



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

---

Vicerrectorado  
de  
**INVESTIGACIÓN**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**“EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO  $F'C=175$  KG/CM<sup>2</sup>  
UTILIZANDO AGREGADOS NATURALES Y RECICLADOS PARA  
SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES”**

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

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**ERAZO GONZALES NILO ELIO**

**ASESOR:**

**TELLO MALPARTIDA OMART DEMETRIO**

**JURADO:**

**Dr. Rommel Malpartida Canta**

**Dr. Raúl Valentín Pumaricra Padilla**

**Ms. Roque Jesús Leonardo García Urrutia Olavarría**

**LIMA – PERU**

**2018**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirme conocer grandes personas que me apoyaron a cada momento en el desarrollo de mi trabajo de investigación.

A mis padres Elio y Julia, por haberme dado la vida, quererme mucho, por ser el ejemplo de perseverancia, esfuerzo y sacrificio para poder cumplir con mi objetivo.

A todos mis hermanos que confiaron en mí y que me apoyaron a cada momento.

A mis amigos de la universidad, que estuvieron siempre a mi lado, demostrándome que todo lo podemos lograr si realmente no los proponemos.

A mis docentes, destacados profesionales que gracias a sus conocimientos aprendí lo grandioso de la carrera de Ingeniería Civil.

A todos por el apoyo brindado.

## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo principal evaluar el diseño de mezcla de un concreto  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados reciclados y agregados naturales y poder aplicarlo en elementos no estructurales.

Los agregados reciclados se obtuvieron de la trituración de residuos sólidos de demolición de concreto ubicados en el distrito de El Agustino. Estos residuos se colocaron en la chancadora y se tamizaron en una malla pasante de 1". El material obtenido fue llevado al laboratorio para poder calcular sus propiedades físicas. Se realizó la combinación de 65% de agregado fino natural + 35% de agregado fino reciclado, y se obtuvo un "Agregado fino combinado" con una granulometría dentro de lo estipulado por la NTP. El agregado grueso es 100% reciclado.

Calculadas las propiedades físicas de los agregados, se realizó el diseño de mezcla del concreto a una resistencia de  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ , usando el método del ACI. La proporción obtenida fue: **1:2.3:2.7/ 30.4lt/bolsa**, con una relación  $a/c = 0.71$ . Se realizó la mezcla del concreto, y se calcularon sus propiedades físicas en estado fresco. El slump obtenido fue de 3", con una temperatura de  $29.6 \text{ }^\circ\text{C}$ , peso unitario igual a  $2199.86 \text{ kg/m}^3$  y un contenido de aire de 3%. Se realizó el muestreo del concreto en probetas cilíndricas de 15x30cm.

Posteriormente, a las probetas obtenidas se le realizó el ensayo a la compresión y se obtuvieron como resultado resistencias en un 39% más de la resistencia de diseño de  $175 \text{ kg/cm}^2$ .

Calculamos el costo total de los materiales por 1m<sup>3</sup> de concreto reciclado y obtuvimos un valor de S/. 194.81. Comparándolo con el costo total de materiales en 1m<sup>3</sup> de concreto convencional equivalente a S/. 211.08, se puede ver que el uso de concreto reciclado es más económico en S/. 16.27.

Evaluando las propiedades físicas del concreto reciclado y su costo total, se puede llegar a la conclusión que el empleo de agregados reciclados es rentable, además de obtenerse una resistencia a la compresión mayor al 100%, lo que nos garantiza su uso en elementos no estructurales como sardineles, topellantas, veredas, etc.

**Palabras claves:** agregados reciclados, diseño de mezcla de concreto, resistencia a la compresión, elemento no estructural.

## ABSTRACT

The main objective of this thesis is to evaluate the design of a concrete mixture  $f'c = 175 \text{ kg / cm}^2$  made with recycled aggregates and natural aggregates and be able to apply it in non-structural elements.

The recycled aggregates were obtained from the crushing of solid concrete demolition waste located in the district of El Agustino. These residues were placed in the crusher and sieved in a 1 "mesh. The material obtained was taken to the laboratory to calculate its physical properties. The combination of 65% natural fine aggregate + 35% fine recycled aggregate was obtained, and a "Combined fine aggregate" with a granulometry was obtained within the stipulations of the NTP. The coarse aggregate is 100% recycled.

Once the physical properties of the aggregates were calculated, the concrete mix design was performed at a resistance of  $f'c = 175 \text{ kg / cm}^2$ , using the ACI method. The proportion obtained was: 1: 2.3: 2.7 / 30.4lt / bag, with a relation  $a / c = 0.71$ . The concrete was mixed, and its physical properties were calculated in the fresh state. The slump obtained was 3 ", with a temperature of  $29.6 \text{ }^\circ \text{C}$ , unit weight equal to  $2199.86 \text{ kg / m}^3$  and an air content of 3%. The concrete was sampled in cylindrical test pieces of 15x30cm.

Subsequently, the test specimens obtained were subjected to the compression test and resistance was obtained by 39% more than the design resistance of  $175 \text{ kg / cm}^2$ .

