

Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“SOSTENIBILIDAD DE LOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESIDUOS
DE CONCRETO PARA OBRAS CIVILES EN LA ELABORACION DE
CONCRETOS”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

AUTOR:

SALAS VALDERRAMA VICTOR HUGO

ASESOR:

DR. MALPARTIDA CANTA, ROMMEL

JURADO:

Dr. PUMARICRA PADILLA RAÚLVALENTÍN

Ms. BEDIA GUILLEN CIRO SERGIO

Ms. SALAZAR CORREA HUGO ALBERTO

LIMA-PERÚ

2019

DEDICATORIA

A mi madre Beatriz y su esposo Hugo, también a mi padre Víctor Hugo y esposa Pamela, por ser un pilar fundamental en mi desarrollo, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo mantenido a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

RESUMEN

La construcción sostenible o la sostenibilidad no solo abarcan la preservación del medio ambiente, sino también todo lo relacionado con un nuevo desarrollo económico, como el uso eficiente de los recursos naturales y la satisfacción de las necesidades del presente.

En algunos países ya hay avances significativos en cuanto a investigación, normatividad y aplicación del agregado de concreto reciclado para la elaboración de concreto estructural.

En el Perú existe, a parte del Código Técnico de Construcción Sostenible, Sistemas de Certificación voluntaria que buscan evaluar la sostenibilidad de los edificios en función de una serie de criterios ambientales, de innovación, de consumo, de gestión, etc. Entre los más utilizados en el país se encuentran los sistemas de certificación:

LEED: Esta certificación es la más utilizada a nivel mundial, ya que está disponible para todos los tipos de construcción, incluyendo las construcciones nuevas y las remodelaciones de gran magnitud.

Teniendo en cuenta que el proyecto se ejecutó bajo una supervisión, la empresa ejecutora cumplió con los procesos correspondientes, aplicando protocolos de calidad, con el uso de materiales adecuados y procesos constructivos adecuados.

Bajo esta premisa se puede afirmar que la muestra tomada de concreto reciclado estará dentro de los estándares de resistencia permitida y no presentara fallas totalmente distintas a las obtenidas con concreto convencional.

Según los estudios y antecedentes mencionados, los resultados más eficientes al ensayo de compresión es sustituyendo el concreto reciclado en un porcentaje de 15% a 20% como sustituto de agregado grueso en el concreto convencional.

Palabras clave: Reforzamiento estructural, ampliación de edificación.

ABSTRACT

Sustainable construction and the need to give adequate and rational use to construction materials; In some countries there are already significant advances in terms of research, regulation and application of the addition of recycled concrete for the production of new structural concrete. The buildings have a very important environmental impact in the world, to highlight this, some interesting data from various sources of information are related:

Buildings consume approximately 37% of the world's energy, 40% of the world's resources are used for buildings and 40% of the waste is produced by them. The impacts of the buildings are equivalent to 17% of the consumption of drinking water, 25% of the consumption of cultivated wood, 33% of the CO₂ emissions, 30-40% of the energy use and 40% of the use of raw materials. tons. The CO₂ emissions of buildings are much higher than those of other productive sectors such as transport and industry and the gaps have been increasing over time. Buildings are the sector with the greatest potential to mitigate CO₂ emissions by 2030. Although the environmental benefits of using concrete with added recycled concrete are fully justified, as well as the negative impacts on the environment identified and quantified; there are barriers that affect its application, such as the low price of traditionally used construction materials and the transfer of waste generated to landfills. However, it is presumed that the use of waste as substitute products of the conventional ones will be strengthened towards the future, which will lead to the appearance of activities that, making sustainable development possible, are economically interesting.

As advantages of the materials that incorporate waste materials have to be more friendly to the environment, in general can be more economical and reduce the space allocated to landfills; You found as disadvantages of the concrete with coarse aggregate of recycled concrete you have that in the country its behavior is not properly known. Within the disadvantages and

limitations, it presents a higher content of fines (passes sieve # 200) than the conventional one which can compromise the adhesion, in general its absorption is higher than if it is not corrected for humidity of the mixture and it is not saturated previously the aggregate of recycled concrete these factors lead to important changes in the water / cement ratio, the greater content of flat and elongated particles as well as a greater surface roughness tend to diminish its manageability which leads to the almost always indispensable use of plasticizer additives; It is also important to work the mixtures with saturated aggregates, since it also favors the autogenous curing of the concrete. are required in terms of quality and uniformity, will allow to guarantee a concrete with added recycled concrete whose properties do not differ substantially from those of a conventional concrete. Likewise, the requirements that an aggregate must fulfill must be taken into account, such as being chemically stable, possessing adequate mechanical strength and having good adhesion to the mortar.

Keywords: Structural reinforcement, building extension.

INDICE

DEDICATORIA	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPITULO 1	11
I INTRODUCCIÓN	11
1.1 Descripción y formulación del problema.....	12
a) Problema General	13
b) Problemas Específicos	13
1.2 Antecedentes	13
1.2.1 Antecedentes Nacionales:	13
1.2.2 Antecedentes Internacionales:.....	14
1.3 Objetivos	16
a) Objetivo General	16
b) Objetivos Específicos	16
1.4 Justificación.....	16
1.4.1 Social o Práctica	16
1.4.2 Científica o Teórica.....	17
1.4.3 Metodología	17
1.5 Hipótesis.....	17
1.5.1 Hipótesis General	17
1.5.2 Hipótesis Específica(s).....	18
CAPITULO II	19

II. MARCO TEORICO	19
2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	19
2.1.1 construcción sostenible en el Perú.	19
2.1.1.1 Concreto reciclado:.....	19
2.1.1.2 Empresas en Perú dedicadas al reciclaje en construcción	20
2.1.1.3 Lugares de acopio en lima de desmonte de residuos de construcción.	21
2.1.2. Definición y tipos de agregados	22
2.1.3. Fuentes de residuos y producción de agregados de concreto reciclado	23
2.1.4. Propiedades del agregado de concreto reciclado.....	27
2.1.4.1. Granulometría.....	27
2.1.4.2. Forma y textura superficial	28
2.1.4.3. Densidad y absorción	29
2.1.4.4. Desgaste en máquina de los ángeles	31
2.1.4.5. Propiedades químicas y durabilidad.....	31
2.1.4.6. Mortero adherido.....	33
2.1.5. Consideraciones sobre la fabricación y ejecución de las obras de concreto con agregado grueso de concreto reciclado	34
2.1.5.1. Dosificación	34
2.1.5.2. Mezclado	37
2.1.5.3 Propiedades del concreto fresco	38
2.1.5.4. Ejecución de las obras	39
2.2 Propiedades del concreto con agregado grueso de concreto reciclado:	40

2.2.1 Durabilidad.....	46
2.2.2 Consideraciones de diseño	53
2.2.3 Ensayos de elementos estructurales	54
2.3 Definición de Términos.....	61
2.3.1 Acero	61
2.3.2 Arena	61
2.3.3 Carga muerta	62
2.3.4 Carga viva	62
2.3.5 Cemento	63
2.3.6 Concreto	63
2.3.7 Columna	64
2.3.8 Sismo.....	64
2.3.9 Tabique.....	65
2.3.10 Viga	65
2.3.11 Acero de refuerzo	66
2.3.12 Concreto reforzado	66
2.3.13 Extracción de fraguado.....	67
2.3.14 Arriostramiento	67
2.3.15 Asentamientos	68
2.3.16 Columnas.....	68
2.3.17 Esfuerzos	69

2.3.18 Estribos.....	69
2.3.19 Flexión.....	70
2.3.20 Fundación.....	70
2.3.21 Junta.....	71
CAPITULO III.....	72
III. MÉTODO.....	72
3.1 tipo de investigación.....	72
3.2 Ámbito Temporal y Espacial.....	72
3.3 Variables.....	72
3.3.1 Variables independientes.....	72
3.3.2 Variables dependientes.....	73
3.4. Población y muestra.....	73
a) Población:.....	73
b) Muestra:.....	73
3.5. Técnicas e Instrumentos.....	74
3.5.1 Técnica de la encuestas.....	74
3.5.2 Técnica de la entrevista.....	74
3.6. Procedimientos.....	77
3.7. Análisis de Datos.....	77
CAPITULO IV.....	78
IV. RESULTADOS.....	78
CAPITULO V.....	97

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	97
CAPITULO VI	99
VI. CONCLUSIONES	99
CAPÍTULO VII.....	100
VII. RECOMENDACIONES	100
CAPÍTULO VIII	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

CAPITULO 1

I INTRODUCCIÓN

Esta investigación se inició teniendo en cuenta la contaminación que produce la industria de la construcción, resulta que, cuando se demuelen los edificios se obtiene gran cantidad de concreto con contenido de fierro, pintura, aluminio, vidrio, etc., luego se elimina sin tener en cuenta que es reciclable, entonces en este trabajo se estudia cómo recuperar el concreto producto de las demoliciones, esto implica incluso nuevas fuentes de empleo, apoyo a la descontaminación y lo más importante obtener parámetros de uso de agregado obtenido de concreto reciclado, con el fin reutilizarlo en las construcciones.

Reciclar el concreto obtenido de la demolición, requiere de un tratamiento especial que conlleva varios pasos para obtener un agregado adecuado. Uno de los objetivos de esta investigación es justamente obtener esos parámetros utilizando el método de exploración, desde fuentes confiables incluso desde el internet. Llegar a un agregado de un radio determinado es inclusive indeterminaste, en el sentido de que hay que manipular este agregado con sumo cuidado para que no se produzcan partículas más pequeñas que no deben pasar cierto porcentaje para obtener un buen agregado.

El objetivo más saltante es la conservación del medioambiente, sabemos que no hay lugares para almacenar los residuos sólidos o incluso transportarlos trae consigo contaminación.

Del mismo modo investigamos si influye el agregado de concreto reciclado en la estabilidad del edificio construido y también en la duración, es por ello que el concreto reciclado inclusive debe estar libre de alguna patología.

1.1 Descripción y formulación del problema

Como se sabe cada día toma más fuerza el tema de la construcción sostenible y la necesidad de darle un uso adecuado y racional a los materiales de construcción; en algunos países ya hay avances significativos en cuanto a investigación, normatividad y aplicación del agregado de concreto reciclado para la elaboración de concreto estructural nuevo. Las edificaciones consumen aproximadamente el 37% de la energía del mundo, el 40% de los recursos mundiales que se explotan son destinados para edificaciones y así mismo el 40% de los desechos son producto de las mismas.

Los impactos de las edificaciones equivalen el 17% del consumo de agua potable, 25% del consumo de madera cultivada, 33% de las emisiones de CO₂, 30-40% del uso de energía y 40% del uso de materias primas – 3000 millones de toneladas

Las emisiones de CO₂ de las edificaciones son muy superiores a las de otros sectores productivos como el transporte y la industria y las brechas han ido aumentando con el paso del tiempo. Las edificaciones son el sector con mayor potencial de mitigación de emisiones de CO₂ hacia 2030.

Si bien los beneficios ambientales de utilizar concreto con agregado de concreto reciclado están plenamente justificados, así como los impactos negativos al medioambiente identificado y cuantificado; existen barreras que afectan su aplicación como son el bajo precio de los materiales de construcción tradicionalmente empleados y del traslado de los residuos generados a los vertederos. Sin embargo, se presume que hacia un futuro tome fuerza el empleo de los residuos como productos sustitutivos de los convencionales, lo que propiciará la aparición de actividades que, haciendo posible el desarrollo sostenible, sean económicamente interesantes.

a) Problema General

¿De qué manera el concreto reforzado con agregado grueso de concreto reciclado es sostenible?

b) Problemas Específicos

¿Cuáles son las ventajas y desventajas estructurales y medioambientales que implica el uso los agregados reciclados de residuos de concreto?

¿Qué características físico-mecánicas posee el concreto elaborado con agregado grueso de concreto reciclado?

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes Nacionales:

Arriaga Tafhurt (2013), en la tesis “Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado” Estudio sobre la utilización de agregado grueso proveniente del reciclado de concretos de demolición para la fabricación de concreto estructural ambiental; en nuestro medio actualmente se generan cantidades significativas de escombros productos de la demolición de estructuras en concreto que ya cumplieron con su vida útil, se demuelen estructuras existentes para dar paso a edificaciones de mayor tamaño y como es sabido las principales ciudades no cuentan con la infraestructura necesaria para la adecuada disposición de residuos sólidos. Así mismo, se explotan cada vez más las canteras para la extracción de los agregados naturales para la elaboración de concretos, lo que atenta contra los recursos naturales no renovables. Entonces, la utilización del concreto

con agregado grueso de concreto reciclado permite disminuir el volumen de residuos sólidos a disponer y adicionalmente disminuye la demanda de material de cantera.

Remi (2016), en la tesis “Diseño de un concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ utilizando agregados reciclados procedentes de residuos sólidos de concreto para elementos no estructurales en obras de lima Metropolitana 2016” Estudio sobre las propiedades físicas de los agregados reciclados y naturales y su influencia en el diseño de mezclas de concreto. La realización de un diseño óptimo y con menor costo para la producción de concreto con agregado reciclado vs el concreto patrón, y de qué manera los ensayos en estado fresco y en estado endurecido del concreto reciclado y patrón influirán en la comparación de la calidad del concreto.

1.2.2 Antecedentes Internacionales:

Viviendas (2015), Puede ser que tengan intenciones de ampliar la vivienda en el futuro agregando un piso adicional sobre lo existente. En ningún caso se debe permitir la ampliación de una edificación que ha sido reforzada, más allá del número de pisos, según el sistema constructivo y la sismicidad aplicable a la estructura. Es la responsabilidad del ingeniero evaluar y determinar la factibilidad de un crecimiento en altura para cada caso específico. Se deben considerar las condiciones del suelo, las características de la cimentación, y la configuración del Sistema estructural de la edificación así como la capacidad de la misma de soportar la carga adicional. Los sistemas de resistencia a fuerzas verticales y laterales de las ampliaciones verticales siempre deberán ser compatibles con los que estén abajo, y estar alineados a la configuración existente para mantener una continuidad vertical. Los procedimientos de este manual pueden utilizarse para revisar la capacidad del sistema lateral de resistir cargas sísmicas de una ampliación vertical modificando los factores de piso ($\square\square$), e incrementando el número

de niveles, N, utilizado en el cálculo de área de muros, reflejando la situación futura una vez realizada la ampliación vertical.

Tuk (2010), Las Técnicas de Reforzamiento se obtienen de un proceso de recopilación de información de campo, de trabajos empíricos, planteamiento de los objetivos, de una delimitación del alcance y las limitaciones del proyecto. Se dan situaciones en las construcciones que repercuten en la calidad y resistencia de un elemento y la manera más común de resolverlo es no aprobando la obra, solicitando la demolición del elemento. Esta fue la motivación del proyecto, en donde se pudo plantear el problema de las demoliciones y las propuestas que se pueden implementar para dar solución a cada elemento. El primer paso es plantear el problema, la demolición como primera opción para corregir la deficiencia de un elemento estructural, de aquí nace el objetivo principal: Determinar las Técnicas de Reforzamiento de Estructuras de Concreto. Ya definido claramente el problema lo siguiente es proponer las posibles soluciones, por lo que es necesario identificar los principales elementos estructurales, desglosando los frentes de trabajo, que van a formar los objetivos específicos: Cimientos, columnas, Vigas, Losas y Muros

1.3 Objetivos

a) Objetivo General

Determinar la sostenibilidad del uso de los agregados reciclados de residuos de concreto para obras civiles en la elaboración de concretos.

b) Objetivos Específicos

- Describir las ventajas y desventajas estructurales y medioambientales que implica el uso los agregados reciclados de residuos de concreto.
- Determinar las características físico-mecánicas que posee el concreto elaborado con agregado grueso de concreto reciclado.

1.4 Justificación

1.4.1 Social o Práctica

Si bien es conocida la factibilidad del uso de agregados provenientes del reciclaje de concreto para la fabricación de concretos estructurales en diversos países tales como Bélgica, Países Bajos, Reino Unido, Alemania, Dinamarca, Australia, entre otros ,se cuenta con estudios y documentos al respecto- que permita incentivar su utilización en los proyectos que se desarrollan en el entorno; es necesario por tanto realizar más investigaciones que permitan conocer a cabalidad el comportamiento, desempeño y resistencia del concreto con agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado. La utilización de agregado grueso proveniente del reciclado de concretos de demolición para la fabricación

de concreto estructural nuevo se justifica plenamente con aspectos ambientales; en nuestro medio actualmente se generan cantidades significativas de escombros productos de la demolición de estructuras en concreto que ya cumplieron con su vida útil, se demuelen estructuras existentes para dar paso a edificaciones de mayor tamaño y como es sabido las principales ciudades no cuentan con la infraestructura necesaria para la adecuada disposición de residuos sólidos. Así mismo, se explotan cada vez más las canteras para la extracción de los agregados naturales para la elaboración de concretos, lo que atenta contra los recursos naturales no renovables. Entonces, la utilización del concreto con agregado grueso de concreto reciclado permite disminuir el volumen de residuos sólidos a disponer y adicionalmente disminuye la demanda de material de cantera; por tal motivo es evidente el beneficio en la conservación del medio ambiente.

1.4.2 Científica o Teórica

La siguiente investigación realizada y comprobada servirá de sustento para esta y otras investigaciones similares, ya que enriquecen el marco teórico práctico y los conocimientos que ya existen sobre el tema en mención.

1.4.3 Metodología

El método de investigación es Descriptivo y el Enfoque cualitativo para determinar.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

Determinando la sostenibilidad del uso de los agregados reciclados de residuos de concreto se podrá realizar eficientemente la elaboración de concreto para obras civiles.

