18	180,98	169,63
MC-04	01/08/2018	08/08/2018	7,00	30 178,00	30 178,00	15,16	180,50	167,19

Resumen de la rotura de probetas

DIA	% f'c	ESTIMADO	PATRÓN	RECICLADO
0	0%	0,00	0,00	0,00
3	40%	84,00	93,80	81,39
7	65%	136,50	169,77	168,41

Anexo n. ° 14. Cotización de agregado reciclado

Empresa: CAM / ING. JULIO CESAR CONOCC
RUC:
Producto: Agregados reciclados
Concepto: Cotización COT-CAM-1207-18
Obra: LIMA



1. Agregados reciclados para instalación de adoquines

DESCRIPCION	P.U. x m3		TOTAL
	m3 de agregado*		
Agregado reciclado Grueso para cama de asiento instalación adoquines	60	S/. 35.00	S/. 2,100.00
Agregado reciclado Fino para cama de sellado instalación adoquines	90	S/. 30.00	S/. 2,700.00
IGV			18%
TOTAL			S/. 5,664.00

(*) Cálculo hecho por CICLO. Se espera confirmación o corrección del cliente

Consideraciones:

- Es una propuesta de CICLO
- El precio es en Soles
- Este presupuesto tiene un tiempo de vigencia de 15 días
- Precios del material en Planta CICLO ubicado en Cieneguilla - Lima
- El precio no incluye costo de flete. El cliente puede asumir su propio flete o CICLO podrá cotizar uno
- En caso el cliente requiera, se puede entregar el material en parihuelas de madera y empaquetados en vinil, para lo cual CICLO elevará ligeramente el precio por concepto del empaquetado y tipo de flete
- Se solicita el 50% de adelanto a la aceptación de la misma
- Plazo de entrega: 60 días hábiles a partir del adelanto
- Lugar de entrega: donde especifique el cliente

Oficina: Calle Aruba 154, Of. 2A Santa Patricia, La Molina, Lima-Peru
Planta: Av. Santa Rosa Parcela P-48, Comunidad Campesina Santa Rosa de Collanac, Cieneguilla, Lima-Peru
Teléfono de contacto: 956314314

Anexo n. ° 15. Panel Fotográfico



Fig. 1: Toma de muestra del agregado patrón.



Fig.2: Rotura de projetas de concreto, agregado reciclado.



Fig. 3: Ensayo con los agregado patrón y reciclado.



Fig. 4: Ensayo de peso específico con el agregado patrón y reciclado.



Fig. 5: Mezclado del concreto patrón



Fig. 6: Mezclado del concreto reciclado



Fig. 7: Medición de asentamiento del concreto fresco.



Fig. 8: Medición de asentamiento del concreto fresco.



Fig. 9: Preparación de probetas de concreto.



Fig. 10: Probetas de concreto patrón y reciclado.



Fig. 11: Medición de diámetro de probetas



Fig. 12: Medición de diámetro de probetas

Anexo n. ° 16. Informe de Ensayos GEOLAB M&M