We calculate the total cost of materials per  $1 \text{ m}^3$  of recycled concrete and obtained a value of S/. 194.81. Compared with the total cost of materials in  $1 \text{ m}^3$

of conventional concrete equivalent to S /. 211.08, it can be seen that the use of recycled concrete is cheaper in S /. 16.27.

Assessing the physical properties of the recycled concrete and its total cost, it can be concluded that the use of recycled aggregates is profitable, in addition to obtaining a resistance to compression greater than 100%, which guarantees its use in non-structural elements as sardineles, topellantas, sidewalks, etc.

**Keywords:** recycled aggregates, concrete mix design, compressive strength, non-structural element

## INTRODUCCIÓN

La construcción es una de las actividades más importantes en nuestro país, cada día se construyen diferentes condominios, residenciales y edificaciones multifamiliares en distintos distritos de Lima y provincia; pero para poder realizar estas construcciones necesitamos de un material muy importante, **el concreto**. Este material es muy utilizado a la hora de construir; está compuesto en su mayoría por agregados naturales, cemento, agua y en algunos casos aditivos.

Para obtener los agregados naturales, necesitamos explotar las canteras, pero debemos tomar en cuenta que estos materiales son no renovables, por lo que en un futuro no muy lejano se van a terminar agotando. Es desde ahí donde nace el interés por empezar una investigación en base a la necesidad de poder encontrar un buen sustituto de los agregados naturales, siendo uno de estos los agregados reciclados. Este nuevo material, ya está siendo empleado en diferentes partes del mundo, incluso se encuentra normado en países latinoamericanos. Su obtención es a través de residuos sólidos de construcción y demolición de concreto. El emplear agregados naturales provenientes de una cantera, lo que hace es que se siga extrayendo más material y se transporte hasta el lugar de ejecución de la obra; por lo que el traslado y la explotación del material implican un gran impacto ambiental, incluso económico.

En el siguiente trabajo de investigación lo que buscamos es que la gente se identifique con el agregado fino y grueso reciclado, que tengan mayor conocimiento de sus propiedades físicas, y que lo puedan emplear como un material sustituto a los agregados naturales para la elaboración de nuevos concretos. La Norma Técnica Peruana nos recomienda límites en cuanto a las

propiedades físicas del agregado reciclado, pero ello no es impedimento para la utilización de estos agregados en nuevos concretos.

Las diferentes municipalidades realizan obras de mejoramiento y reconstrucción de pavimentos rígidos, lo que implica el hecho de tener materiales de demolición que deberían ir a parar a rellenos sanitarios, pero que puede ser aprovechado si existe un sistema de gestión que permita reutilizar este material de desecho y poder obtener agregados reciclados, que se forme un ciclo que permita que el material demolido termine como un agregado reciclado que se empleará en un concreto “nuevo” cuyo elemento puede ser utilizado en la elaboración de estructuras que no necesitan tener una alta resistencia a la compresión, como son los sardineles, veredas, asientos, topellantas, etc., lo que sería un gran ahorro a las diferentes municipalidades, si se tiene un correcto sistema de gestión y adecuado control del material de reciclado.

## INDICE

	Página
DEDICATORIA .....	2
RESUMEN .....	3
ABSTRACT .....	5
INTRODUCCIÓN .....	7
INDICE .....	9
CAPÍTULO I .....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	1
1.2. PROBLEMA .....	6
1.2.1. Problema principal .....	6
1.2.2. Problemas secundarios .....	6
1.2.3. Formulación del problema .....	7
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	8
1.3.1. Justificación de la investigación .....	8
1.4. LIMITACIONES .....	19
1.4.1. Limitación de la investigación .....	19
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
1.5.1. Objetivo general .....	20
1.5.2. Objetivos específicos .....	20
CAPÍTULO II .....	21
MARCO TEÓRICO .....	21
2.1. ANTECEDENTES .....	21
2.1.1. Desde cuándo existe o se conoce el problema .....	21
2.1.2. Estudios o investigaciones anteriores .....	24
2.2. BASE TEÓRICAS .....	28

2.2.1. Residuos Sólidos.....	28
2.2.2. El Concreto.....	29
2.2.3. Concreto Reciclado.....	33
2.2.4. Diseño de mezcla con el método del ACI.....	34
2.2.5. Propiedades del Concreto.....	37
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	43
2.3.1. Aglomerante hidrófilo .....	43
2.3.2. Calor de hidratación .....	43
2.3.3. Escoria de altos hornos.....	44
CAPÍTULO III.....	45
HIPÓTESIS.....	45
3.1. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....	45
3.1.1. Hipótesis principal .....	45
3.1.2. Hipótesis secundarias .....	45
3.2. VARIABLES.....	46
3.2.1. Diseño de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ .....	46
3.2.2. Aplicación del concreto en elementos no estructurales.....	47
3.3. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	50
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	51
CAPÍTULO IV.....	52
MÉTODO .....	52
4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	52
4.2. MATERIAL.....	55
4.2.1. Unidad de Estudio.....	55
4.2.2. Población .....	55
4.2.3. Muestra .....	55
4.3. MÉTODOS.....	56