1.5.2 Hipótesis Específica(s).

- Definiendo las ventajas y desventajas estructurales y medioambientales que implica el uso los agregados reciclados de residuos de concreto se podrá hacer un mejor uso de éstos para la elaboración de concreto en obras civiles.
- Estudiando las características físico-mecánicas que posee el concreto elaborado con agregado grueso reciclado se podrá comprender mejor el desempeño de este concreto en obras civiles.

CAPITULO II

II. MARCO TEORICO

2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1 Construcción sostenible en el Perú.

La construcción Sostenible, está referida al mejoramiento de los criterios técnicos para el diseño y construcción de proyectos, ya sean públicas o privadas, con el fin de optimizar la economía y reducir el impacto que tienen sobre el uso de recursos, como materias primas, agua y energía, y el impacto ambiental que generan en el entorno donde se encuentran. Esto implica, considerar todas las etapas de la construcción y su utilidad futura, a modo de asegurar un ambiente agradable y saludable para las personas tanto fuera como dentro de las instalaciones.

2.1.1.1 concreto reciclado para una construcción sostenible.

Al promover esta iniciativa en Perú, debemos comprender lo que hace falta para llevar a cabo este proceso, debemos disponer de tecnología asequible de trituración mecánica y transporte al lugar de trituración.

Lo más importante es seguir avanzando en los métodos de recuperación y ampliar las aplicaciones que representa esta posibilidad. Usar concreto reciclado es una forma efectiva de reducir los vertederos de basura, los costos (impuestos) asociados a su descarte y evitar la afectación de los suelos.

Además, permite la sustitución de materia prima, reduce el impacto ambiental por la explotación de recursos naturales y genera empleo.

Esto se combina con el buen rendimiento que puede tener debido a sus propiedades de densidad y su capacidad de compactación, que lo hacen especialmente útil para varias aplicaciones.

En el Perú existe, a parte del Código Técnico de Construcción Sostenible, Sistemas de Certificación voluntaria que buscan evaluar la sostenibilidad de los edificios en función de

una serie de criterios ambientales, de innovación, de consumo, de gestión, etc. Entre los más utilizados en el país se encuentran los sistemas de certificación:

LEED: Esta certificación es la más utilizada a nivel mundial, ya que está disponible para todos los tipos de construcción, incluyendo las construcciones nuevas y las remodelaciones de gran magnitud, edificios existentes, los interiores comerciales, estructura y fachada, escuelas, centros de salud, establecimientos comerciales y desarrollo de vecindades. Se basa en un sistema de puntuación en el cual las edificaciones obtienen puntos LEED por satisfacer criterios específicos de construcción sustentable relacionados con la eficiencia energética, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior, la eficiencia del consumo de agua, el desarrollo sostenible de los espacios libres de la parcela y la selección de materiales.

BREEAM: Es el primer y el más importante método de evaluación de la Sostenibilidad en Edificios, ya que realiza la planificación maestra de proyectos, infraestructuras y edificios tomando en cuenta las etapas del ciclo de vida de los mismos, como: nueva construcción, rehabilitación y en uso. Este método se basa en la medición integral de la edificación a través de 9 categorías que evalúan los procesos de gestión energética y el uso del agua, la salud y el bienestar de los ocupantes, la contaminación, el transporte, el tipo de materiales, la generación de residuos y la ecología. Impulsando así una mayor sostenibilidad y la innovación en el entorno construido mediante el uso rentable de soluciones sostenibles.

2.1.1.2 Empresa en Perú dedicadas al reciclaje en construcción.

En el Perú existe la empresa Ciclo, marca de la empresa MP RECICLA SAC que apunta a un mercado de construcciones sostenibles, desde viviendas sociales hasta proyectos con certificaciones como LEED. La innovación de los productos se debe al enfoque en la

economía circular, que optimiza recursos y valoriza los residuos. Los productos se reciclan al 100% al final de su vida útil para usarse nuevamente como insumos.

Los productos o materiales a base del reciclaje de materiales de construcción son los siguientes:

- Ladrillo King Kong 18 huecos
- Adoquin para pavimento peatonal y vehicular
- Aridos reciclados para reemplazo de arena natural

2.1.1.3 Lugares de acopio en lima de desmonte de residuos de construcción.

En la ciudad de Lima se genera diario 19 mil toneladas de desmonte de materiales de construcción, 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 desmonte, es decir, unas 19.000 toneladas,

Estas cifras son datos de la cámara peruana de la construcción “CAPECO”, las rutas que realizan los cientos de volquetes que recogen grava, ripio, piedra y escombros de las construcciones o demoliciones de la capital son las laderas de los principales ríos de Lima y al mar del Callao.

En Lima existen seis lugares autorizados para recibir residuos sólidos –en Lurín, Cañete, Ate y tres en el Callao, el 70% de desmonte va al mar y a los ríos y solo el 30% restante va a los puntos autorizados, señala Capeco. Según transportistas consultados, esto se debe a que entregar el material al mercado informal es más barato y no requiere de trámites

“Esa modalidad también es utilizada en Lomo de Corvina, Villa El Salvador y la ladera del río Rímac, en Ate. Lotizan sobre los vertederos de desmonte y basura. El problema de fondo

es que el Ministerio de Vivienda exonera a las inmobiliarias en su obligación por hacerse cargo de sus residuos, y los municipios no fiscalizan”.

2.1.2 Definición y tipos de agregados:

Como definición general, se entiende por agregado reciclado aquél “agregado resultante del procesamiento de materiales inorgánicos utilizados previamente en la construcción” (prEN 13242 “Aggregates unbound and hydraulically bound for use in civil engineering Works and road construction” en su versión de Mayo de 2002, prEN 12620 “Aggregates for concrete” de Abril de 2002 (CONCRETE, 2002).

Los residuos de concreto de cemento con clinker Portland y agregados naturales, triturados, cribados y procesados en plantas de reciclado dan lugar al material secundario “agregado de concreto reciclado”. Esta deriva de un solo tipo de material primario, el concreto, cuya composición es heterogénea (cemento, agua, agregados, aditivos y adiciones). El material obtenido de la forma descrita no puede considerarse, por tanto, un material uniforme.

Los otros tipos de agregados reciclados son:

“Agregado reciclado cerámico”: El cual se obtiene por procesamiento de material predominantemente cerámico. El 85% de este agregado debe tener una densidad seca superior a 1600 kg/m³.

“Agregados reciclados mixtos”: Definido en la norma holandesa como un agregado que deberá contener un porcentaje mayor del 50% de concreto con una densidad seca superior a 2100 kg/m³ y no más del 50% de materiales pétreos reciclados de distinta naturaleza que el concreto, incluyendo los cerámicos con una densidad seca mayor de 1600 kg/m³.

Muchas normativas no permiten el uso de estos dos últimos tipos en concreto estructural ya que su empleo aumenta el contenido de aire y obliga también a una relación agua/cemento mayor. Adicionalmente, la resistencia a compresión y módulo de elasticidad del concreto pueden verse afectados negativamente.

El único tipo de agregado reciclado que puede ser admisible para concreto estructural es el agregado de concreto reciclado y deben imponérsele valores límites para las impurezas que puedan tener efectos negativos sobre la resistencia y la durabilidad.

El uso de las fracciones finas del agregado de concreto reciclado implica, entre otros inconvenientes, un aumento muy notable de la retracción por secado y de la fluencia debido a la mayor cantidad de agua que precisan en su dosificación.

En general puede decirse que los agregados de concreto reciclado de tamaño mayor o igual a 4mm son potencialmente aptos para la fabricación de concreto.

Así mismo, si la sustitución de agregado grueso convencional es menor o igual al 20%, las propiedades mecánicas permanecen prácticamente constantes.

2.1.3. Fuentes de residuos y producción de agregados de concreto reciclado

La obtención del agregado de concreto reciclado procede de dos fuentes u orígenes principales asociados, respectivamente, a los residuos fruto del propio proceso de construcción y a la demolición de estructuras existentes; este origen induce distintas características en el agregado fundamentalmente vinculadas al envejecimiento y grado de hidratación del mortero adherido, el cual siempre está presente, en mayor o menor medida, en el agregado procedente del concreto reciclado.

La operación de demolición debe considerarse de forma que permita el máximo grado de reutilización de componentes y materiales; la demolición selectiva favorece el conocimiento del futuro agregado de concreto reciclado, permite una preselección según la calidad del concreto a demoler y, en definitiva, favorece la uniformidad de la calidad.

Como se acaba de mencionar, la manera de mejorar la calidad del residuo de demolición es la demolición selectiva pero su viabilidad está condicionada por factores tales como la accesibilidad, el tiempo disponible y costo global de la actuación. La demolición selectiva es más cara en comparación con los métodos tradicionales de demolición, por ello, la incidencia del costo de procesado puede ser muy importante respecto a la adopción de un sistema u otro. Queda claro, pues, que demolición y reciclado deben considerarse conjuntamente.

Los procesos de producción de agregados de concreto reciclado se realizan en plantas de tratamiento (fijas o móviles) que, en líneas generales, son similares a las empleadas en agregados naturales, si bien incorporan de forma específica elementos para la separación de impurezas y otros contaminantes.

Para la eliminación de impurezas, durante la demolición debe evitarse que los escombros de concreto se mezclen con tierras, y conseguir que se reduzca al máximo el contenido de otros materiales de construcción no deseables, lo cual redundará favorablemente en el sentido de reducir tratamientos posteriores.

Las impurezas y contaminantes pueden ser metales, madera, plásticos, yeso, que deben ser eliminados, lo cual puede lograrse utilizando distintas técnicas según sea la naturaleza de los mismos.

Los contaminantes de mayor tamaño pueden eliminarse manualmente, mientras que mediante el tamizado se eliminan las impurezas de menor tamaño, como puede ser la tierra, pudiéndose realizar en varias etapas para que resulte más efectivo.

Los residuos de demolición contienen importantes cantidades de acero que puede separarse magnéticamente.

Además, puede haber aluminio, cobre, plomo, zinc y aleaciones. Estos no son magnéticos y la forma más moderna de separación es por corrientes de Foucault produciendo la separación por repulsión de los metales no magnéticos y no ferrosos.

La separación de los materiales de baja densidad puede tener lugar en seco o por vía húmeda. En seco se utiliza la separación manual previa a la mecánica, y posteriormente, para la separación de los materiales ligeros se utilizan potentes corrientes de aire. Por otra parte, la separación por vía húmeda se efectúa en un baño de agua. Su inconveniente es la generación de barro.

La presencia de impurezas depende en gran medida del tipo de agregado reciclado. El agregado procedente de escombros de concreto presenta generalmente un reducido contenido de impurezas, mientras que la incorporación incluso de pequeños porcentajes de escombros cerámicos aumenta generalmente la presencia de diferentes materiales como madera, yeso o vidrio. Además, las fracciones más finas suelen incorporar un mayor contenido de impurezas.

El concreto que constituye la materia prima para la obtención del nuevo agregado de concreto reciclado debe ser examinado, si es posible, previamente a su procesado. En especial con respecto a la posibilidad de la presencia de agregados potencialmente reactivos frente a los alcalinos. Debe evitarse también el concreto de cemento aluminoso y determinarse los contenidos originales de sulfatos y cloruros.

La calidad del agregado obtenido depende de la calidad del material procesado y puede contener como principales contaminantes madera, yeso, arcilla, aluminio y plásticos, sin olvidar el vidrio que, según el tipo, puede acarrear una futura reacción álcali-sílice. Así mismo, en el caso de tener conocimiento de procesos patológicos en el concreto original, éste debe rechazarse como materia prima. En el caso de material procedente de la carretera, el principal problema puede ser el asfalto y algunos contaminantes orgánicos perjudiciales. Es preciso, por tanto, limitar los porcentajes máximos de contaminantes y analizar con la debida frecuencia los agregados obtenidos.

La presencia de yeso debe ser reducida a través de severos criterios de aceptación previa del residuo de demolición, rechazándose la partida que contenga cantidades importantes de tal naturaleza. Además, el material fino ya triturado puede eliminarse en el lavado. En cualquier caso, el control de sulfatos en el agregado de concreto reciclado resultante debe ser sistemático.

Debe minimizarse el riesgo de mezclar asbestos con futuros agregados de concreto reciclado, así mismo, en residuos de concreto es conveniente revisar el contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos, aunque su presencia es poco probable dada la práctica desaparición de los alquitranes en las construcciones. Lo anterior buscando evitar la liberación de sustancias peligrosas que pueden contener compuestos identificados como carcinógenos, mutágenos y teratógenos.

Los agregados de concreto reciclado procedentes de residuos de construcción y demolición no suelen tener problemas de impacto ambiental por lixiviación de metales, ya que no suelen estar presentes en los materiales de origen. En cambio, las cantidades de sulfatos, que proceden casi siempre del yeso, pueden superar los límites establecidos en las aguas de lixiviación. Los sulfatos pueden ser reducidos significativamente por lavado. Los lixiviados

orgánicos no son frecuentes, pero en todo caso suelen concentrarse más en las fracciones finas.

2.1.4. Propiedades del agregado de concreto reciclado

2.1.4.1. Granulometría

La granulometría de los agregados de concreto reciclado varía según el proceso de trituración que se realice, pudiéndose seleccionar mediante pequeños ajustes en la apertura de las trituradoras.

El porcentaje de agregado grueso que se obtiene puede variar entre 70% y 90% del agregado total producido. Este porcentaje depende además del tamaño máximo del agregado grueso de concreto reciclado producido y de la composición del concreto original.

La fracción gruesa posee una curva granulométrica adecuada, que se puede englobar dentro de los límites granulométricos que recomiendan algunas normas internacionales para el empleo de agregado grueso en concreto estructural (ASTM, prEN).

El módulo granulométrico del agregado de concreto reciclado, para un mismo tamaño máximo del agregado, presenta pequeñas variaciones dependiendo principalmente del sistema de trituración empleado y en menor medida de la calidad del concreto original.

En principio, el agregado de concreto reciclado genera finos durante su manipulación debido a la aparición de pequeñas partículas de mortero que se desprenden, la presencia de estas partículas en la superficie del agregado puede originar problemas de adherencia entre éste y la pasta de cemento, además de provocar un aumento de la cantidad de agua de amasado necesaria.

Por otra parte, después de obtener la fracción gruesa en el agregado de concreto reciclado, éste sigue presentando pequeños porcentajes de arena (partículas menores de 4mm) debido a la disgregación que sufre el agregado al manipularse. Los valores más frecuentes oscilan entre 0,5-2%.

Así, las recomendaciones de la Rilem y las especificaciones de Hong Kong para la utilización de agregado de concreto reciclado, establecen un límite del 5% para el contenido de partículas de tamaño inferior a 4 mm en el agregado de concreto reciclado

2.1.4.2. Forma y textura superficial

La presencia del mortero que queda adherido a los agregados del concreto original provoca que la textura de los agregados de concreto reciclado sea más rugosa y porosa que la de los agregados naturales como consecuencia del proceso de trituración. No obstante, el coeficiente de forma del agregado de concreto reciclado es similar al que puede presentar el agregado natural. En una investigación nacional se obtuvo un coeficiente de forma para el agregado grueso reciclado de 0,24 y de 0,31 para el agregado grueso natural.

En investigaciones nacionales se establecieron para agregado reciclado proveniente de cilindros de prueba desechados una forma piramidal y una textura rugosa.

Los estudios que han empleado el método del índice de partículas planas y alargadas ASTM D 4791 para determinar la forma del agregado grueso han encontrado sin embargo diferencias entre el agregado natural y el agregado de concreto reciclado, siendo menor el valor del índice en el caso del agregado de concreto reciclado. Esto puede deberse a que el mortero

que queda adherido en las caras planas que presentan las partículas tienden a aumentar el espesor de las partículas con forma plana y alargada, disminuyendo así el porcentaje de estas; otros estudios han empleado la microscopía óptica para evaluar la forma del agregado, observando que las partículas del agregado de concreto reciclado presentan una forma más redondeada. Sin embargo, otros estudios que han valorado la forma del agregado a través del índice de angulosidad, concluyen que las partículas del agregado de concreto reciclado son más angulosas. Esta disparidad en resultados y conclusiones de diferentes estudios puede deberse a la influencia de la calidad del concreto de origen sobre la forma, ya que los agregados de concreto reciclado tienden a ser más redondeados cuanto mayor es la relación agua/cemento del concreto original y por lo tanto menor la resistencia del mortero. Generalmente son las fracciones de menor tamaño del agregado grueso las que presentan una forma más desfavorable tanto utilizando como referencia el coeficiente de forma como el índice de partículas planas y alargadas.

2.1.4.3. Densidad y absorción

La densidad del agregado de concreto reciclado es inferior a la del agregado natural, debido a la pasta de cemento que queda adherida a los granos. La densidad del agregado de concreto reciclado suele oscilar entre 2100 y 2400 kg/m³, mientras que la densidad saturada con superficie seca varía entre 2300 y 2500 kg/m³, por lo que en todos los casos se pueden considerar estos agregados de densidad normal (no livianos: con una densidad cuando están sueltos y secos de 1120 kg/m³ o menos de acuerdo a ASTM C330/NTC 4045).

En las investigaciones nacionales se encuentran los siguientes valores:

- Densidad aparente S entre 2070 kg/m³ y 2130 kg/m³, densidad nominal entre 2520 kg/m³ y 2590 kg/m³ y densidad aparente S.S.S. entre 2270 kg/m³ y 2280 kg/m³.
- Densidad aparente S 2100 kg/m³.
- Densidad aparente S 2120 kg/m³, densidad nominal 2540 kg/m³ y densidad aparente S.S.S. 2290 kg/m³.

Absorción promedio entre 10 y 12% para el concreto con agregado reciclado equivalente a una mayor absorción frente al concreto con agregado natural del 24 al 47%

Absorción promedio del 10% para el concreto con agregado reciclado equivalente a una mayor absorción frente al concreto con agregado natural del 43%.

Humedad de absorción promedio 7,8% para el concreto con agregado reciclado equivalente a una mayor absorción frente al concreto con agregado natural del doble.

La absorción es una de las propiedades físicas del agregado de concreto reciclado que presenta una mayor diferencia con respecto al agregado natural, debido a la elevada absorción de la pasta que queda adherida a él. Los principales aspectos que influyen tanto en la densidad como en la absorción del agregado de concreto reciclado son: el tamaño de las partículas, la calidad del concreto original y las técnicas de procesado.

2.1.4.4. Desgaste en máquina de los ángeles

El agregado de concreto reciclado presenta un elevado desgaste en la máquina de los ángeles ya que en el ensayo se elimina todo el mortero que queda adherido al agregado, además de la pérdida de peso propia del agregado natural.

En una investigación nacional se encontró un desgaste promedio en la máquina de los ángeles del 45% frente a un 25% de la muestra patrón.

En otra similar, por su parte, se encontró un desgaste promedio en la máquina de los ángeles del 40,5% frente a un 30,3% de la muestra patrón.

El valor esperable del coeficiente de los ángeles del agregado de concreto reciclado puede situarse en un rango muy amplio de 25-42%, dependiendo entre otros factores del tamaño de las partículas y de la calidad del concreto original, así como del propio coeficiente de los ángeles del agregado natural que contenga.

2.1.4.5. Propiedades químicas y durabilidad

Contenido de cloruros

Los agregados de concreto reciclado pueden presentar un contenido apreciable de cloruros, en función de la procedencia del concreto usado como materia prima, especialmente en concretos procedentes de obras marítimas, puentes o pavimentos expuestos a las sales para el deshielo. Así mismo, los concretos en los que se haya utilizado aditivos acelerantes, pueden también contener una elevada cantidad de cloruros

En el caso del agregado de concreto reciclado parece conveniente cuantificar además de los cloruros solubles en agua (como en los agregados naturales), los cloruros totales que contiene el agregado, ante la posibilidad de que haya cloruros combinados que en ciertas circunstancias puedan ser reactivos y atacar las armaduras. Este es el caso del cloro aluminato cálcico hidratado, ya que la presencia de iones sulfatos procedentes por ejemplo de ambientes marinos, puede llegar a liberar estos iones cloruros.

En general, cuando los hormigones no han estado expuestos a estas condiciones, los valores tanto de los cloruros solubles en agua como de los cloruros totales suelen oscilar entre 0,001-0,005%

Contenido de sulfatos

El agregado de concreto reciclado puede contener un elevado contenido de sulfatos, ya que al contenido propio del agregado natural, se le añaden los sulfatos que contienen la pasta adherida y la presencia de contaminantes como el yeso cuando el concreto procede de edificación. Los sulfatos combinados presentes en la pasta de cemento pueden producir problemas en el concreto nuevo, debido por ejemplo a la carbonatación que puede sufrir la ettringita que produce su descomposición en sulfatos.

Así mismo, será necesario evitar la presencia de impurezas como el yeso, que podrían producir expansiones en el concreto. Una de las posibles medidas para reducir el contenido de yeso es eliminar del agregado de concreto reciclado los tamaños más finos, ya que es en ellos donde se concentra una mayor cantidad de yeso.

Resistencia a la helada

La resistencia a la helada de los agregados naturales se evalúa habitualmente mediante la pérdida de peso experimentada al someterlos a cinco ciclos con soluciones de sulfato magnésico. Se pueden emplear también métodos en los que se somete el agregado directamente a diez ciclos de hielo-deshielo en agua.

Algunos autores señalan que el ensayo de resistencia a la helada realizado con soluciones de sulfato no es adecuado para evaluar la durabilidad de los agregados de concreto reciclado, teniendo en cuenta que las soluciones tienen un efecto químico destructivo sobre la pasta de cemento, pudiendo dar resultados no representativos.

Al igual que en otras propiedades, la calidad del concreto de origen y el tipo de procesamiento aplicado influyen de forma importante en la calidad del agregado de concreto reciclado. Al realizar varias trituraciones consecutivas se pueden conseguir agregados con un mejor comportamiento frente a la helada, próximo incluso al del agregado natural.

Reacción álcali-agregado

Algunos tipos de agregados pueden reaccionar con los álcalis del cemento en ambiente húmedo cuando el contenido de alcalinos en el concreto es elevado, dando lugar a un compuesto gelatinoso que produce expansiones en el concreto. La utilización de agregado de concreto reciclado puede favorecer estas reacciones, ya que incorpora un mayor contenido de alcalinos debido a la pasta que lleva adherida. Adicionalmente, la diversidad de la naturaleza de los agregados de concreto reciclado hace muy difícil su control, para garantizar que no desencadenarán estas reacciones expansivas. Por este motivo, algunas recomendaciones de utilización de agregado de concreto reciclado lo consideran potencialmente reactivo.

2.1.4.6. Mortero adherido

El agregado grueso de concreto reciclado posee una cierta cantidad de mortero adherido, que lo diferencia de los agregados naturales. Este mortero es el causante de las diferencias que existen entre las propiedades de un agregado natural y un agregado de concreto reciclado antes mencionadas: menor densidad, mayor absorción, susceptibilidad a las heladas, reacción álcali agregado y ataque de sulfatos, entre otros. Estas propiedades afectan, a su vez, negativamente a las del concreto: módulo de elasticidad, retracción, flujo plástico y problemas asociados a la durabilidad. Cuanto mayor es el contenido de mortero adherido que presenta el agregado de concreto reciclado, más lo acusará el concreto fabricado con él.

Como se ha comentado anteriormente, elevadas cantidades de mortero en el agregado de concreto reciclado empeoran algunas de las propiedades del concreto, por lo que al concentrarse el mortero en las fracciones más finas, no es aconsejable la utilización del agregado fino de concreto reciclado.

2.1.5. Consideraciones sobre la fabricación y ejecución de las obras de concreto con agregado grueso de concreto reciclado

2.1.5.1. Dosificación

Para la dosificación del concreto con agregado grueso reciclado, en principio se pueden emplear los métodos convencionales de dosificación, aunque se han desarrollado algunas experiencias específicas respecto a la utilización de agregados de concreto reciclado.

Contenido de agua

Para determinar el contenido de agua de la dosificación de concreto con agregado grueso de concreto reciclado, hay que tener en cuenta que la absorción de agua es mucho mayor en los agregados de concreto reciclado que en los convencionales, debido entre otros factores, al mortero adherido a los agregados originales. Para asumir este incremento en la demanda de

agua se puede pre- saturar el agregado o incrementar el agua de mezclado; también es posible corregir este efecto mediante la utilización de aditivos.

Contenido de cemento

En principio, los tipos de cemento utilizados serán los mismos que se emplearían en un concreto convencional para las mismas prestaciones. Debido a la menor calidad del agregado de concreto reciclado, para mantener la misma resistencia y consistencia, el concreto con agregado grueso de concreto reciclado necesitará un mayor contenido de cemento en su dosificación.

Relación agua/cemento

Como punto de partida, para un porcentaje de agregado de concreto reciclado reducido se puede considerar inicialmente que la relación agua/cemento necesaria para alcanzar una categoría resistente será la misma para el concreto convencional y el concreto con agregado grueso de concreto reciclado; aunque en la práctica, para sustituciones por encima del 50%, se deberá ajustar la relación agua/cemento en el concreto preparado con agregados de concreto reciclado mediante los ensayos correspondientes.

En general, para una misma resistencia, y sustitución total, la relación agua/cemento necesaria en el concreto con agregado grueso de concreto reciclado es menor que la del concreto convencional.

Dosificación del agregado de concreto reciclado

Las propiedades del concreto fabricado con agregados de concreto reciclado tienden a empeorar a medida que aumenta el porcentaje de sustitución. En la práctica, los valores aconsejables de sustitución llegan hasta el 50%. Esto se recoge en diferentes normativas,

estableciéndose limitaciones a su dosificación. Según RILEM, se puede emplear una proporción de hasta un 20% de agregado de concreto reciclado sin ninguna limitación en su resistencia y su aplicación, siempre que el contenido de material cerámico sea inferior al 10%. La normativa Belga describe parámetros parecidos a estos, estableciendo limitaciones a la absorción.

La norma Alemana DIN 1045, permite un empleo de hasta un 5% en peso de agregado reciclado sin establecer restricciones adicionales al concreto; según el ambiente de aplicación esta norma establece ciertas limitaciones en relación con los porcentajes de sustitución.

En la mayor parte de las experiencias realizadas, no se ha considerado el empleo de agregado fino de concreto reciclado por las deficientes prestaciones que suele proporcionar, debido a sus características, que difieren en gran medida de las que posee el correspondiente agregado natural: elevada presencia de contaminantes, dificultad en el control del agua libre, acusadas pérdidas de resistencia y elevada absorción de agua con consecuencias negativas para las características del nuevo concreto.

Adiciones

Existen algunas experiencias en las que se han empleado adiciones como por ejemplo humo de sílice y cenizas volantes en concreto con agregado grueso de concreto reciclado, obteniendo efectos beneficiosos similares a los concretos convencionales.

Aditivos

La utilización de aditivos plastificantes en las dosificaciones de concretos con agregado grueso de concreto reciclado, al igual que en los convencionales, permite conseguir adecuadas manejabilidades, siendo especialmente ventajosa la utilización de aditivos súper-plastificantes

para mejorar los aspectos relativos a la demanda de agua, especialmente en los casos que se utilice agregado no pre- saturado.

Dispersión

Es importante destacar que se pueden presentar diferencias entre unas partidas y otras de agregados de concreto reciclado, que repercutirán en la resistencia a compresión del concreto. De este modo es posible que los coeficientes de variación resultantes puedan ser elevados en el control de calidad.

Si se controla la uniformidad, y la calidad de las partidas de agregados, estos coeficientes de variación pueden verse sustancialmente reducidos.

2.1.5.2. Mezclado

Se encuentran distintas experiencias en las que se han empleado diferentes métodos de mezclado del concreto preparado con agregado grueso de concreto reciclado, distinguiéndose unos de otros en la necesidad de pre-saturar el agregado, o bien de su premezclado en seco, encontrándose ventajas e inconvenientes para cada uno de ellos. Estas alternativas son adecuadas para altos porcentajes de sustitución. En el caso de porcentajes reducidos de agregado de concreto reciclado, el procedimiento de fabricación puede ser el mismo que en un concreto convencional.

En lo relativo a la resistencia a la compresión del concreto endurecido, no hay diferencias apreciables entre los agregados secos y los saturados con superficie seca, siempre que la relación agua/cemento efectiva de los dos concretos sea la misma. Sin embargo, en los concretos fabricados con agregados de concreto reciclado previamente saturados disminuyen los valores de consistencia y las variaciones en la manejabilidad.

2.1.5.3 Propiedades del concreto fresco

Consistencia

La incorporación total de agregado grueso de concreto reciclado seco en el concreto produce en general un aumento de la consistencia cuando se mantiene la misma relación agua/cemento. Debido a la elevada absorción que presenta el agregado de concreto reciclado, durante el proceso de mezclado una cierta cantidad de agua será retenida por los agregados, generando un aumento de consistencia en ocasiones importante y una reducción de la relación agua/cemento efectivo. Así, el aumento de la demanda de agua se debe principalmente a la mayor absorción y al cambio de granulometría del agregado, fundamentalmente por generación de finos durante el mezclado, aunque también pueden influir otros factores como su forma angular y su textura rugosa. Además, la pérdida de manejabilidad es más rápida, ya que después del mezclado el agregado continúa absorbiendo agua. Esto presenta un problema cuando se trata de un concreto fabricado en planta, para el que se produce un intervalo de tiempo entre la producción y la puesta en obra.

Para obtener la consistencia deseada son posibles distintas alternativas:

- Cuantificar la cantidad de agua adicional que se debe añadir al concreto durante el mezclado mediante ensayos previos.
- Utilizar el agregado saturado.
- Añadir súper-plastificante en el concreto.

Contenido de aire

El contenido de aire no experimenta aumentos apreciables en el concreto con agregado grueso de concreto reciclado.

Densidad en estado fresco

La densidad del concreto con agregado reciclado en estado fresco es inferior a la de un concreto convencional debido a la menor densidad que presenta el agregado de concreto reciclado, por el mortero que permanece adherido al agregado natural. Los valores de densidad pueden oscilar entre 2130 y 2400 kg/m³.

Exudación

La exudación del concreto con agregado de concreto reciclado será similar a la del concreto convencional si se utiliza el agregado saturado y muy inferior si se utiliza seco, ya que la elevada absorción de los agregados de concreto reciclado facilita la retención de agua.

2.1.5.4. Ejecución de las obras

El comportamiento del concreto estructural con agregado de concreto reciclado está relacionado con la calidad del propio agregado de concreto reciclado y el porcentaje en que éste sustituye al agregado natural.

Cuando se sustituye parte de agregado grueso por agregado de concreto reciclado (el porcentaje de sustitución del agregado grueso natural por agregado de concreto reciclado es menor o igual al 20% en peso), y su calidad es correcta, entendiendo como tal que proviene de un concreto adecuado y que, tras el reciclaje, la absorción de agua es menor o igual al 7% en peso, dicho comportamiento es análogo al del concreto convencional. En estas condiciones, la ejecución de las obras utilizando concreto con agregado de concreto reciclado es similar a la correspondiente con concreto convencional. Cuando el porcentaje de sustitución del agregado grueso natural por agregado de concreto reciclado supera el 20% indicado, existen algunas

características del concreto con agregado de concreto reciclado que varían en relación con las correspondientes del concreto convencional por lo que se debería ajustar el proceso constructivo.

2.2 Propiedades del concreto con agregado grueso de concreto reciclado:

Las propiedades del concreto con agregado grueso de concreto reciclado pueden verse afectadas negativamente respecto a las de un concreto convencional con la misma dosificación.

Resistencia a la compresión

Las pérdidas de resistencia, cuando se sustituye el 100% del agregado grueso, suelen encontrarse alrededor del 20%, pudiendo alcanzar de forma puntual el 30%. Cuando la sustitución baja al 50%, las pérdidas de resistencia se sitúan en un 2-15%. La pérdida de resistencia suele ser inferior al 5% cuando la sustitución se limita al 20-30%.

A continuación, se presentan los hallazgos en investigaciones nacionales:

Se encontró una disminución de la resistencia a la compresión del 15% para el concreto con agregado de concreto reciclado frente a la muestra patrón, acorde con las investigaciones internacionales.

Se presentaron diferencias considerables frente a las investigaciones internacionales: el concreto con agregado de concreto reciclado presentó mayores resistencias a la compresión que el concreto convencional, superiores del 12 al 64% (atípico); la resistencia especificada a los 28 días fue $f'c = 21$ MPa y la de diseño fue $f'cr = 28$ MPa, el concreto con agregado de concreto

reciclado en promedio resistió 30 MPa mientras que el concreto convencional resistió en promedio 23 MPa.

Se encontraron disminuciones hasta del 12% en la resistencia a la compresión para concreto con agregado reciclado sin curado y 9% con curado.

A los 28 días se encontró que el concreto con agregado grueso de concreto reciclado con una sustitución del 20% tiene resistencia a la compresión superiores al concreto convencional del orden del 6%, mientras que para una sustitución del 40% se presenta el caso contrario 6% menos resistencia frente al concreto convencional.

Módulo de elasticidad

Debido al mortero adherido (cuyo módulo de elasticidad es menor), el módulo de elasticidad de los concretos con agregado grueso de concreto reciclado es inferior al correspondiente a los concretos de control con agregados naturales. Diversos autores indican mayores disminuciones que las observadas en resistencia a compresión y a su vez crecientes al aumentar el porcentaje de sustitución.

A continuación, se presentan los resultados de investigaciones nacionales:

Se encontró una disminución en el módulo de elasticidad del 35% para el concreto con agregado de concreto reciclado frente a la muestra patrón.

Se presentó una disminución hasta del 27% en el concreto con agregado de concreto reciclado comparado con una muestra testigo de concreto convencional.

A los 28 días se encontró que el concreto con agregado grueso de concreto reciclado con una sustitución del 20% tiene un módulo de elasticidad inferior al concreto convencional del orden del 6%, mientras que para una sustitución del 40% este porcentaje aumenta a 9%.

Como resumen a estos estudios se puede indicar que, sustituciones de hasta el 50% del agregado grueso pueden provocar caídas en el módulo de elasticidad del orden del 10%, aumentando esta reducción hasta un 20% (con casos puntuales del 50%) cuando la sustitución es del 100% del agregado grueso. Cabe destacar, como viene siendo habitual, que sustituciones de hasta el 20% afectan muy ligeramente el valor del módulo de elasticidad. Por último, cuando se sustituyen también las fracciones finas, las disminuciones del módulo de elasticidad son superiores pudiendo alcanzar un 80% (sustitución del 100% del agregado fino y 100% del agregado grueso).

Diagrama esfuerzo – deformación

Aunque existen pocos estudios que han evaluado el diagrama esfuerzo – deformación del concreto con agregado reciclado, éstos parecen indicar que su comportamiento es similar al de un concreto convencional. De esta forma, las estructuras diseñadas con estos nuevos concretos pueden proyectarse, en situaciones correspondientes a estados límites últimos de solicitaciones normales, de acuerdo a las teorías utilizadas para los convencionales.