4.3.1. Técnicas e instrumentos y/o fuentes de recolección de datos ....	56
4.3.2. Técnicas de procesamiento de datos.....	60
4.3.3. Técnicas de análisis e interpretación de la información .....	63
CAPÍTULO V.....	67
CASO DE APLICACIÓN .....	67
5.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO .....	67
5.2. DESARROLLO DEL CASO .....	70
5.2.1. Ensayos de los Agregados.....	70
5.2.2. Diseño de Mezcla método ACI 211 .....	81
5.2.3. Elaboración del Concreto Reciclado .....	86
5.2.4. Ensayos del concreto en estado fresco.....	90
5.2.5. Ensayos del Concreto en estado endurecido.....	104
CAPÍTULO VI.....	108
RESULTADOS.....	108
6.1. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.....	108
6.1.1. Tablas .....	122
6.1.2. Cuadros.....	123
6.1.3. Gráficos.....	124
CONCLUSIONES .....	128
RECOMENDACIONES.....	132
FUENTES DE INFORMACIÓN .....	134
Referencias bibliográficas .....	134
Referencias hemerográficas.....	137
Referencias electrónicas .....	137
ANEXOS .....	138

## INDICE DE ILUSTRACIONES

### TABLAS

Tabla 1: Análisis granulométrico del agregado fino .....	64
Tabla 2: Tamices a utilizar para realizar el análisis granulométrico .....	71
Tabla 3: Granulometría del agregado fino reciclado .....	110
Tabla 4: Granulometría del agregado fino natural.....	111
Tabla 5: Granulometría del agregado fino combinado .....	113
Tabla 6: Granulometría del agregado grueso reciclado .....	114
Tabla 7: Resultados de la resistencia a la compresión de las probetas ensayadas a los 7, 14 y 28 días.....	122
Tabla 8: Cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes slump, tamaño máximo de agregado y contenido de aire .....	148
Tabla 9: Relación Agua/Cemento vs $f'c$ .....	149
Tabla 10: Volumen agregado grueso compactado en seco por 1m <sup>3</sup> de concreto .....	149
Tabla 11: $f'cr$ aplicable cuando no se dispone de resultados para definir la desviación standard .....	150

### FIGURAS

Figura 1: Dimensiones de la probeta. ....	55
Figura 2: Procedimiento de elaboración del Concreto reciclado y su Evaluación .....	62

Figura 3: Curva Granulométrica del Agregado Fino Reciclado .....	110
Figura 4: Curva Granulométrica del Agregado Fino Natural .....	112
Figura 5: Curva Granulométrica del Agregado Fino Combinado .....	113
Figura 6: Curva Granulométrica del Agregado Grueso Reciclado .....	115

## **CUADROS**

Cuadro 1: Ensayos de Agregados con la NTP y ASTM .....	47
Cuadro 2: Ensayos de Concreto fresco con la NTP y ASTM .....	48
Cuadro 3: Características y propiedades del concreto .....	49
Cuadro 4: Propiedades físicas del Cemento Sol Tipo I .....	109
Cuadro 5: Humedad y Absorción de agregados .....	116
Cuadro 6: Peso específico de agregados .....	117
Cuadro 7: Peso Unitario de agregados .....	118
Cuadro 8: Criterio de aceptación en la temperatura (NTP 339.114) .....	120
Cuadro 9: Propiedades físicas del Agregado fino combinado .....	123
Cuadro 10: Propiedades físicas del Agregado grueso reciclado .....	123
Cuadro 11: Propiedades del concreto en estado fresco .....	123
Cuadro 12: Costo de materiales en 1m <sup>3</sup> de concreto reciclado .....	124
Cuadro 13: Costo de materiales en 1m <sup>3</sup> de concreto convencional .....	124

## FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 1: Demolición de veredas en el distrito de El Agustino. ....	57
Fotografía N° 2: Trituración de bloques de concreto para la obtención de agregados finos y gruesos reciclados. ....	58
Fotografía N° 3: Granulometría del Agregado Grueso Reciclado .....	72
Fotografía N° 4: Agregado Fino Reciclado y Natural. ....	72
Fotografía N° 5: Secado del agregado fino y grueso en la estufa. ....	73
Fotografía N° 6: Peso específico y Absorción del Agregado Fino. ....	75
Fotografía N° 7: Procedimiento gravimétrico (picnómetro) .....	75
Fotografía N° 8: Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso .....	77
Fotografía N° 9: Material saturado superficialmente seco en la cesta de alambre. ....	78
Fotografía N° 10: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso .....	80
Fotografía N° 11: Colocación del Agregado fino mezclado en el recipiente para calcular el Peso Unitario Suelto .....	80
Fotografía N° 12: Mezcla del agregado fino natural con el agregado fino reciclado. ....	86
Fotografía N° 13: Ag. Grueso reciclado, Ag. Fino combinado, Cemento y Agua. ....	87
Fotografía N° 14: Pesaje de los agregados .....	87
Fotografía N° 15: Pesaje del cemento y agua potable. ....	88
Fotografía N° 16: Limpieza de la mezcladora mecánica. ....	88

Fotografía N° 17: Colocación del Agregado grueso en la mezcladora mecánica .....	89
Fotografía N° 18: Mezclado del material durante 3 minutos aproximadamente. ....	89
Fotografía N° 19: Colocación del concreto en una carretilla limpia.....	90
Fotografía N° 20: Asentamiento del concreto reciclado .....	91
Fotografía N° 21: Medición del Asentamiento del concreto .....	92
Fotografía N° 22: Medición de la temperatura del concreto fresco .....	93
Fotografía N° 23: Apisonado del concreto fresco en el recipiente. ....	94
Fotografía N° 24: Alisado de la superficie superior del recipiente.....	95
Fotografía N° 25: Pesaje de la masa de concreto fresco.....	95
Fotografía N° 26: Medidor de aire Tipo B .....	97
Fotografía N° 27: Recipiente de medida nivelado en la superficie.....	98
Fotografía N° 28: Contenido de aire por método de presión.....	98
Fotografía N° 29: Lectura del porcentaje de aire en el manómetro.....	99
Fotografía N° 30: Apisonado del concreto fresco en el molde cilíndrico .....	102
Fotografía N° 31: Colocación de mezcla en el molde y golpeado ligeramente con martillo para eliminar los vacíos. ....	102
Fotografía N° 32: Enrasado de las probetas cilíndricas .....	103
Fotografía N° 33: Especímenes cilíndricos correctamente identificados. ....	103
Fotografía N° 34: Medición de las probetas cilíndricas .....	104
Fotografía N° 35: Pesaje de las probetas cilíndricas .....	105

Fotografía N° 36: Colocación de la probeta en la máquina de ensayo a la compresión .....	105
Fotografía N° 37: Aplicación de la carga a la probeta.....	106
Fotografía N° 38: Tipos de fracturas en las probetas N° 1 y N° 2.....	106

## **GRÁFICOS**

Gráfico N° 1: Resistencia a los 7 días (M-1, M-2, M-3).....	125
Gráfico N° 2: Edad vs Resistencia a los 7 días.....	125
Gráfico N° 3: Resistencia a los 14 días (M-4, M-5, M-6).....	126
Gráfico N° 4: Edad vs Resistencia a los 14 días.....	126
Gráfico N° 5: Resistencia a los 28 días (M-7, M-8, M-9).....	127
Gráfico N° 6: Edad vs Resistencia a los 28 días.....	127

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Nuestro país cada día es testigo de cómo la industria de la construcción se va apoderando de cada lugar que nos rodea, existe un interés muy importante por invertir en lugares que permitan al ciudadano tener un espacio donde vivir y tener calles rehabilitadas para una mejor calidad de vida. Esta industria es una gran consumidora de materias primas y recursos no renovables, siendo el principal componente para la elaboración de estas construcciones el concreto.

Es por ello por lo que se busca reemplazar estos recursos por otros que tengan las mismas características y permitan elaborar un concreto de buena calidad.

La mejor alternativa para reducir el impacto que el ambiente puede sufrir con el consumo de materia prima y la generación desordenada de residuos es con el Reciclaje.

De los materiales de 1era generación (agregados naturales) se obtiene insumos que son empleados en las construcciones, pero termina su vida útil y se convierten en desechos (residuos sólidos); de ello se obtiene un material reciclado, los de 2da generación, que son empleados nuevamente como el mismo o diferente insumo (Gómez, Agulló, & Vázquez, 2012).

El reciclaje de los sólidos de concreto proveniente de demoliciones para obtener agregado reciclado es una buena alternativa de solución, y más aún si es utilizado para elaborar concreto.

Pero ¿qué se está haciendo en el mundo para recuperar el concreto?

En países como Holanda, los desechos de concreto son reciclados en su mayoría. Finlandia, indica por legislación que debe reciclarse todo el material demolido. El 90% de los RCD se recupera en Taipéi, reutilizándolo en concreto un 95% (WBCSD, 2009).

En España, el empleo de agregados reciclados en concretos estructurales y no estructurales es mencionado en su normativa, la cual indica recomendaciones para su uso (Vidau, Castaño, & Vidau, 2013).

Según lo mencionado, se puede ver como en diferentes países del mundo ya se maneja una política y gestión de los RCD (Residuos de Construcción y Demolición); el material reciclado proveniente de estos residuos está siendo empleado de muchas formas, y una de esas es la reutilización de este material para poder producir concreto nuevo.

Esta idea es la que se trata de implementar en nuestro país, de crear conciencia que el Reciclado es la mejor opción ante la escasez de los agregados que tarde o temprano irán agotándose, y no sólo eso, también nos ayuda a poder tener un mejor manejo de los residuos sólidos provenientes de las diferentes construcciones que hoy en día se ve en todo lugar.

Los RCD en el Perú, es un problema que nos viene siguiendo desde años atrás, y que no permite que nuestro país se sienta envuelto por las mejoras que nuestros países vecinos están logrando cada día que pasa.