Velocidad de ultrasonidos

La velocidad de ondas ultrasónicas presenta sistemáticamente valores más reducidos en el concreto con agregado reciclado que en el concreto convencional, obteniéndose menores valores cuanto mayor es el porcentaje de agregado de concreto reciclado utilizado en la dosificación. Algunos estudios han relacionado la velocidad de las ondas longitudinales con la resistencia a compresión de los concretos con agregado de concreto reciclado con distintos porcentajes de sustitución. En todos los casos, la velocidad aumenta al aumentar la resistencia de los concretos.

En una investigación nacional se encontró a los 28 días que el concreto con agregado grueso de concreto reciclado con una sustitución del 20% tiene una velocidad de pulso ultrasónico inferior al concreto convencional del orden del 1,6%, mientras que para una sustitución del 40% este porcentaje aumenta a 1,7%; de acuerdo a los valores obtenidos lo clasifican como bueno.

Retracción por secado

La utilización de agregado de concreto reciclado produce mayor retracción en el concreto que el agregado natural. Esto se puede deber, entre otros motivos, al menor módulo de elasticidad que presenta el agregado de concreto reciclado debido a su contenido de mortero, a los mayores contenidos de agua y cemento que se utilizan en el concreto con agregado de concreto reciclado y la mayor absorción del agregado de concreto reciclado.

El valor final que se alcance depende en gran medida del porcentaje de agregado de concreto reciclado presente en la dosificación. Sin embargo, al contrario de lo que sucede con

otras propiedades antes estudiadas, incluso la presencia de reducidas cantidades de agregado de concreto reciclado puede tener un efecto importante en la retracción del concreto.

En una investigación nacional se encontraron aumentos en la retracción por secado desde 153% hasta 367% para muestras sin curado.

Flujo plástico

Igual que en el caso de la retracción, debido al mayor contenido de mortero en los concretos con agregado de concreto reciclado, el flujo plástico de éstos es superior a la de los de control. El aumento, con respecto a un concreto convencional, está en el rango del 20-60% aumentando con el porcentaje de sustitución del 50% al 100%. Los escasos estudios que realizan sustituciones del 30% del agregado grueso indican que apenas se producen incrementos en los valores de flujo plástico.

Resistencia a tracción, flexión y cortante

La resistencia a tracción es una de las propiedades que parece estar menos afectada por la sustitución de los agregados naturales por agregados de concreto reciclado, caso similar se presenta en la resistencia a flexión, mientras que la resistencia a cortante sí se ve afectada.

Resistencia a tracción:

Se observa que cuando la sustitución afecta al 100% del agregado grueso las pérdidas de resistencia a tracción oscilan en rangos del 6-20%, con casos puntuales hasta del 30% mientras que, cuando la sustitución es inferior al 50% las diferencias pasan a ser inapreciables.

Resistencia a flexión:

Puede observarse que sustituciones que afectan únicamente a las fracciones gruesas suponen pérdidas de resistencia a flexión entre el 6% y el 20% (similares a las mencionadas para resistencia a tracción), aumentando cuando la sustitución afecta a ambas fracciones, hasta valores extremos del 30%.

A continuación, se presentan los resultados de investigaciones nacionales:

Se encontraron disminuciones entre el 11 y el 18% para $f'c = 28$ Mpa y 21 Mpa respectivamente.

Se presentó una disminución del 8% valores concordantes con las experiencias internacionales.

Se encontró que el concreto con agregado grueso de concreto reciclado con una sustitución del 20% tiene un módulo de rotura superior al concreto convencional del orden del 3%, mientras que para una sustitución del 40% es inferior del orden del 13%.

Resistencia a cortante:

Se observa que sustituciones que afectan únicamente a las fracciones gruesas suponen pérdidas de resistencia a cortante del 26%, aumentando dicho valor al 30-40% cuando las sustituciones afectan tanto a las fracciones finas como a las gruesas. Además, las relaciones entre la resistencia a la compresión y otro tipo de resistencias (tracción o cortante) son similares para concretos convencionales y concretos con agregados de concreto reciclado.

Densidad

La densidad del concreto es inferior a la de un concreto convencional debido a la menor densidad que presenta el agregado de concreto reciclado.

Estos valores suponen una reducción respecto al hormigón de control entre un 4% y un 15% cuando se utiliza un 100% de agregado de concreto reciclado, y entre un 1% y un 5% cuando el porcentaje de agregado es inferior al 50%.

2.2.1 Durabilidad

La durabilidad del concreto convencional se explica en gran parte por la dificultad que los agentes agresivos tienen para penetrar la red de poros del concreto, por ello, la porosidad y la permeabilidad son propiedades fundamentales que condicionan la durabilidad. La utilización de agregados de concreto reciclado introduce un mayor volumen de poros en el concreto que afectará a todos los mecanismos de transporte facilitando la penetración de los agentes agresivos lo que puede traducirse en una disminución de la durabilidad.

Otra cuestión específica de los concretos con agregados de concreto reciclado es la presencia de una pasta de distinta naturaleza a la del nuevo concreto y que puede influir en la reacción álcali-agregado. Así, el concreto original puede no haber experimentado la reacción álcali-agregado a pesar de contener agregado reactivo, por falta de alcalinos y/o de agua, condiciones que sin embargo pueden darse en el nuevo concreto por el cemento empleado y por la permeabilidad del mismo.

Porosidad, absorción y permeabilidad

La presencia de agua es el principal factor en el deterioro del concreto, con excepción del deterioro mecánico. El transporte de agua a través del concreto viene determinado por el tipo, tamaño, distribución e interconexión de los poros y fisuras. Estos factores determinan la permeabilidad del concreto y a su vez, ésta condiciona decisivamente la durabilidad. Una vez producida la entrada del agua desde la superficie mojada, ésta circula por el concreto en función de su porosidad, transportando a su vez las sustancias agresivas disueltas.

La incorporación del agregado reciclado en el concreto representa un aumento de su porosidad, de su capacidad de absorción y de su permeabilidad, aunque el resultado final depende también de las características de la nueva matriz cementante.

Diferentes estudios que han evaluado esta propiedad en concretos con sustitución del agregado grueso natural por agregado grueso de concreto reciclado han obtenido un aumento del coeficiente de absorción; estos incrementos dependen de la porosidad del agregado de concreto reciclado y del porcentaje de sustitución, y pueden variar entre el 15% y el 70% respecto a la absorción del concreto convencional.

En una investigación nacional se evaluó mediante la metodología ISAT BS 1881 parte 208 la absorción superficial inicial a 46 y 58 días, se obtuvo para el primer caso a los 10 minutos un aumento del 8% para el concreto con agregado grueso de concreto reciclado con una sustitución del 20% y del 10% para una sustitución del 40%, a los 30 minutos no hubo variación para sustitución del 20% y se presentó un aumento del 14% para una sustitución del 40% y a los 60 minutos se obtuvo una disminución del 13% para sustitución del 20% y un aumento del 6% para sustitución del 40%; para el segundo caso, se obtuvo a los 10 minutos un aumento del

13% para el concreto con agregado grueso de concreto reciclado con una sustitución del 20% y del 11% para una sustitución del 40%, a los 30 minutos se obtuvo un aumento del 14% para sustitución del 20% y un aumento del 100% para sustitución del 40% y a los 60 minutos no hubo variación para sustitución del 20% y se presentó un aumento del 25% para una sustitución del 40%, así se estableció una permeabilidad absorción media y por otra parte –mediante el ensayo de sortividad ASTM C 1585– una calidad buena; a los 28 días el índice de absorción se incrementó 2% para el concreto con agregado grueso de concreto reciclado con una sustitución del 20% y 10% para una sustitución del 40% y a los 56 días se obtuvo una disminución del 19% para sustitución del 20% y un aumento del 21% para sustitución del 40%.

Otros estudios han comprobado que la porosidad y la permeabilidad aumentan con la inclusión de agregado de concreto reciclado, siendo este efecto mucho más importante cuando se utilizan además las fracciones recicladas finas. El aumento de la porosidad en estos casos es de 1,5 a 2 veces mayor que la del concreto de control. La permeabilidad es de 2 a 3 veces mayor que la del concreto de control.

Aunque se han encontrado grandes variaciones en los estudios realizados, la tendencia más generalizada es señalar que la introducción de agregado de concreto reciclado implica un descenso de la resistencia a la helada, aunque éste es poco importante para porcentajes bajos de sustitución. La resistencia a la helada puede mejorarse reduciendo la relación agua/cemento y utilizando aditivos inclusores de aire.

La mayor porosidad en el concreto con agregado de concreto reciclado implica, en caso de saturación, un mayor volumen de agua absorbida si se compara con un concreto

convencional. Ello representará un mayor deterioro de los concretos con agregados de concreto reciclado frente a heladas.

Algunos autores utilizan el ensayo ASTM C-666(A) y concluyen a partir de los factores de durabilidad obtenidos, que los concretos con agregado de concreto reciclado tienen baja resistencia a la helada [Ref. 1 Tabla 7.3]. Esto se ve corroborado por el descenso del módulo dinámico con el número de ciclos hielo- deshielo.

Carbonatación

En general no existe acuerdo entre los autores sobre cuál es el comportamiento de los concretos con agregados de concreto reciclado frente a la carbonatación y el consiguiente riesgo de corrosión. En este sentido algunos estudios encuentran que el proceso de carbonatación depende de los valores relativos de permeabilidad del mortero nuevo y del agregado de concreto reciclado, lo que explicaría las discrepancias entre los valores encontrados por distintos autores.

También hay que tener en cuenta que la reserva alcalina del concreto con agregado de concreto reciclado puede ser mayor al aumentar la cantidad de pasta presente, lo que provocaría una disminución de la velocidad de avance del frente de carbonatación.

En una investigación nacional, se encontraron para 76 días frentes de carbonatación (cámara) de 16 mm para concreto convencional, 9 mm para concreto con agregado grueso reciclado con una sustitución del 20% y 11 mm para sustitución del 40%, es decir, 45% y 32% inferior respectivamente para concretos con agregado grueso reciclado frente a concretos convencionales; similarmente ocurre con los coeficientes de exposición acelerado y ambiente,

pero con porcentajes de 20% y 9% respectivamente. Lo anterior resultó en una clasificación regular para el concreto convencional y bueno para los concretos con agregado grueso de concreto reciclado.

Los resultados parecen indicar que la utilización de agregados gruesos de concreto reciclado de calidad y en pequeña cantidad, mantienen profundidades de carbonatación similares a las de los concretos convencionales, mientras que para sustituciones elevadas se pueden alcanzar profundidades mayores.

Penetración de cloruros

La penetración del ión cloruro en el concreto con agregado de concreto reciclado tiene lugar a través del mortero nuevo, la zona de transición entre pasta nueva – agregado de concreto reciclado y a través del mortero viejo. Es obvio que si se disminuye la permeabilidad de cualquiera de los tres medios disminuirá la facilidad de penetración de los cloruros.

En una investigación nacional se presentan los siguientes valores de penetración de cloruros (Coulombs): a 28 días 2474 para concreto convencional, 2361 para concreto con agregado grueso reciclado para una sustitución del 20% del agregado natural y 2403 para una sustitución del 40%; respectivamente a 56 días se presentan valores de 2988, 2377 y 2526 que resulta en una clasificación moderada.

Por otra parte, algunos autores e investigadores concluyen que la permeabilidad al ión cloruro en los hormigones con grava y arena de concreto reciclado es mucho mayor que la del concreto convencional, siendo aún mayor en los concretos con agregados de concreto reciclado fabricados con agregados de menor calidad.

Corrosión de armaduras

Tal y como ha quedado reflejado en los apartados anteriores, debido a la mayor permeabilidad, profundidad de carbonatación y velocidad de difusión de cloruros, la protección que da el concreto con agregado de concreto reciclado es inferior, especialmente para altos porcentajes de sustitución utilizando un agregado de concreto reciclado de baja calidad.

En principio la situación es peor que en un concreto convencional, pero ésta puede mitigarse con el empleo de porcentajes moderados de sustitución por agregado de concreto reciclado, controlando la calidad del mismo y/o disminuyendo la relación agua/cemento del concreto con agregado de concreto reciclado, así como garantizando el espesor del recubrimiento de la armadura.

Ataque por sulfatos

La resistencia de los concretos con agregado de concreto reciclado al ataque por sulfatos depende sobre todo del tipo de cemento utilizado en el nuevo concreto, así como del cemento presente en los agregados de concreto reciclado, de ahí la importancia de conocer el origen del concreto.

En una investigación nacional se presentan los siguientes porcentajes a 68 días en solución de sulfato: 2,4% para concreto convencional, 2,0% para concreto con agregado grueso reciclado para una sustitución del 20% del agregado natural y 1,7% para una sustitución del 40%.

Por otra parte, a nivel internacional concluyen que hasta un 30% de sustitución los resultados de resistencia a sulfatos son similares. Para sustituciones mayores el comportamiento del concreto con agregado de concreto reciclado es claramente inferior.

Reactividad álcali – agregado

El control de la reacción álcali – agregado en concretos con agregados de concreto reciclado es idéntico al de los concretos convencionales en el caso de una sola fuente de procedencia del agregado de concreto reciclado. En cambio, es complejo en el caso de diversas fuentes de origen.

Según trabajos reportados por Gottfredsen y Thsogersen, los agregados de concreto reciclado pueden presentar cuatro niveles de reacción álcali – agregado:

- 1) Agregado de concreto reciclado con mortero adherido sin ningún contenido de partículas reactivas.
- 2) Agregado de concreto reciclado con mortero adherido donde la reacción álcali – agregado se ha terminado en reacciones previas.
- 3) Agregado de concreto reciclado con mortero adherido con reacciones aún en proceso.
- 4) Agregado de concreto reciclado con mortero adherido con partículas donde no se ha presentado la reacción álcali – agregado por carencia de humedad o de álcalis.

Los niveles 3 y 4 son potencialmente peligrosos de presentar reacción álcali – agregado si son utilizados para fabricar concretos con agregados de concreto reciclado.

Estudios españoles han constatado en caso de aporte de álcalis por parte del cemento utilizado en el nuevo concreto (situación 4 de las descritas anteriormente). En el agregado de concreto reciclado eran reactivos tanto el agregado grueso original como el mortero adherido y, sin embargo, la reacción no se había dado en el concreto de origen. En cambio, en el nuevo

concreto apareció el gel en una aureola formada alrededor de la zona de contacto entre el mortero del agregado de concreto reciclado y el mortero con el nuevo cemento.

2.2.2 Consideraciones de diseño

No son muchos los autores que incluyen en sus estudios el campo estructural de los concretos con agregados de concreto reciclado. Este es un ámbito en el que son necesarios más estudios experimentales que permitan conocer en profundidad el comportamiento de los nuevos concretos; ésta es una de las principales razones por las cuáles se acometieron - en el presente trabajo de grado- estudios tendientes a analizar elementos estructurales para posteriormente ser ensayados bajo cargas estáticas y analizar el comportamiento del concreto con agregado grueso de concreto reciclado (con una sustitución del 20% del agregado grueso natural) frente al concreto convencional (100% de agregado natural) o de control.

A manera de resumen del comportamiento estructural de experiencias previas para concreto con agregado de concreto reciclado se tiene que:

- La resistencia a flexión de las vigas fabricadas con concreto con agregado de concreto reciclado apenas varía con respecto al concreto convencional en cuanto a momento último.
- La disminución de resistencia a cortante en piezas sin armadura transversal sólo es perceptible para porcentajes de sustitución superiores al 25%. Para mayores valores puede llegar a ser del 20%. En piezas con armadura transversal se manifiesta ya para bajos porcentajes, pero no supera el 10%.
- Son válidas las expresiones de cálculo para el concreto convencional, considerando un margen adicional del 10%, lo cual apenas influye en la cuantía de acero transversal.
- En cuanto a adherencia puede anotarse que en los concretos con agregados de concreto reciclado se produce una caída de las tensiones de adherencia en el momento de deslizamiento

de la barra cuando ésta se encuentra en posición de buena adherencia. Esta pérdida de adherencia aumenta con la baja calidad del agregado de concreto reciclado y con el incremento del porcentaje de sustitución.

2.2.3 Ensayos de elementos estructurales

Ensayos a flexión

Yagishita trabajó con cuatro tipos de concretos, un concreto convencional y tres reciclados (diferentes calidades) en los que se sustituyó el 100% del agregado grueso natural por agregado de concreto reciclado. Con estos concretos se fabricaron vigas reforzadas con armadura inferior y superior y estribos para determinar el comportamiento bajo flexión (estática y a fatiga).

Los resultados obtenidos en estos ensayos revelan que la resistencia última de las vigas con concreto con agregado grueso de concreto reciclado es aproximadamente un 12% inferior a la de las vigas fabricadas con concreto convencional. En cuanto a la deformación y fisuración no existen diferencias significativas entre los distintos tipos de vigas.

La curvatura de las secciones en la zona de momentos constantes, al alcanzarse los valores de cargas máximas, parece ser menor en las vigas de concreto con agregado grueso de concreto reciclado de menor calidad.

Los resultados obtenidos en los ensayos de flexión a fatiga muestran que la rigidez de las vigas se reduce con los ciclos de carga, no existiendo diferencias en las vigas de concreto con agregado grueso de concreto reciclado. Los estudios sobre la fisuración durante los ciclos sucesivos revelan que en las primeras etapas las vigas de concreto con agregado grueso de

concreto reciclado presentan mayor número de pequeñas fisuras que las de concreto convencional, aunque para el último ciclo no existen apenas diferencias entre ellas.

Por otra parte, Mukai fabricó vigas para ensayar hasta rotura bajo flexión y flexión sostenida, para esto utilizó seis tipos de concretos en los que incluso se realizaron sustituciones del agregado fino.

Los resultados obtenidos mediante los ensayos de flexión revelan que el momento último previsto por las distintas normativas se ajusta, con carácter conservador, a los resultados experimentales obtenidos en las vigas de concreto con agregado de concreto reciclado. Este carácter se pierde cuando se analiza el momento de fisuración.

Los resultados obtenidos de los ensayos bajo carga sostenida muestran que las flechas de las vigas de concreto con agregado de concreto reciclado son superiores a las de concreto convencional. Además, mientras que en las vigas de concreto convencional los aumentos de deformación bajo carga sostenida se reducen mucho a partir de las 13 semanas, en las de concreto con agregado de concreto reciclado se mantienen incluso tras un año de carga.

De todo ello se concluye que el comportamiento a flexión de los concretos con agregado de concreto reciclado, incluso con el 100% de sustitución del agregado grueso, apenas difiere del de los concretos convencionales en lo que a momento último se refiere. Las normativas vigentes pueden utilizarse proporcionando valores conservadores.

En deformación y fisuración el comportamiento de los distintos concretos también es similar, detectando algunas diferencias, en detrimento de los concretos con agregado de

concreto reciclado con el 100% de sustitución, cuando se aplican cargas sostenidas. Es de esperar, sin embargo, que estas diferencias sean inferiores cuando las sustituciones se realicen en porcentajes inferiores al 100%.³⁰

McNeil hizo una revisión de ensayos de vigas de concreto reforzado sometidas a flexión, en la cual encontró que las deflexiones en el centro de la luz bajo cargas de servicio son mayores en los concretos con agregado de concreto reciclado comparativamente con los concretos convencionales, lo anterior se justifica por la reducción en el módulo de elasticidad; no obstante, las deflexiones se encuentran por debajo de los límites establecidos en la normatividad por lo que no se descarta su utilización.

En cuanto a fisuración, las vigas de concreto con agregado de concreto reciclado presentan mayor ancho de fisuras y el espaciamiento de las mismas es menor frente a las vigas de concreto convencional; similar a lo expuesto para deflexiones, los valores obtenidos están por debajo de las especificaciones aplicables y las diferencias entre los tipos de concreto no son tan significativas como para impedir su utilización.

No hay mucha variación en el momento último, si las resistencias a la compresión del concreto con agregado de concreto reciclado y del concreto convencional son similares las diferencias son muy pequeñas y por lo tanto son aplicables los mismos métodos de diseño. Se observó que los momentos últimos experimentales son superiores –en todos los casos– que los teóricos, por lo que no hay razones que limiten las aplicaciones estructurales para momento último. Sin embargo, el momento de fisuración si es afectado por la utilización de agregado de concreto reciclado, por lo que se obtienen momentos de fisuración ligeramente menores, con respecto al concreto convencional, cuando se realizan sustituciones del agregado natural; no

obstante, es totalmente viable la utilización de agregados de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado sometidos a flexión.

Por su parte, Tsujino llegó a conclusiones similares al estudio anterior, mediante el ensayo a flexión de vigas de concreto reforzado con utilización de agregado de concreto reciclado, con la particularidad que éstos agregados fueron tratados superficialmente con un agente de tipo aceitoso a fin de controlar la mayor absorción de los mismos por la presencia de concreto adherido.

Encontró que las deflexiones son mayores en los concretos con agregado de concreto reciclado frente a los concretos convencionales, pero las diferencias no son muy significativas y para el uso práctico se pueden mitigar utilizando una menor relación agua-cemento.

En cuanto a fisuración, las vigas de concreto con agregado de concreto reciclado presentan un espaciamiento de fisuras menor frente a las vigas de concreto convencional, pero los anchos de las mismas son significativamente menores a los especificados en los códigos, cumpliendo a cabalidad con los requerimientos, en especial en lo concerniente a durabilidad (ancho de fisuras menor a 0,3 mm).

Observó que no hay diferencias significativas en el momento de fluencia ni en el momento último, las curvas carga-deflexión son similares, hay similitud en las cargas de falla experimentales y teóricas; por lo tanto, son aplicables los mismos métodos de diseño. Se obtuvieron momentos de fisuración ligeramente menores en los elementos de concreto con agregado de concreto reciclado frente a los de concreto convencional; sin embargo, el concreto

con agregado de concreto reciclado es aplicable, sin limitaciones, en elementos estructurales de concreto reforzado sometidos a flexión.

Ensayos a cortante

González Fonteoba utilizó un concreto convencional y un concreto con agregado de concreto reciclado en los que se sustituyó el 50% del agregado grueso natural por agregado de concreto reciclado. Además utilizó un concreto convencional con el 8% de humo de sílice añadido y ese mismo concreto con agregado de concreto reciclado. Con estos concretos se fabricaron dieciséis vigas que se ensayaron hasta rotura por cortante. Las vigas presentaban diferentes cuantías de armadura transversal.

En cuanto a la fisuración se observó que, independientemente del material, no hay relación entre el cortante de fisuración y la cuantía de armadura transversal dispuesta. Se constató que los fenómenos de desprendimiento tenían lugar, en especial, en aquellas vigas que incorporaban agregados de concreto reciclado, lo que se mitigaba con la inclusión de humo de sílice en la dosificación del concreto con agregado de concreto reciclado. Se observó además que no todas las vigas alcanzaron la plastificación, sólo el 25% de las vigas ensayadas la alcanzaron.

Se observó que a medida que aumenta la cuantía de armadura transversal (disminución de la separación entre estribos), aumenta el valor del cortante de plastificación. Sin embargo, un aumento de la cuantía conseguida a base de aumentar el diámetro de los estribos (igual separación entre ellos) produjo valores de carga de plastificación menores.

Por otra parte, Etxeberria Larrañaga ensayó doce vigas, agrupadas en cuatro series (concreto convencional, concreto con sustitución del agregado grueso natural por agregado de concreto reciclado en porcentajes de 25%, 50% y 100%) con tres diferentes cuantías de armadura transversal, que se ensayaron hasta rotura por cortante.

Los resultados obtenidos indican pequeñas diferencias de comportamiento entre los diferentes concretos, sobre todo en situación de rotura, diferencias que aumentan cuando se analiza la fisuración. En concretos con altos porcentajes de agregado de concreto reciclado la fisuración se origina a cargas inferiores.

La forma de rotura de las vigas con diferentes porcentajes de agregado de concreto reciclado y la misma cuantía de armadura transversal es similar.

Para las vigas sin armadura transversal, se puede decir que las de concreto con agregado de concreto reciclado con una sustitución del 25% tienen la misma resistencia a cortante que las de concreto convencional. Sin embargo, las vigas con sustituciones del 50% y 100% tienen un 12% y 17% menos de resistencia a cortante respectivamente con respecto a las vigas de concreto convencional.

El comportamiento de vigas con armadura transversal y diferentes porcentajes de agregado de concreto reciclado es muy similar a las vigas de concreto convencional, con una reducción máxima de un 10% en la capacidad resistente a cortante.

Yagashita realizó dos tipos de ensayo a cortante: cortante estático y cortante a fatiga.

Los resultados obtenidos de los ensayos a cortante estáticos revelan que, aunque el cortante último es similar en todas las vigas, el cortante en el momento de aparición de la primera fisura es inferior en las vigas que incorporan agregado de concreto reciclado. Las deflexiones son muy similares en todas las vigas; sin embargo, los anchos de fisura en las vigas con concreto con agregado de concreto reciclado son mayores.

En cuanto a los ensayos a cortante con ciclos de carga se observa que en todas las vigas se produce una marcada reducción de rigidez en los primeros ciclos de carga y mientras que en las vigas con agregados convencionales el valor alcanzado se mantiene, en las que incorporan agregado de concreto reciclado las pérdidas continúan a medida que aumentan los ciclos. Las fisuraciones por cortante en todas las vigas aparecen mucho antes de llegar al último ciclo.

En los ensayos de Mukai los resultados obtenidos revelan que se ajustan bien a las expresiones de cálculo de la normativa japonesa. Al igual que en el caso de la flexión las predicciones normativas de cortante último pueden ser aplicadas a los nuevos concretos ya que proporcionan resultados que, en todos los casos, suponen una reserva de seguridad,

En cuanto a la fisuración, sin embargo, si se han encontrado diferencias de comportamiento, incluso para sustitución del 50% del agregado grueso. La fisuración en los concretos con agregado reciclado se produce para porcentajes de carga última menores que los de los concretos convencionales. Este efecto se manifiesta de forma más notable cuando se aplican ciclos de carga.

Del estudio de deflexiones se concluye que los concretos con agregado de concreto reciclado, incluso con el 100% de sustitución del agregado natural, presentan comportamientos similares a los convencionales.

2.3 Definición de Términos

2.3.1 Acero

Son varillas de sección redonda, las cuales tienen corrugaciones cuyo fin es restringir el movimiento longitudinal de las varillas relativas al concreto que las rodea.

Fotografía 1: varillas de acero corrugado

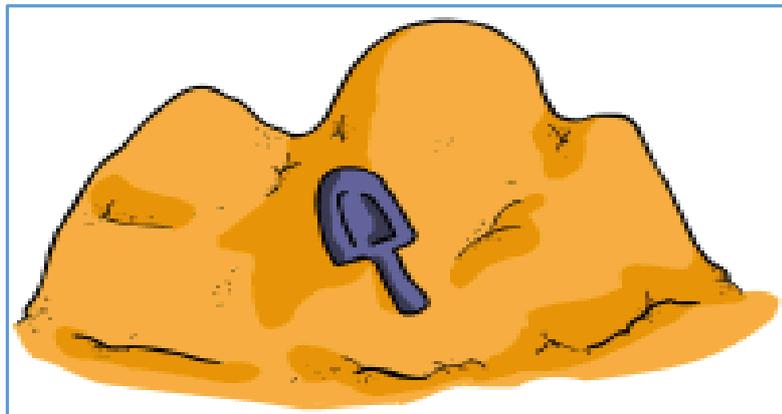


Fuente: Internet

2.3.2 Arena

Materia constituida por pequeños granos de mineral desprendidos de las rocas y acumulados en playas, márgenes de ríos o formando capa sobre un terreno.

Fotografía 2: Arena



Fuente: Internet

2.3.3 Carga muerta

Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su propio peso.

Fotografía 3: Carga muerta



Fuente: Internet

2.3.4 Carga viva

Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos móviles soportados por la edificación.

Fotografía 4: Carga viva

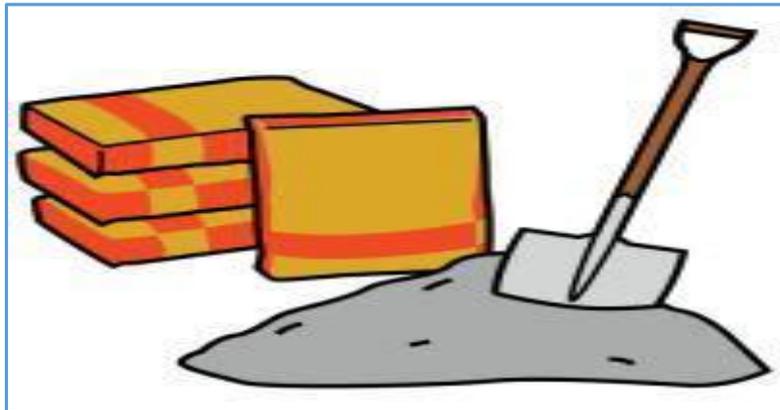


Fuente: Internet

2.3.5 Cemento

Material de construcción compuesto de una sustancia en polvo que, mezclada con agua u otra sustancia, forma una pasta blanda que se endurece en contacto con el agua o el aire.

Fotografía 5: Cemento



Fuente: Internet

2.3.6 Concreto

Es un material semejante a la piedra que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena y grava u otro agregado y agua; después esta mezcla se endurece en formaletas con la forma y dimensiones deseadas.

Fotografía 6: Concreto



Fuente: Internet

2.3.7 Columna

Elemento arquitectónico de soporte, rígido, más alto que ancho y normalmente de sección cilíndrica o poligonal, que sirve para soportar la estructura horizontal de un edificio, un arco u otra construcción.

Fotografía 7: Columnas

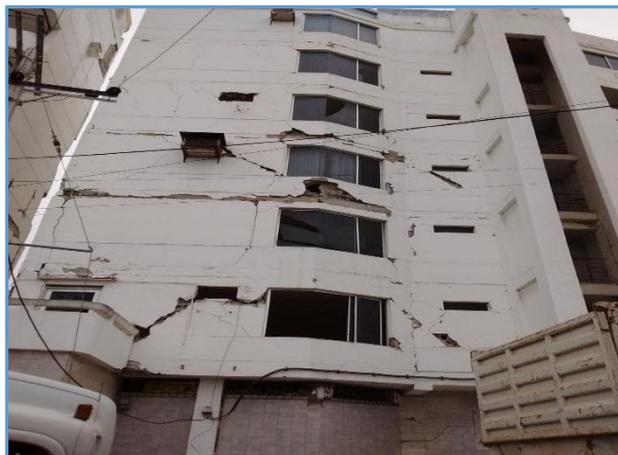


Fuente: Internet

2.3.8 Sismo

Serie de vibraciones de la superficie terrestre generadas por un movimiento brusco o repentino de las capas internas (corteza y manto).

Fotografía 8: Sismo

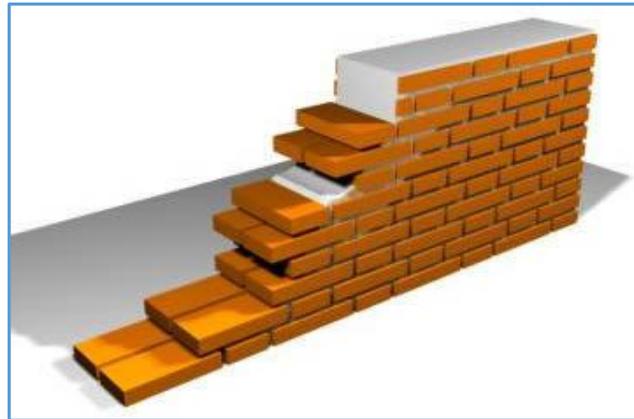


Fuente: Internet

2.3.9 Tabique

Pared delgada; en especial la pared interior de una casa que no soporta cargas y sirve para la división del espacio de las habitaciones.

Fotografía 9: tabiquería

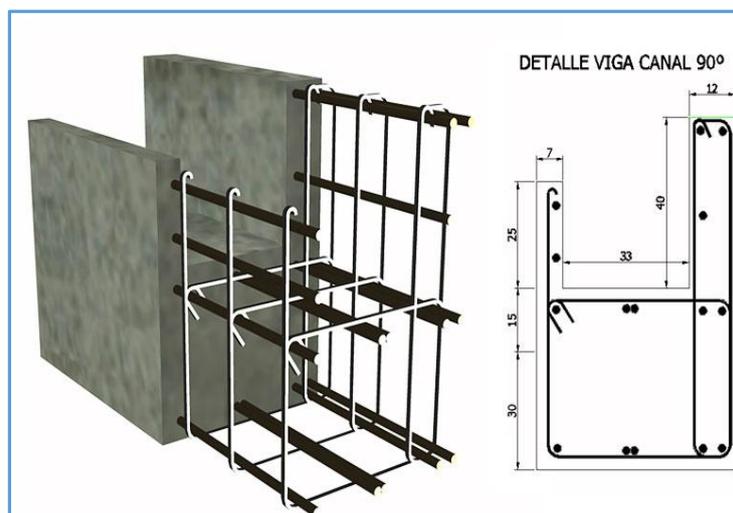


Fuente: Internet

2.3.10 Viga

Elemento arquitectónico rígido, generalmente horizontal, proyectado para soportar y transmitir las cargas transversales a que está sometido hacia los elementos de apoyo.

Fotografía 10: Vigas

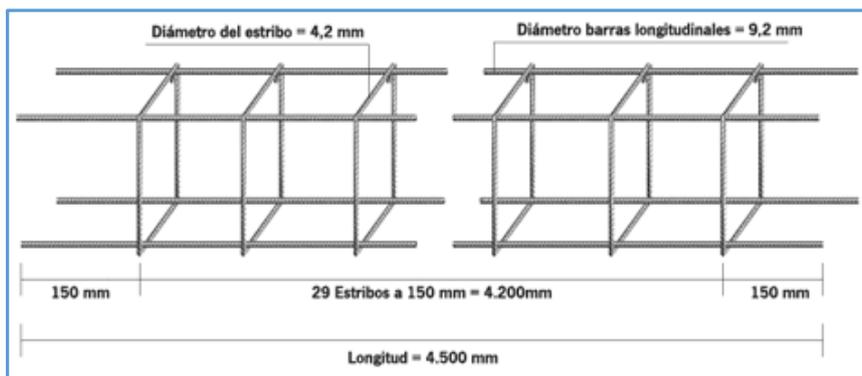


Fuente: Internet

2.3.11 Acero de refuerzo

El acero de refuerzo se coloca en el concreto para absolver esfuerzos de tracción, de compresión, cortante y torsión, está conformada por barras corrugadas en acero que se utilizan en estribos, refuerzos de retracción y temperatura, o refuerzo en espiral y cuando conforma mallas electro soldadas.