Chile, en 1998 empezó con el proyecto Acuerdo de Producción Limpia (APL), que aplicaba a varios sectores productivos del país andino; tenía como objetivo principal mejorar las condiciones en el área ambiental, higiene y seguridad. La cámara chilena de la Construcción incentiva el APL en el sector de la construcción en la región metropolitana, obteniendo el control de 230 000 m<sup>3</sup> de residuos de la construcción y la demolición, equivalente al 15% del total generado, que sería de 1 539 000 m<sup>3</sup>/año según la CONAMA (García J. , 2016).

En la ciudad de Santa Fe (Argentina), y alrededores, se observan cerca de 10 empresas de recolección de residuos de obras (contenedores) que realizan el retiro de escombros desde el lugar de producción y numerosos corralones que comercializan este material para su utilización en rellenos, contrapisos y cimientos. El único tratamiento que reciben los residuos es la molienda en trituradoras de mandíbulas y su acopio al aire libre. Asimismo, una de ellas comercializa hormigones de escombros procedentes de la demolición de viviendas entre 6 plantas productoras de hormigón de la zona (Suarez, y otros, 2006).

Ante este avance progresivo que van teniendo nuestros países vecinos, ¿qué se está haciendo en nuestro país?

El Reglamento en nuestro país para RSCD, menciona como puntos principales: disminuir los residuos sólidos con un adecuado tratamiento, transporte y recolección, además de regular el recojo de los residuos ubicados en espacios públicos privados y gestionar una buena coordinación ante eventualidades (Parillo & Camargo, 2015).

Incluso, el Ministerio del Ambiente en conjunto con el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento emiten una guía informativa: “Manejo de Residuos de Construcción y Demolición en obras menores”, que menciona sobre las responsabilidades que tienen los encargados en la gestión de los residuos obtenidos.

Los RCD, de acuerdo con el artículo 7 del Decreto Supremo N° 003-2013-VIVIENDA, se clasifican en: Residuos peligrosos y Residuos no peligrosos, en estos últimos se encuentran los reutilizables, reciclables, aprovechables, etc.

Según la guía informativa, el manejo de los RCD es desarrollado de manera selectiva, sanitaria y ambientalmente óptima, teniendo en cuenta la clasificación y el destino de estos, con la finalidad de prevenir riesgos sanitarios, proteger y promover la calidad ambiental, salud y el bienestar de la persona humana. Los RCD contienen materiales que pueden ser reaprovechados, como son el desmonte limpio, concreto y otros materiales de demolición, elementos prefabricados de hormigón, tabiquerías móviles o fijas, entre otros.

En muchos países ya es conocido el reciclaje de concreto, y en su mayoría el concreto es triturado y reutilizado como agregado. La tecnología a través de la trituración mecánica es bastante económica y está disponible en países desarrollados y también en los que están en proceso de desarrollo. El alcance de las aplicaciones de los agregados reciclados puede ampliarse si se sigue la misma línea de investigación (WBCSD, 2009).

El ahorro se presenta cuando los materiales reciclados son reutilizados, disminuyendo así lo máximo posible el volumen de agregados nuevos necesarios a emplearse en obra y el costo de su transporte (Flor, 2012).

Entonces, una buena solución a emplear ante la problemática expuesta está en elaborar concretos nuevos a base de agregados reciclados obtenidos de los Residuos de Demolición y Construcción (RCD), claro está con ciertos procedimientos de preselección, que nos permita obtener agregados reciclados en óptimas condiciones. Necesitamos a su vez también saber en la elaboración de un nuevo concreto que tanto influyen estos agregados reciclados.

Países de Europa y Sudamérica disponen de normativas para el uso de estos agregados reciclados en un concreto estructural. En cada uno de ellos indican diferentes exigencias en cuanto a su contenido máximo de uso, así como en sus diferentes aplicaciones (Vidau, Castaño, & Vidau, 2013).

Una característica para tomar en cuenta en los agregados provenientes de un concreto reciclado es que la cantidad de poros que presentan estos agregados son mayores que el de los agregados naturales. Una forma de poder reducir

esto es adicionando agregado finos naturales en cierta proporción, que permita que el concreto llegue a la resistencia requerida.

Ante lo expuesto anteriormente, ¿se podrá elaborar un concreto de  $f'c = 175$  kg/cm<sup>2</sup>, con propiedades que permitan utilizarlo en elementos no estructurales, si se mezcla agregados naturales y reciclados?

## **1.2. PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema principal**

¿Con la mezcla entre los agregados naturales y reciclados se logrará elaborar un concreto de  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup>, con propiedades que permitan usarlo en elementos que no son estructurales?

### **1.2.2. Problemas secundarios**

Para realizar el diseño de mezcla de concreto, qué propiedades físicas necesitamos calcular de los agregados naturales y reciclados.

Para obtener una  $f'c = 175$  kg/cm<sup>2</sup>, qué diseño de mezcla de concreto necesitamos realizar con los agregados naturales y reciclados.

Para evaluar las propiedades del concreto elaborado con agregados naturales y reciclados, qué ensayos del concreto en estado endurecido y fresco debemos realizar.

Qué propiedades del concreto elaborado con agregados naturales y reciclados debemos evaluar para verificar que el concreto sea aplicable a elementos no estructurales.