Fotografía 11: Aceros de refuerzo



Fuente: Internet

2.3.12 Concreto reforzado

Concreto al cual se le adiciona un refuerzo de acero en barras, mallas electro soldadas, pernos de cabeza y fitras de acero deformadas dispersas para absolver los esfuerzos que el concreto por su propia condición no lo puede hacer, el traslado de los dos materiales es de conjunto, es decir, a partir de la compatibilidad de las deformaciones de los dos materiales.

Fotografía 12: Concreto reforzado



Fuente: Internet

2.3.13 Extracción de fraguado

Disminución del volumen del concreto por la acción del proceso de fraguado y la pérdida de agua o secado, a medida que el concreto se seca, se retrae en volumen, es necesario controlar estos procesos pues pueden causar agrietamientos.

Fotografía 13: Fraguado

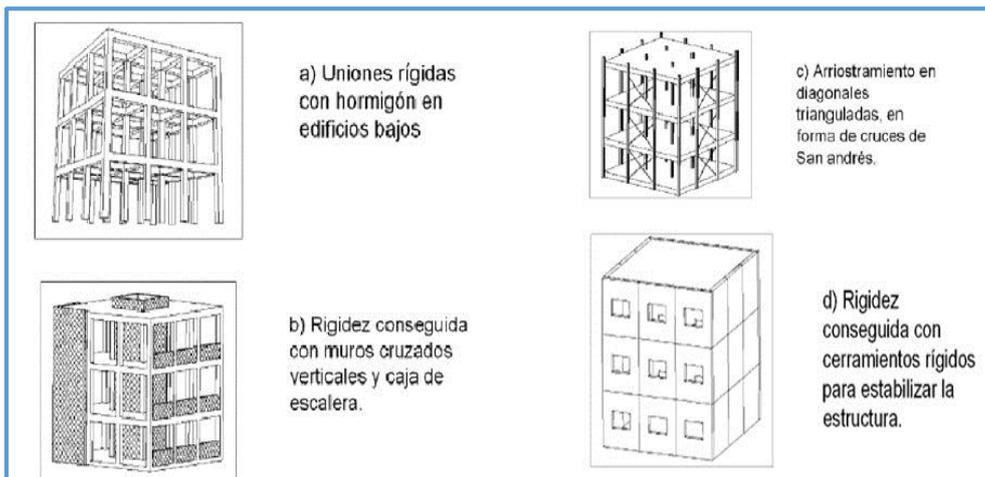


Fuente: Internet

2.3.14 Arriostramiento

Es la técnica que consiste en colocar piezas diagonales en los pórticos de una estructura, con el fin de darle mayor estabilidad e impedir la deformación.

Fotografía 13: Fraguado



Fuente: Internet

2.3.15 Asentamientos

Más hundimientos del terreno que pueden causar graves daños a las estructuras, como formación de grietas, o desprendimiento de elementos.

Fotografía 15: Asentamiento

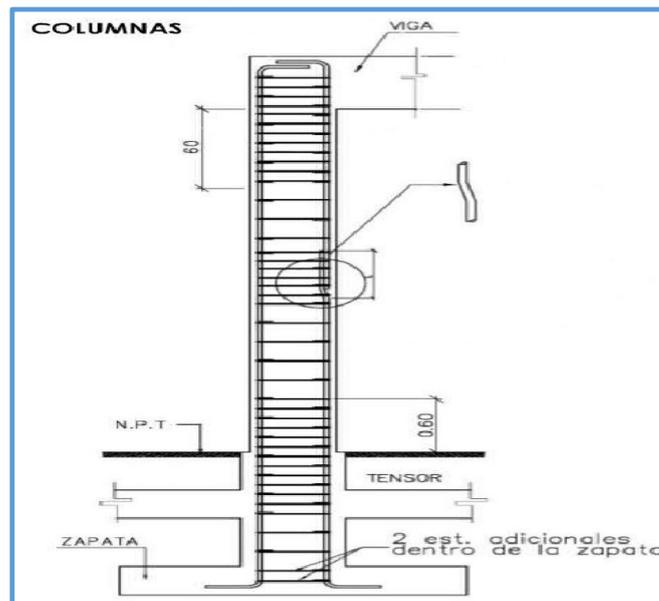


Fuente: Internet

2.3.16 Columnas

Elemento estructural encargado principalmente de recibir cargas axiales de compresión, transportan las cargas de la edificación hasta los elementos de fundación en el suelo.

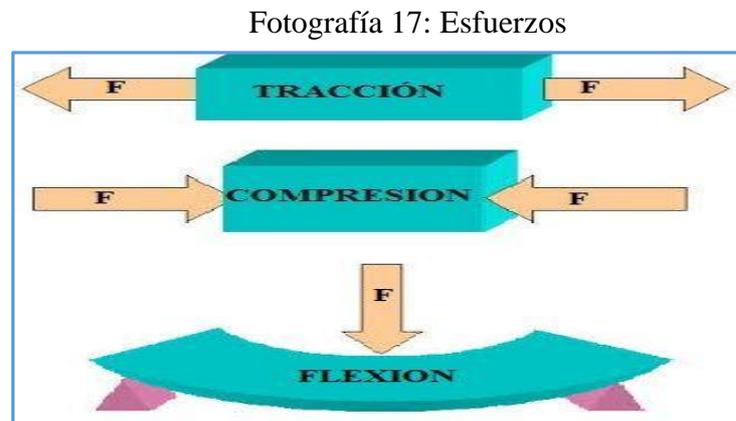
Fotografía 16: Columnas



Fuente: Internet

2.3.17 Esfuerzos

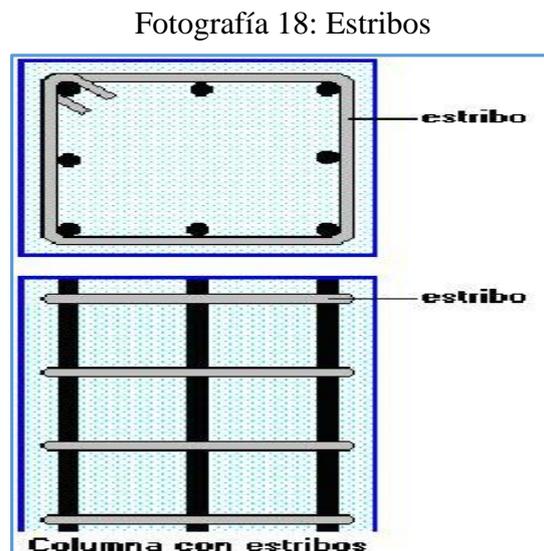
Son fuerzas internas de un elemento, que resisten cargas externas y se oponen a la deformación que estas le ocasionan, pueden ser de compresión, tracción, corte, flexión o torsión, según el tipo de la carga externa.



Fuente: Internet

2.3.18 Estribos

Conforman la armadura transversal de un elemento estructural, estos se encargan de resistir fuerzas de corte y tracción diagonal que puedan incidir sobre un elemento.

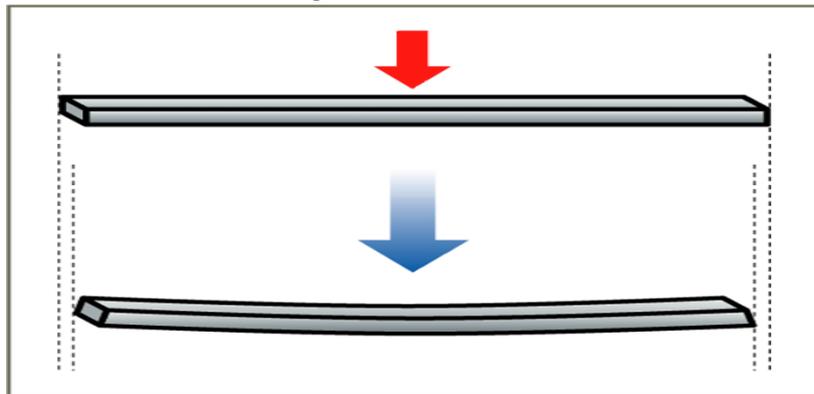


Fuente: Internet

2.3.19 Flexión

Es un tipo de esfuerzo que incluye tracción y compresión, este es un mecanismo propio de las vigas, que, con la acción de su propio peso y cualquier carga adicional externa, inciden fuerzas perpendiculares que producen una deformación en la pieza que tiende a curvarse hacia abajo.

Fotografía 19: Flexion

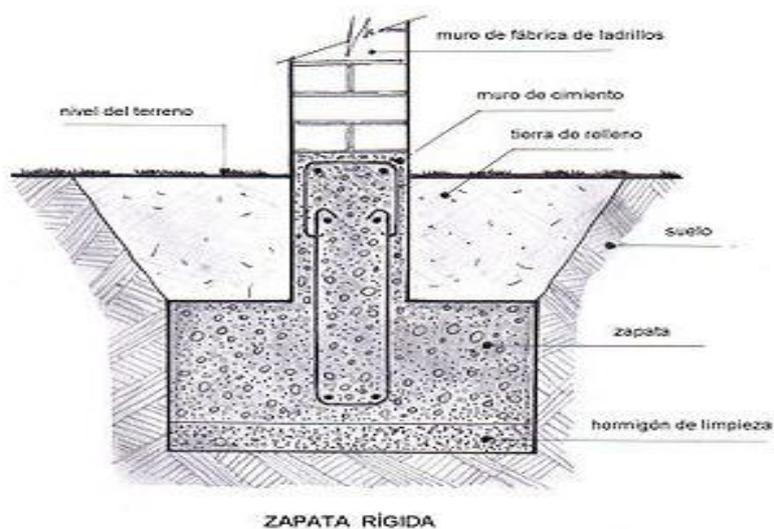


Fuente: Internet

2.3.20 Fundación

Es el elemento intermedio entre la superestructura y el terreno de soporte, estas permiten trasladar las cargas que soporta una estructura al suelo, zapatas, placas, pilotes, caissons, etc.

Fotografía 20: Fundacion



Fuente: Internet

2.3.21 Junta

La separación que debe establecerse entre dos partes contiguas de una obra para permitir su expansión y contracción causadas por la temperatura, evitando fisuras de cualquier tipo.

Fotografía 21: Juntas



Fuente: Internet

CAPITULO III

III. MÉTODO

3.1 tipo de investigación

Método Científico

En el presente trabajo es de investigación científica porque se concibe como un conjunto de procesos sistemáticos y empíricos, que se aplican al estudio de un fenómeno, es dinámica, cambiante y evolutiva. Se puede manifestar de tres formas: cuantitativa, cualitativa y mixta. Cada una es valiosa e importante y respetable.

Fuente: (Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2006)

La tesis, Reforzamiento estructural de una edificación de dos pisos para ampliación a cuatro pisos, corresponde al método científico, porque determina el procedimiento para demostrar que un enunciado es así, cumple una función y tiene utilidad, analiza y sintetiza la realidad permitiéndonos llegar a explicaciones lógicas y coherentes.

3.2 Ámbito Temporal y Espacial

El presente trabajo de investigación se desarrolló entre los años 2016 y 2017 en una edificación de 2 pisos, en el sector 2 de la Urbanización Bocanegra - Callao.

3.3 Variables

3.3.1 Variables independientes.

Optimizar.

Indicadores.

Cantidad de agregado grueso de concreto reciclado.

3.3.2 Variables dependientes.

Rendimiento.

Costo.

Programación.

- **Indicadores.**

Construcción sostenible, calidad de la construcción.

3.4. Población y muestra.

a) Población:

La población estuvo constituida por las viviendas de material noble que existen en el sector 2 de la Urbanización Bocanegra - Callao en un total de 600 casas.

b) Muestra:

Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó el muestreo aleatorio simple que se calculó con la siguiente fórmula:

Dónde:

n = Muestra óptima

N = Tamaño de la población

P y q = parámetros estadísticos de la población (cuando son desconocidos se le asigna $p = 1$ y $q = 0.1$)

E = Nivel o margen de error admitido 5%, considerado por el investigador.

Z = Número de desviaciones estándar con respecto a P
asociados a un nivel de confianza de 95%

$n = 122$ viviendas

El investigador trabajará con una muestra, como formulación directa. La muestra de investigación estará dada por la Edificación de la vivienda ubicada, en el sector 2 de la Urbanización Bocanegra – Callao

3.5. Técnicas e Instrumentos

3.5.1 Técnica de la encuestas

Instrumento: Cuestionario

3.5.2 Técnica de la entrevista

Instrumento: Guía de Entrevista

La encuesta-entrevista fue dividida en 4 partes con diferentes objetivos;

a) Saber hasta qué punto el personal técnico de las empresas conoce sus funciones y el de las empresas con las que se complementan para realizar su trabajo.

b) Tratar de reconocer o ubicar algún tipo de problema con el personal técnico para que puedan desempeñar perfectamente su trabajo.

c) Establecer a través de las respuestas la relación de construcción sostenible y calidad de material reciclado..

d) Por último identificar aspectos éticos y morales, en sí la conducta humana. Cabe mencionar que se obtuvieron datos personales como son Nombre, Edad, Sexo y Actividades que realiza.

El total de entrevistas realizadas fue de 23 en diferentes niveles jerárquicos en ambas empresas.

Encuesta-Entrevista

El motivo de esta encuesta es estudiantil, los datos proporcionados son para uso estadístico y son totalmente confidenciales.

Nombre:

Edad:

Sexo: H M

Puesto: Actividades que realiza:

1. ¿Conoce la función de la(s) empresa(s) Constructora(s)?

Si No

2. ¿Cuál es?

3. . ¿Conoce la función de las empresas Supervisoras?

Sí No

4. . ¿Cuál es esa función?

5. ¿Se siente cómodo con su trabajo?

Sí No

6. ¿Por qué? 7. ¿Siente que le hace falta algo para realizar mejor su trabajo?

Sí No

7. . ¿Qué le hace falta?

8. . ¿Qué propone para mejorar su desempeño en el ámbito laboral?

9. . ¿En la práctica cuál es el papel que toma la empresa Supervisoras?

10. ¿En la práctica cuál es el papel que toma la empresa Constructora?

11. ¿Cree que hay una mala relación entre la empresa supervisora y la empresa constructora?

Si No A veces

12. . ¿Cree que la empresa Constructora es eficiente en el rol tal cual lo desempeña?

13. ¿Cree que la empresa Supervisoras es eficiente en el rol tal cual lo desempeña?

14. ¿La empresa supervisora deja realizar su trabajo a la empresa constructora?
Si No A veces
15. ¿De qué manera?
16. ¿Cree que el personal técnico en ambas empresas tiene vicios?
17. Si su respuesta es positiva mencione algunos.
18. ¿Existe corrupción entre la empresa Constructora y la empresa Supervisora?
19. Si No A veces
20. ¿Cree que para que funcione correctamente el desarrollo de un proyecto de edificación o construcción es necesario el uso de materiales de calidad?
21. Si No A veces
22. 20. ¿Considera necesario el papel de una empresa supervisora en proyectos de edificación?
23. Si No A veces
24. ¿Por qué? Si la respuesta en la pregunta 21 fue SI conteste las preguntas siguientes, si fue NO omita las siguientes preguntas.
25. ¿Hasta qué punto considera que debe intervenir la empresa supervisora en un proyecto de edificación?
26. ¿Mencione con 5 palabras cual debería ser la relación entre la empresa Supervisora y la empresa Constructora para conseguir un proyecto sostenible?:
27. . Que herramientas. Consejos, programas, técnica, recomienda para un buen entendimiento entre supervisora y constructora.

Los datos proporcionados en esta encuesta entrevista son confidenciales y solo se utilizarán para la elaboración de este tema de Tesis en forma estadística y cualitativa.

3.6. Procedimientos

El tipo de estudio de la presente investigación es básico, teórico y no experimental. Para el diseño de la investigación, emplearemos el de una investigación por objetivos conforme al esquema siguiente:

Dónde:

- OG: Objetivo General
- oe: Objetivo específico
- cp: Conclusión Parcial
- CF: Conclusión Final
- HG: Hipótesis General

3.7. Análisis de Datos

Se realizó un análisis de datos por fases secuenciales.

- Definición del problema
- Planeación de la investigación
- Recolección información
- Analizar la información
- Presentar los resultados

Los métodos aplicados en el presente trabajo de investigación son el descriptivo, analítico y de síntesis.

La investigación describe y analiza las características del problema que se genera analizando los resultados de las encuestas y validando su confiabilidad podemos confirmar las hipótesis específicas planteadas en el inicio del presente trabajo de investigación.

CAPITULO IV

IV. RESULTADOS

Agregado reciclado cerámico. El 85% debe tener:

Densidad seca superior a 1600 kg/m³

Agregado reciclado mixto.

Con más del 50% con una densidad seca superior a 2100 kg/m³.

No más del 50% de materiales pétreos reciclados diferentes al concreto.

El agregado de concreto reciclado no debe contener:

Cal o arcilla

Asfalto o pinturas

Vidrio

Yeso

Madera

Papel

Tierras arcillosas

Ladrillos

Evitar cemento aluminoso

Sulfatos y cloruros.

Plásticos

Contaminantes orgánicos perjudiciales.

Abestos

Hidrocarburos aromáticos policíclicos

GRANULOMETRÍA:

El 70 a 90% del agregado de concreto reciclado debe ser material grueso.

Al manipular el agregado de concreto reciclado, el límite debe ser de 5% para el contenido de partículas de tamaño inferior a 4mm.

FORMA Y TEXTURA SUPERFICIAL:

El coeficiente de forma del agregado grueso reciclado es 0,24

El coeficiente de forma del agregado grueso natural es 0,31

DENSIDAD Y ABSORCIÓN:

La densidad del agregado grueso reciclado es INFERIOR a la del agregado natural.