### **1.2.3. Formulación del problema**

Nuestro país está propenso a poder sufrir movimientos sísmicos en cualquier momento, los desastres naturales que se han presentado en estos últimos meses nos hacen pensar que debemos estar preparados ante cualquier eventualidad que pueda ocurrir.

Ante un evento así, mucha gente se podría quedar sin un lugar donde vivir, y peor aún sin dinero para poder construir un nuevo hogar. Es por ello lo importante de buscar una solución que permita a las personas tener claro el concepto de reutilización y poder aprovecharlo, sacando beneficio de ello empleándolo.

En las construcciones en su mayoría se emplea el concreto, que está compuesto de cemento, agua y agregados. La alta demanda de las construcciones trae consigo la falta de capacidad de las canteras naturales existentes para abastecer estos agregados. Y con ello el transporte que genera mayor consumo de energía y contaminación, adicionándole también el elevado costo que este provoca.

Pero de la mano al crecimiento de estas construcciones, también se buscan nuevos lugares donde construir, realizándose demoliciones para obtener

terrenos, por remodelaciones o por incluso los eventos y desastres naturales mencionados líneas arriba.

Los sólidos de concreto son la mayor parte que se obtiene de estas demoliciones, es por ello su importancia de reutilizarlos y poder tener agregados reciclados, que puedan generar concretos con características similares a las de un concreto convencional, que cumpla con la resistencia a la compresión y que sea útil para elementos no estructurales.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

#### **1.3.1. Justificación de la investigación**

El motivo que me llevo a realizar la siguiente investigación es ver como a pesar de que en nuestro país existe ya un reglamento para RSCD, aún no se ven resultados a nivel nacional que demuestren como se reutilizan estos residuos y se disminuye la contaminación provocada por estos.

Las municipalidades son responsables por la gestión de residuos sólidos de construcción y demolición en todo el ámbito de su jurisdicción territorial. Estas autoridades deberían evaluar e identificar los espacios adecuados para implementar rellenos sanitarios, o gestionar un lugar donde se pueda realizar la correcta selección del material y poder reutilizarlo para futuros proyectos donde no es necesario utilizar concreto nuevos, por el contrario, utilizar los concretos viejos (demoliciones) para obtener agregados que nos permita elaborar un

concreto reciclado aplicado a elementos no estructurales, como veredas, rampas, etc., que mucha falta hace en diferentes lugares en nuestro país.

En la ciudad de Lima y en todo el país, vemos a nuestro alrededor como se realizan diferentes edificaciones, esto implica empezar a buscar diferentes lugares, terrenos, y hasta se realizan demoliciones de casonas. Se están ensanchando las vías, se cambian las tuberías, se instala gas natural, lo que provoca las demoliciones de pavimentos rígidos, veredas. De todas estas demoliciones se puede obtener bloques de concreto y poder reutilizarlo como agregados finos y gruesos.

En las calles se ven grandes montículos de residuos sólidos, pero el reciclaje solo se da a nivel de materiales como el plástico, fierro, cables, etc.

Es por ello por lo que necesitamos hacer un buen Sistema de Gestión de cómo se realizará la reutilización de estos residuos sólidos de construcción y demolición.

Hagamos ciudades ecológicas, que sean ejemplo de nuestros países vecinos, y preservemos nuestra naturaleza. Esto solo lo lograremos si trabajamos en conjunto y evitamos la contaminación que se provoca en el transporte del material de demolición, emisiones de CO<sub>2</sub>, y pensemos en el ahorro económico que se podría obtener si aplicamos estos sistemas de gestión y reutilizamos los residuos de construcción y demolición en elementos que no necesitan de un concreto nuevo.

Al reciclar estos residuos se estaría reduciendo también la explotación de los recursos naturales no renovables y los costos asociados de transporte, ya que en su mayoría los rellenos sanitarios o botaderos se encuentran en la periferia de los asentamientos humanos, además de reducir el volumen de desecho de concreto eliminados en botaderos informales, incluso hasta en nuestras playas, provocando un alto índice de contaminación.

#### **1.3.1.1. Teórica**

Una de las formas de aprovechar estos residuos sólidos de construcción y demolición que se generan día a día en las diferentes construcciones es a través del Reciclado. Pero, qué nos garantiza que la trituración de los bloques de concreto para obtener agregados gruesos y finos reciclados nos permitirá generar un concreto que pueda cumplir con lo establecido por la norma para llegar una resistencia determinada y sea empleado en elementos no estructurales.

Para eso mencionaremos algunos artículos, trabajos de investigación y tesis, donde diferentes autores nos muestran los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas.