Densidad del agregado grueso de concreto reciclado = 2100 a 2400 kg/m³

Densidad aparente S entre 2070 kg/m³ y 2130 kg/m³, densidad nominal entre 2520 kg/m³ y 2590 kg/m³ y densidad aparente S.S.S. entre 2270 kg/m³ y 2280 kg/m³.

La densidad del concreto es inferior a la de un concreto convencional debido a la menor densidad que presenta el agregado de concreto reciclado.

Estos valores suponen una reducción respecto al hormigón de control entre un 4% y un 15% cuando se utiliza un 100% de agregado de concreto reciclado, y entre un 1% y un 5% cuando el porcentaje de agregado es inferior al 50%.²⁷.

DENSIDAD EN ESTADO FRESCO:

La densidad del concreto con agregado reciclado en estado fresco es inferior a la de un concreto convencional debido a la menor densidad que presenta el agregado de concreto reciclado, por el mortero que permanece adherido al agregado natural. Los valores de densidad pueden oscilar entre 2130 y 2400 kg/m³.

ABSORCIÓN:

para el agregado grueso de concreto reciclado 10 y 12% en promedio.

Para el agregado grueso natural 24 al 47% en promedio.

HUMEDAD:

De absorción promedio 7,8% para el concreto con agregado reciclado equivalente a una mayor absorción frente al concreto con agregado natural del doble.

CONTENIDO DE AIRE:

El contenido de aire no experimenta aumentos apreciables en el concreto con agregado grueso de concreto reciclado.

IDEAL CLORUROS:

En general, cuando los hormigones no han estado expuestos a condiciones con cloro, los valores tanto de los cloruros solubles en agua como de los cloruros totales suelen oscilar entre 0,001-0,005%.

La penetración del ión cloruro en el concreto con agregado de concreto reciclado tiene lugar a través del mortero nuevo, la zona de transición entre pasta nueva – agregado de concreto reciclado y a través del mortero viejo. Es obvio que si se disminuye la permeabilidad de cualquiera de los tres medios disminuirá la facilidad de penetración de los cloruros.

En una investigación nacional se presentan los siguientes valores de penetración de cloruros (Coulombs): a 28 días 2474 para concreto convencional, 2361 para concreto con agregado grueso reciclado para una sustitución del 20% del agregado natural y 2403 para una sustitución del 40%; respectivamente a 56 días se presentan valores de 2988, 2377 y 2526 que resulta en una clasificación moderada.

El agregado grueso de concreto reciclado tiene estas características:

Menor densidad, mayor absorción, susceptibilidad a las heladas, reacción álcali agregado y ataque de sulfatos, entre otros.

El concreto con agregado grueso de concreto reciclado tiene estas características:

Módulo de elasticidad, retracción, flujo plástico y problemas asociados a la durabilidad.

La Resistencia a la Compresión las pérdidas de resistencia, cuando se sustituye el 100% del agregado grueso, suelen encontrarse alrededor del 20%, pudiendo alcanzar de forma puntual el 30%. Cuando la sustitución baja al 50%, las pérdidas de resistencia se sitúan en un 2-15%. La pérdida de resistencia suele ser inferior al 5% cuando la sustitución se limita al 20-30%.

A continuación, se presentan los hallazgos en investigaciones nacionales:

Se encontró una disminución de la resistencia a la compresión del 15% para el concreto con agregado de concreto reciclado frente a la muestra patrón, acorde con las investigaciones internacionales.

Se presentaron diferencias considerables frente a las investigaciones internacionales: el concreto con agregado de concreto reciclado presentó mayores resistencias a la compresión que el concreto convencional, superiores del 12 al 64% (atípico); la resistencia especificada a los 28 días fue $f'c = 21$ MPa y la de diseño fue $f'cr = 28$ MPa, el concreto con agregado de concreto reciclado en promedio resistió 30 MPa mientras que el concreto convencional resistió en promedio 23 MPa.

Se encontraron disminuciones hasta del 12% en la resistencia a la compresión para concreto con agregado reciclado sin curado y 9% con curado.

A los 28 días se encontró que el concreto con agregado grueso de concreto reciclado con una sustitución del 20% tiene resistencias a la compresión superiores al concreto

convencional del orden del 6%, mientras que para una sustitución del 40% se presenta el caso contrario 6% menos resistencia frente al concreto convencional.

Estos resultados de estudios nacionales e internacionales no son ajenos a los resultados finales obtenidos en el laboratorio.

Teniendo una muestra de concreto convencional y una muestra de concreto reciclado en un 15% como agregado grueso.

- Concreto patrón ($f'c:175$) a los 28 días resistió 198 Kg/cm² y el concreto reciclado resistió 180 kg/cm².
- Concreto patrón ($f'c:210$) a los 28 días resistió 240 Kg/cm² y el concreto reciclado resistió 218 kg/cm².

EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

El comportamiento del concreto estructural con agregado de concreto reciclado está relacionado con la calidad del propio agregado de concreto reciclado y el porcentaje en que éste sustituye al agregado natural.

Cuando se sustituye parte de agregado grueso por agregado de concreto reciclado (el porcentaje de sustitución del agregado grueso natural por agregado de concreto reciclado es menor o igual al 20% en peso), y su calidad es correcta, entendiéndose como tal que proviene de un concreto adecuado y que, tras el reciclaje, la absorción de agua es menor o igual al 7% en peso, dicho comportamiento es análogo al del concreto convencional. En estas condiciones, la ejecución de las obras utilizando concreto con agregado de concreto reciclado es similar a la correspondiente con concreto convencional. Cuando el porcentaje de sustitución del agregado grueso natural por agregado de concreto reciclado supera el 20% indicado, existen algunas características del concreto con agregado de concreto reciclado que varían en relación con las

correspondientes del concreto convencional por lo que se debería ajustar el proceso constructivo.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EFECTUADOS:

Análisis granulométrico - arenas.

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM C 136 - NTP 400.012					
SOLICITANTE : VICTOR HUGO SALAS VALDERRAMA					
PROYECTO : SOSTENIBILIDAD DE LOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONCRETO PARA OBRAS CIVILES EN LA ELABORACION DE CONCRETOS					
MATERIAL : AGREGADO FINO					
GRANULOMETRIA					CARACTERISTICAS FISICAS
MALLA	PESO RETENIDO (gramos)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL.	% PASANTE ACUMUL.	MODULO DE FINEZA
					3,39
					TAMAÑO MÁXIMO
3"					(A) peso de tara (gr) :
2 1/2"					(B) peso de muestra original húmeda(gr):
2"					(C) peso de muestra seca(gr) :
1 1/2"					% HUMEDAD
1"					[B-C] * 100 / [C-A]
3/4"					
1/2"					(D) peso de tara (gr) :
3/8"				100,0	(E) peso de muestra seca (gr) :
# 4	32,9	5,9	5,9	94,1	(F) peso de muestra después de lavado
# 8	115,7	20,7	26,6	73,4	seca (gr) :
# 16	149,3	26,7	53,2	46,8	%PASANTE MALLA N° 200
#30	113,9	20,4	73,6	26,4	[E-F] * 100 / [E-D]
#50	69,1	12,3	85,9	14,1	
#100	44,7	8,0	93,9	6,1	OBSERVACIONES
FONDO	34,0	6,1	100,0	0,0	
TOTAL	559,6	100,0	MODULO FINEZA	3,39	

GRAFICO	

Fuente: Propia.

Peso específico y % absorción - arena.

GRAVEDAD ESPECIFICA

SOLICITANTE : VICTOR HUGO SALAS VALDERRAMA
PROYECTO : SOSTENIBILIDAD DE LOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONCRETO PARA OBRAS CIVILES EN LA ELABORACION DE CONCRETOS
MATERIAL : AGREGADO FINO

Peso Especifico Bulk (Base Seca)	:	2,701	gr / cm³
Peso Especifico Bulk (Base Saturada)	:	2,732	gr / cm³
Peso Especifico Aparente (Base Seca)	:	2,756	gr / cm³
ABSORCION	:	1,10	%

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 128.

NOTA : La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.

Fuente: Propia.

Peso unitario arena.

PESOS UNITARIOS

NTP 400,017

SOLICITANTE : VICTOR HUGO SALAS VALDERRAMA

PROYECTO : SOSTENIBILIDAD DE LOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONCRETO PARA OBRAS CIVILES EN LA ELABORACION DE CONCRETOS

MATERIAL : AGAREGADO FINO

PESO UNITARIO SUELTO

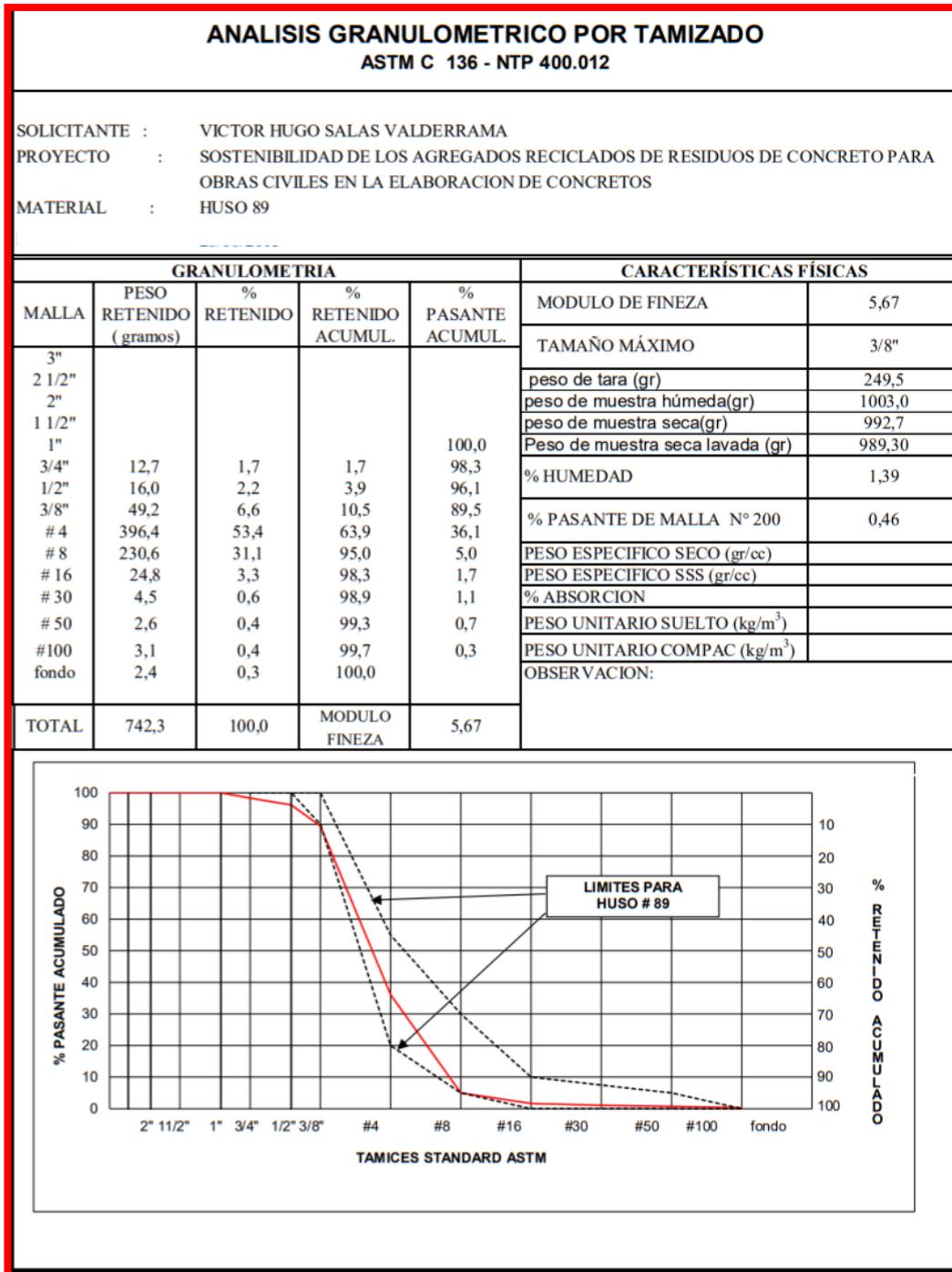
Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra (kg)	6,842	6,858	6,868
Peso de molde (kg)	2,834	2,834	2,834
Peso de muestra (kg)	4,008	4,024	4,034
Volumen de molde (m ³)	0,0028317	0,0028317	0,0028317
Peso unitario (Kg/m ³)	1415	1421	1425
Contenido de humedad	0,007595374	0,007595374	0,007595374
Peso unitario prom. (Kg/m³)	1410		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	7,794	7,781	7,801
Peso de molde	2,834	2,834	2,834
Peso de muestra	4,96	4,947	4,967
Volumen de molde	0,0028317	0,0028317	0,0028317
Peso unitario (Kg/m ³)	1752	1747	1754
Contenido de humedad	0,007595374	0,007595374	0,007595374
Peso unitario prom. (Kg/m³)	1738		

Fuente: Propia.

Análisis granulométrico - Huso 89.



Fuente: Propia.

Peso específico y % absorción - piedra.

GRAVEDAD ESPECIFICA

SOLICITANTE : VICTOR HUGO SALAS VALDERRAMA
PROYECTO : SOSTENIBILIDAD DE LOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONCRETO PARA OBRAS CIVILES EN LA ELABORACION DE CONCRETOS
MATERIAL : AGREGADO GRUESO - HUSO 89

Peso Especifico Bulk (Base Seca)	:	2,725	gr / cm³
Peso Especifico Bulk (Base Saturada)	:	2,763	gr / cm³
Peso Especifico Aparente (Base Seca)	:	2,832	gr / cm³
ABSORCION	:	1,39	%

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 127.

NOTA : La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.

Fuente: Propia.

Peso unitario grava.

PESOS UNITARIOS

SOLICITANTE : VICTOR HUGO SALAS VALDERRAMA
PROYECTO : SOSTENIBILIDAD DE LOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONCRETO PARA OBRAS CIVILES EN LA ELABORACION DE CONCRETOS
MATERIAL : AGREGADO GRUESO - HUSO 89

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra (kg)	6,814	6,833	6,799
Peso de molde (kg)	2,836	2,836	2,836
Peso de muestra (kg)	3,978	3,997	3,963
Volumen de molde (m ³)	0,00283168	0,00283168	0,00283168
Peso unitario (Kg/m ³)	1405	1412	1400
Contenido de humedad	0,013858988	0,013858988	0,013858988
Peso unitario prom. (Kg/m³)	1386		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	7,318	7,3	7,335
Peso de molde	2,836	2,836	2,836
Peso de muestra	4,482	4,464	4,499
Volumen de molde	0,00283168	0,00283168	0,00283168
Peso unitario (Kg/m ³)	1583	1576	1589
Contenido de humedad	0,013858988	0,013858988	0,013858988
Peso unitario prom. (Kg/m³)	1561		

Fuente: Propia.

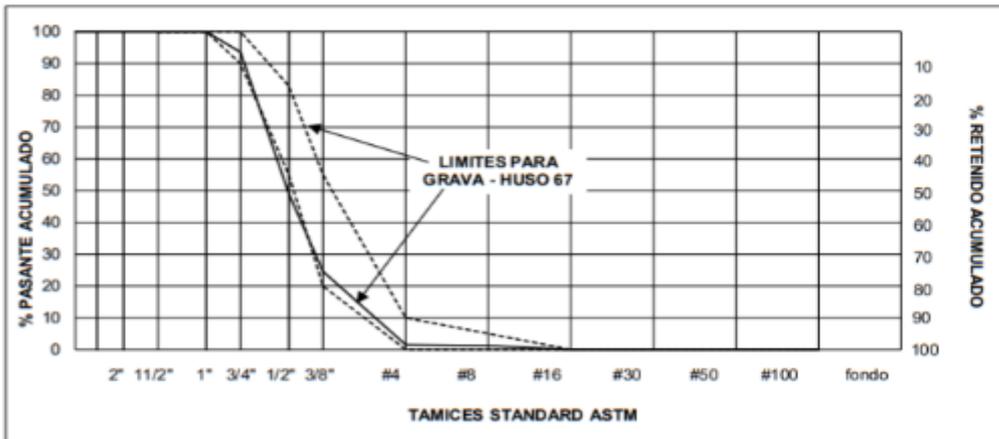
Agregado grueso - desmonte.

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
ASTM C 136 - NTP 400.012

SOLICITANTE : VICTOR HUGO SALAS VALDERRAMA
 PROYECTO : SOSTENIBILIDAD DE LOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONCRETO PARA OBRAS CIVILES EN LA ELABORACION DE CONCRETOS
 MATERIAL : RECICLADO DEL CONCRETO

GRANULOMETRIA					CARACTERISTICAS FISICAS	
MALLA	PESO RETENIDO en gramos	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL.	% PASANTE ACUMUL.	MODULO DE FINEZA	6,79
					TAMAÑO MAXIMO	3/4
3"	-			100,0	(A) peso de tara (g) :	314,3
2 1/2"	-			100,0	(B) peso de muestra original húmeda(g):	1433,8
2"	-			100,0	(C) peso de muestra seca(g) :	1372,5
1 1/2"	-			100,0	% HUMEDAD	
1"	-			100,0	[B-C] * 100 / [C-A]	5,79
3/4"	197,9	6,4	6,4	93,6		
1/2"	1.364,4	44,5	50,9	49,1	(D) peso de tara (g) :	314,3
3/8"	751,7	24,5	75,4	24,6	(E) peso de muestra seca (g) :	1372,5
# 4	708,8	23,1	98,5	1,5	(F) peso de muestra después de lavado seca (g) :	1360,0
# 8	8,9	0,3	98,8	1,2	%PASANTE DE M # 200	
# 16	-				[E-F] * 100 / [E-D]	1,18
# 30	-					
# 50	-					
# 100	-				OBSERVACIONES	
FONDO	37,0	1,2	100,0	0,0		
TOTAL (a)	3068,7	100,0	MODULO FINEZA	6,79		

GRAFICO



Fuente: Propia.

Peso específico y % de absorción – desmante.

GRAVEDAD ESPECIFICA

SOLICITANTE : VICTOR HUGO SALAS VALDERRAMA
PROYECTO : SOSTENIBILIDAD DE LOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONCRETO PARA OBRAS CIVILES EN LA ELABORACION DE CONCRETOS
MATERIAL : RECICLADO DE CONCRETO

Peso Especifico Bulk (Base Seca)	:	2,294	gr / cm³
Peso Especifico Bulk (Base Saturada)	:	2,476	gr / cm³
Peso Especifico Aparente (Base Seca)	:	2,800	gr / cm³
ABSORCION	:	7,96	%

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 127.

NOTA : La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.

Fuente: Propia.

Peso unitario desmonte.

PESOS UNITARIOS

SOLICITANTE : VICTOR HUGO SALAS VALDERRAMA
PROYECTO : SOSTENIBILIDAD DE LOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONCRETO PARA OBRAS CIVILES EN LA ELABORACION DE CONCRETOS
MATERIAL : RECICLADO DEL CONCRETO

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra (kg)	6,168	6,125	6,15
Peso de molde (kg)	2,836	2,836	2,836
Peso de muestra (kg)	3,332	3,289	3,314
Volumen de molde (m ³)	0,00283168	0,00283168	0,00283168
Peso unitario (Kg/m ³)	1177	1162	1170
Contenido de humedad	0,057928558	0,057928558	0,057928558
Peso unitario prom. (Kg/m³)	1105		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	6,528	6,500	6,539
Peso de molde	2,836	2,836	2,836
Peso de muestra	3,692	3,664	3,703
Volumen de molde	0,00283168	0,00283168	0,00283168
Peso unitario (Kg/m ³)	1304	1294	1308
Contenido de humedad	0,057928558	0,057928558	0,057928558
Peso unitario prom. (Kg/m³)	1231		

Fuente: Propia.

Ensayo a compresión patrón 175.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : VICTOR HUGO SALAS VALDERRAMA
PROYECTO : SOSTENIBILIDAD DE LOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONCRETO PARA OBRAS CIVILES EN LA ELABORACION DE CONCRETOS

TESTIGO		SLUMP	FECHA		EDAD	FC
N°	ELEMENTO	(pulg.)	MOLDEO	ROTURA	DIAS	Kg/cm ²
01	PATRON 175	-	09-07-2019	16-07-2019	7	143
02	PATRON 175	-	09-07-2019	16-07-2019	7	146
03	PATRON 175	-	09-07-2019	16-07-2019	7	149
04	PATRON 175	-	09-07-2019	23-07-2019	14	171
05	PATRON 175	-	09-07-2019	23-07-2019	14	175
06	PATRON 175	-	09-07-2019	23-07-2019	14	178
07	PATRON 175	-	09-07-2019	06-08-2019	28	190
08	PATRON 175	-	09-07-2019	06-08-2019	28	194
09	PATRON 175	-	09-07-2019	06-08-2019	28	198

Fuente: Propia.

Ensayo a compresión patrón 210.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : VICTOR HUGO SALAS VALDERRAMA
PROYECTO : SOSTENIBILIDAD DE LOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONCRETO PARA OBRAS CIVILES EN LA ELABORACION DE CONCRETOS
FECHA : 31/07/2015

TESTIGO		SLUMP	FECHA		EDAD	FC
N°	ELEMENTO	(pulg.)	MOLDEO	ROTURA	DIAS	Kg/cm ²
01	PATRON 210	-	03-07-2019	10-07-2019	7	184
02	PATRON 210	-	03-07-2019	10-07-2019	7	192
03	PATRON 210	-	03-07-2019	10-07-2019	7	180
04	PATRON 210	-	03-07-2019	17-07-2019	14	221
05	PATRON 210	-	03-07-2019	17-07-2019	14	230
06	PATRON 210	-	03-07-2019	17-07-2019	14	216
07	PATRON 210	-	03-07-2019	31-07-2019	28	245
08	PATRON 210	-	03-07-2019	31-07-2019	28	256
09	PATRON 210	-	03-07-2019	31-07-2019	28	240

Fuente: Propia.

Ensayo a compresión reciclado 175.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : VICTOR HUGO SALAS VALDERRAMA
PROYECTO : SOSTENIBILIDAD DE LOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONCRETO PARA OBRAS CIVILES EN LA ELABORACION DE CONCRETOS
FECHA : 06/08/2015

TESTIGO		SLUMP	FECHA		EDAD	FC
Nº	ELEMENTO	(pulg.)	MOLDEO	ROTURA	DIAS	Kg/cm ²
01	RESIDUOS CONCRETO 15% (175)	-	09-07-2019	16-07-2019	7	131
02	RESIDUOS CONCRETO 15% (175)	-	09-07-2019	16-07-2019	7	133
03	RESIDUOS CONCRETO 15% (175)	-	09-07-2019	16-07-2019	7	135
04	RESIDUOS CONCRETO 15% (175)	-	09-07-2019	23-07-2019	14	158
05	RESIDUOS CONCRETO 15% (175)	-	09-07-2019	23-07-2019	14	159
06	RESIDUOS CONCRETO 15% (175)	-	09-07-2019	23-07-2019	14	162
07	RESIDUOS CONCRETO 15% (175)	-	09-07-2019	06-08-2019	28	175
08	RESIDUOS CONCRETO 15% (175)	-	09-07-2019	06-08-2019	28	177
09	RESIDUOS CONCRETO 15% (175)	-	09-07-2019	06-08-2019	28	180

Fuente: Propia.

Ensayo a compresión reciclado 210.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : VICTOR HUGO SALAS VALDERRAMA
PROYECTO : SOSTENIBILIDAD DE LOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONCRETO PARA OBRAS CIVILES EN LA ELABORACION DE CONCRETOS
FECHA : 31/07/2015

TESTIGO		SLUMP	FECHA		EDAD	FC
N°	ELEMENTO	(pulg.)	MOLDEO	ROTURA	DIAS	Kg/cm ²
01	RESIDUOS CONCRETO 15% (210)	-	03-07-2019	10-07-2019	7	166
02	RESIDUOS CONCRETO 15% (210)	-	03-07-2019	10-07-2019	7	161
03	RESIDUOS CONCRETO 15% (210)	-	03-07-2019	10-07-2019	7	164
04	RESIDUOS CONCRETO 15% (210)	-	03-07-2019	17-07-2019	14	199
05	RESIDUOS CONCRETO 15% (210)	-	03-07-2019	17-07-2019	14	194
06	RESIDUOS CONCRETO 15% (210)	-	03-07-2019	17-07-2019	14	196
07	RESIDUOS CONCRETO 15% (210)	-	03-07-2019	31-07-2019	28	221
08	RESIDUOS CONCRETO 15% (210)	-	03-07-2019	31-07-2019	28	215
09	RESIDUOS CONCRETO 15% (210)	-	03-07-2019	31-07-2019	28	218

Fuente: Propia.

CUADROS COMPARATIVOS:

Comparación de la resistencia del concreto ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$)

EDAD DEL CONCRETO (días)	TESTIGO	
	PATRÓN 175 $f'c$ (kg/cm ²)	RESIDUOS DE CONCRETO 15% (175) $f'c$ (kg/cm ²)
7	143	131
7	146	133
7	149	135
14	171	158
14	175	159
14	178	162
28	190	175
28	194	177
28	198	180

Fuente: Elaboración propia.

Comparación de la resistencia del concreto ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$)

EDAD DEL CONCRETO (días)	TESTIGO	
	PATRÓN 210 $f'c$ (kg/cm ²)	RESIDUOS DE CONCRETO 15% (210) $f'c$ (kg/cm ²)
7	184	166
7	192	161
7	180	164
14	221	199
14	230	194
14	216	196
28	245	221
28	256	215
28	240	218

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V

V. Discusión de resultados

La encuesta-entrevista realizada, fue de mucha importancia ya que salieron temas que no se tenían contemplados en las hipótesis, los cuales derivan en diferentes conflictos que se han podido detectar.

Uno de ellos es por qué no se terminan las obras a tiempo y resultaron varias causas como son: la falta de planeación, se comienza la obra sin proyecto ejecutivo, por cuestiones políticas o de otra índole, este tipo de situaciones generan mayor costo, por lo tanto se termina descuidando este punto y por hacer apresurar la ejecución se pierde la calidad que debe tener el producto, en otras palabras, se falla en los tres puntos esenciales que debe vigilar la supervisión.

La evaluación se lleva acabo de acuerdo a las diferentes hipótesis señaladas en el tema de Tesis.

Aunque esto debería ser cierto, existen factores que hacen que no lo sea y durante el proceso de construcción se vuelven de cierta complejidad que la hacen necesaria.

Hay proyectos, sobre todo de edificación, que funcionan perfectamente sin una empresa supervisora, para que esto suceda deben existir ciertos factores que combinados hacen posible un proyecto sostenible..

Teniendo en cuenta que el proyecto se ejecutó bajo una supervisión, la empresa ejecutora cumplió con los procesos correspondientes, aplicando protocolos de calidad, con el uso de materiales adecuados y procesos constructivos adecuados.

Bajo esta premisa se puede afirmar que la muestra tomada de concreto reciclado estará dentro de los estándares de resistencia permitida y no presentara fallas totalmente distintas a las obtenidas con concreto convencional.

Según estudios y antecedentes mencionados, los resultados más eficientes al ensayo de compresión es sustituyendo el concreto reciclado en un porcentaje de 15% a 20% como concreto convencional.

CAPITULO VI

VI. CONCLUSIONES

Se determinó que la sostenibilidad del empleo de los agregados reciclados está plenamente justificada en los beneficios medioambientales, sin embargo, existen barreras que afectan su aplicación como son el bajo precio de los materiales de construcción tradicionalmente empleados, pocas o casi nulas empresas dedicadas a este proceso de reciclaje en construcción.

La ventaja del concreto con agregado grueso de concreto reciclado radica en los materiales que emplea, puesto que estos materiales de desecho son más amigables con el medio ambiente, en general pueden resultar más económicos y permiten disminuir los espacios destinados a vertederos. Dentro de las desventajas y limitaciones podemos mencionar que presenta un mayor contenido de finos (pasa tamiz #200) que el convencional, lo cual puede comprometer la adherencia, en general su absorción es mayor entonces si no se hace corrección por humedad de la mezcla y no se satura previamente el agregado de concreto reciclado estos factores conducen a cambios importantes en la relación agua/cemento.

Dentro de las características físico-mecánicas del concreto elaborado con agregado grueso de concreto reciclado podemos mencionar: el módulo de elasticidad, retracción, flujo plástico y problemas asociados a la durabilidad. En la resistencia a la compresión las pérdidas de resistencia, cuando se sustituye el 100% del agregado grueso, suelen encontrarse alrededor del 20%, pudiendo alcanzar de forma puntual el 30%. Cuando la sustitución baja al 50%, las pérdidas de resistencia se sitúan en un 2-15%. La pérdida de resistencia suele ser inferior al 5% cuando la sustitución se limita al 20-30%.

CAPÍTULO VII

VII. RECOMENDACIONES

La principal recomendación que se desprende de la presente tesis es que se motive el uso del agregado grueso reciclado en la elaboración de concreto por su enorme contribución medioambiental. Además, según la investigación realizada, se presume que hacia un futuro tomará fuerza el empleo de los residuos como productos sustitutivos de los convencionales, lo que propiciará la aparición de actividades que, haciendo posible el desarrollo sostenible, sean económicamente interesantes.

Se recomienda que los profesionales promuevan e inciten a los municipios, ministerio del ambiente, ministerio de vivienda, construcción y saneamiento a fiscalizar a las empresas constructoras e inmobiliarias a hacerse cargo de sus residuos sólidos y obligarlos a utilizar los vertederos autorizados correspondientes.

En lo referente a las propiedades físico-mecánicas del concreto elaborado con agregado grueso de concreto reciclado se recomienda realizar más comparaciones de estas propiedades con otros estudios internacionales, puesto que realizando una pequeña comparación con algunas investigaciones del extranjero sobre este tema, se encontraron diferencias considerables, por ejemplo el concreto con agregado de concreto reciclado presentó mayores resistencias a la compresión que el concreto convencional, superiores del 12 al 64% (lo cual es atípico).

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMARGO MACURI, F. D. (2011). *Análisis y diseño de un edificio de concreto armado*.

Huancayo.

CAMARA PERUANA DE LA CONSTRUCCION “CAPECO” (2017). La ruta ilegal del desmonte. Recuperado de [https://www. elcomercio.pe](https://www.elcomercio.pe)

EDIFICACIONES, R. N. (2016). *Norma E020*. I.C.G. Lima, Perú.

EDIFICACIONES, R. N. (2016). *Norma E030*. I.C.G. Lima, Perú.

EDIFICACIONES, R. N. (2016). *Norma E050*. I.C.G. Lima, Perú.

R.N.E. (2011). *Norma Peruana de Diseño Sismo resistente*. Lima,Perú.

TUK, E. R. (2010). *Técnicas de reforzamiento de estructuras construidas de concreto que presentan deficiencias estructurales*. Costa rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

VIVIENDAS, M. D. (2015). *Consideraciones para ampliaciones futuras al diseñar un reforzamiento*. México: Change, Build, Swisscontact.

ANEXOS

PANEL
FOTOGRAFICO

FABRICACION DE AGREGADO RECICLADO

- RESIDUOS DE CONCRETO



Fuente: Internet

- FABRICACION DE RESIDUOS EN LABORATORIO



Fuente: propia – laboratorio FIC-UNFV

- TRITURACION Y TAMIZADO DEL CONCRETO RECICLADO



Fuente: propia – laboratorio FIC-UNFV

OBTENCION Y CUARTEO DE MUESTRAS



Fuente: propia – laboratorio FIC-UNFV

- AGREGADO NATURAL Y AGREGADO FINO



Fuente: propia – laboratorio FIC-UNFV

- AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO, AGREGADO FINO NATURAL, AGUA Y CEMENTO



Fuente: Internet

- OBTENCION DE PESOS DE LOS AGREGADOS



Fuente: Internet

- MEZCLADO DEL MATERIAL, SIGUIENDO LOS PROTOCOLOS DE CALIDAD (LIMPIEZA Y DOSIFICACION, PARA LA OBTENCION DE UNA MEZCLA HOMOGENEA)



Fuente: propia

- APISONADO DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO CON AGREGADO RECICLADO Y CONVENCIONAL.



Fuente: Internet

- ROTULACION E IDENTIFICACION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PROBETAS.



Fuente: Internet

- REALIZACION DE ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS



Fuente: propia

- ENSAYO DE CONCRETO RECICLADO (FC: 175 KG/CM²)



Fuente internet

- ENSAYO DE CONCRETO PATRON (FC: 175 KG/CM²)



Fuente: propia

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS DE AMBOS PATRONES

CUADRO DIFERENCIAL DE RESULTADOS DE CONCRETO CONVENCIONAL Y CONCRETO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO	
PATRON DE CONCRETO CONVENCIONAL FC :175 KG/CM2	prueba de rotura y resistencia a la compresión en el día 7 (FC 146 KG/CM2)
	prueba de rotura y resistencia a la compresión en el día 14 (FC 175 KG/CM2)
	prueba de rotura y resistencia a la compresión en el día 28 (FC 194 KG/CM2)
PATRON DE CONCRETO RECICLADO EN 15 % FC: 175 KG/CM2	prueba de rotura y resistencia a la compresión en el día 7 (FC 133 KG/CM2)
	prueba de rotura y resistencia a la compresión en el día 14 (FC 159 KG/CM2)
	prueba de rotura y resistencia a la compresión en el día 28 (FC 177 KG/CM2)

CUADRO DIFERENCIAL DE RESULTADOS DE CONCRETO CONVENCIONAL Y CONCRETO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO	
PATRON DE CONCRETO CONVENCIONAL FC :210 KG/CM2	prueba de rotura y resistencia a la compresión en el día 7 (FC 192 KG/CM2)
	prueba de rotura y resistencia a la compresión en el día 14 (FC 230 KG/CM2)
	prueba de rotura y resistencia a la compresión en el día 28 (FC 256 KG/CM2)
PATRON DE CONCRETO RECICLADO EN 15 % FC: 210 KG/CM2	prueba de rotura y resistencia a la compresión en el día 7 (FC 161 KG/CM2)
	prueba de rotura y resistencia a la compresión en el día 14 (FC 194 KG/CM2)
	prueba de rotura y resistencia a la compresión en el día 28 (FC 215 KG/CM2)

Del siguiente cuadro se puede desprender los siguientes puntos:

- Se puede apreciar que el concreto elaborado con agregado grueso reciclado tiene resistencias a la compresión cercanas al concreto con agregado convencional, para métodos de estudio y/o ensayos son resultados muy favorables comparativamente.
- Desde el punto de vista técnico y medioambiental, el agregado grueso puede estar justificado, ya que es un material válido y contribuye a solucionar la explotación de materiales de cantera y recursos naturales.

En nuestro país no existe algún depósito destinado a reciclado de estos materiales, por lo cual se contribuye a solucionar el excesivo depósito de materiales a los vertederos.