En el artículo “Reutilización de Residuos Sólidos en la producción de pavimentos rígidos de bajo costo en el distrito de Juliaca, Puno” se menciona lo siguiente:

Los ensayos realizados en esta investigación muestran que todo el agregado reciclado estudiado está compuesto por concreto triturado o chancado manualmente. Las propiedades mecánicas del concreto

endurecido para la mezcla de agregado natural 50% - agregado reciclado 50%- A.F. de la cantera Isla, para un diseño de mezcla de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , se ha obtenido una resistencia a la compresión a los 28 días de un  $f'c = 255 \text{ kg/cm}^2$ , superando la resistencia del diseño de  $210 \text{ kg/cm}^2$ . (Parillo & Camargo, 2015, pág. 55)

En el artículo “Evaluación del comportamiento de hormigones elaborados con agregados reciclados” nos recomienda lo siguiente:

El hormigón con un 30% de reemplazo del agregado fino natural por agregado reciclado presenta un buen comportamiento tanto en estado fresco como endurecido, obteniéndose valores de asentamiento y resistencia mecánica similares a los registrados en el caso del concreto elaborado con agregados naturales. Por lo tanto, en virtud de los resultados obtenidos, se recomienda fijar el 30% como límite para el reemplazo del agregado fino natural por agregado fino reciclado en hormigones de cemento portland. Este porcentaje es similar al encontrado en la bibliografía consultada, donde se considera aceptable el uso de un 10 a 20% de agregado fino reciclado. (Scanferla & Barreda, 2011, pág. 65)

En la tesis “Características mecánicas de concretos reciclados fabricados con desechos sólidos de construcción”, con los resultados obtenidos en su experimentación se llega a la conclusión que:

Los agregados provenientes de la demolición de pavimentos de concreto hidráulico, se pueden emplear como agregados gruesos en la fabricación de nuevos concretos. Las pruebas realizadas al concreto en estado fresco mostraron ventajas, como por ejemplo en la consistencia, donde fue mejor el

concreto elaborado con agregado reciclado (pavimentos) que el concreto elaborado con agregado natural (andesita). En cuanto a la resistencia a la compresión y el módulo de ruptura obtenida en los especímenes de concreto reciclado, alcanzaron valores mayores a los esperados, por lo que se puede decir que el comportamiento mecánico es el adecuado (García C. , 2009).

Como podemos ver, todos estos autores en las diferentes investigaciones realizadas sobre concreto reciclado concluyen que, al reutilizar estos residuos sólidos como agregados finos y gruesos, se pueden obtener concretos que lleguen a una resistencia a la compresión adecuada para su uso en elementos no estructurales. Algunos mencionan y dan porcentajes de uso de agregado fino reciclado, y otros porcentajes de agregados gruesos. Con todo lo mencionado, evaluemos entonces un concreto reciclado que cumpla con lo solicitado en la norma y sea empleado en, por ejemplo: veredas, lozas deportivas, adoquines, etc.

#### **1.3.1.2. Práctica**

Lo que se busca en la presente investigación es obtener un concreto reciclado que sea adecuado para ser empleado en elementos no estructurales.

Pero ¿en qué elementos podemos utilizar este concreto reciclado?, diferentes autores plantean varias aplicaciones de este concreto:

La empresa Pastor SA (fábrica de prefabricados para la construcción), en el trabajo de investigación “Aplicaciones de hormigón reciclado: Prefabricados vibrocomprimidos: adoquines y mobiliario urbano”, concluyeron lo siguiente:

Fabricaron adoquines de 12.5x25x8, 10x20x8 y bloques de 40x20x20. Todos con un 100% de agregado reciclado. Los valores de compresión de los bloques y los ensayos a compresión lineal de los adoquines resultaron aceptablemente satisfactorios. Ante los buenos resultados obtenidos, construyeron un pavimento piloto de adoquín reciclado para observar su comportamiento. Después de dos años se observa su buena resistencia al paso del tiempo en servicio y expuesto al clima. No presenta fisuración y presenta algunos desconchones, aunque mínimos, por el tráfico rodeado de maquinaria de la fábrica. Pero no solo está la elaboración de adoquines, sino que también mobiliarios urbanos a base de agregados reciclados, por ejemplo: bancos reciclados cúbicos, prismáticos, baliza esférica, etc. (Espinar, 2009).

En la Norma Ambiental para el Distrito Federal (NADF-007-RNAT-2013) en México, nos menciona una clasificación de los residuos de la construcción y demolición y sus posibles usos. Para los residuos provenientes de concretos hidráulicos y morteros sus posibles usos son: bases hidráulicas en caminos y estacionamientos, concretos hidráulicos para la construcción de firmes, ciclistas, banquetas y guarniciones, elaboración de productos prefabricados (blocks, tabiques, adcretos, losetas, postes de cemento-arena), bases para ciclistas, sub-bases en caminos y estacionamientos, construcción de terraplenes, pedraplenes, material para relleno o para elaboración de suelo-cemento, rellenos en cimentaciones, rellenos en azoteas, construcción de muros de carga y divisorios.

En general, existen muchas aplicaciones para el concreto reciclado, lo importante está en que podamos mantener esta idea de reciclaje y transmitirlo a las diferentes entidades en todo el país, y se cree una gestión correcta de la

reutilización de estos materiales, para que en mejoramientos a nivel urbano (veredas, pavimentos rígidos, bancas, sardineles, topellantas, etc.) se utilice estos agregados reciclados en vez de un agregado natural, y nos permita generar menores costos, y menor impacto ambiental.

### **1.3.1.3. Metodología**

Varias son las fuentes de donde obtener el agregado reciclado para la elaboración de un nuevo concreto, como son de las demoliciones de pavimentos rígidos, probetas de concreto, etc.; pero es importante también saber cómo debemos procesar estos residuos de concreto correctamente para que los agregados reciclados que obtendremos se encuentren en las mejores condiciones y no afecte a la hora del diseño del concreto reciclado.

Diferentes autores nos indican como es el procedimiento para obtener estos agregados reciclados:

En el artículo “Concreto Sustentable ¿mito o realidad?”, se menciona lo siguiente:

El procedimiento para obtener agregados reciclados de los residuos o demoliciones comienza haciéndose una selección primaria del material, separando todo el concreto. Muchas variables pueden influir, por lo que debe hacerse esto muy cuidadosamente. Los bloques de concretos separados son cargados en camiones para luego ser llevados a una planta de tratamiento, donde serán triturados, separando el acero, mampostería, y demás elementos (Vidau, Castaño, & Vidau, 2013).

En el trabajo de investigación “Recomendaciones para la utilización de árido reciclado en hormigón estructural”, se hace mención de lo siguiente:

Para poder emplear los agregados procedentes de escombros es necesario un procesamiento del residuo: se debe tomar precauciones al momento de la demolición, para evitar que se mezcle el concreto con otros tipos de materiales; se debe acopiar por separado los agregados reciclados obtenidos y se recomienda el uso de electroimanes para separar el acero y otras impurezas del nuevo material (Alaejos, 2005).

Para estos autores es importante la selección de los materiales al momento del reciclado, teniendo en cuenta que estos residuos sólidos se pueden encontrar contaminados e incluso mezclados con otras sustancias que podrían perjudicar a la hora del diseño del concreto reciclado. Mencionan que se debe hacer una limpieza general, separando sólo residuos sólidos de concreto y cargándolos en camiones o volquetes, para llevarlos a la planta de trituración, donde existe la tecnología suficiente para realizar la separación del concreto con el acero, que se da a través de electroimanes. Ya con este material libre de impurezas y teniendo solo material de concreto, se procede a colocarlo en chancadoras donde a través de mallas de diferentes tamaños se obtienen agregados reciclados. Se lleva una muestra al laboratorio para obtener las propiedades físicas y realizar el diseño de concreto correspondiente para que pueda ser empleado en elementos no estructurales.

#### 1.3.1.4. Social

A pesar de que tenemos el reglamento de RSCD, desde el año 2013, esto no ha cambiado mucho en la sociedad, los gobiernos locales, municipales y distritales no implementan esta gestión para darle solución a este problema.

En la “Guía informativa: Manejo de residuos de construcción y demolición en obras menores”, elaborada por el Ministerio del Ambiente (2016), se menciona lo siguiente:

##### **De los generadores:**

- a) El almacenamiento de los RCD provenientes de obras menores domiciliarias o de infraestructuras, se efectuará en envases y sacos de material resistente o dentro de recipientes apropiados de acuerdo con la cantidad generada y facilitando su manejo; además, debe estar dotado de los medios de seguridad correspondientes.
- b) Entregar los RCD al sistema de recojo de residuos provenientes de obras menores implementado por la municipalidad correspondiente.

##### **De los gobiernos locales:**

- a) Incluir el plan de gestión de residuos de la construcción y demolición depositados en espacios públicos y de obras menores como componente del Plan Distrital de Gestión de Residuos Sólidos.
- b) Implementar programas de educación y sensibilización ambiental en el tema del manejo de los RCD a la comunidad.
- c) Implementar una herramienta de gestión de control estadístico de los RCD.
- d) Implementar centros de recolección para el acopio de residuos provenientes de obras menores en condiciones de higiene y seguridad hasta su disposición final.

Entonces, el gobierno nos recomienda que implementemos una gestión en cada uno de los gobiernos locales, para poder llevar el control de los RCD y poder disponerlos correctamente. Pero, si sumamos a todo este sistema de gestión la reutilización de estos RCD, sería un gran beneficio para la sociedad. Estamos hablando de la reducción en el tema económico y ambiental. Vemos como cada día se van implementando nuevos proyectos en diferentes partes del país, entonces pensemos que estos agregados reciclados que luego van a ser utilizados para la elaboración de un concreto nuevo este considerado en los proyectos que los gobiernos ejecutan, como por ejemplo en el mejoramiento de veredas, pavimentos, sardineles, etc. (concreto no estructurales),

En el tema ambiental, aparte de las ya conocidas repercusiones provocadas por los trabajos en la construcción y demolición (ruidos, vibraciones, polvo, contaminación atmosférica, interferencias en el paso peatonal, etc.), conviene recordar otros aspectos ligados al transporte, tratamiento y/o eliminación de los RCD.

La recuperación y reciclado de RCD tiene repercusiones beneficiosas en cuanto a disminuir los impactos ambientales asociados al transporte, debido básicamente a las reducciones de las cantidades de materiales a eliminar en lugares de vertido más distantes y de las cantidades de materiales vírgenes que son sustituidos por los recuperados. (Cruz & Velásquez, 2004, pág. 39)

Pero también tenemos que ver el tema de costos, el utilizar agregados reciclados nos genera ahorros.

Según WBCSD (2009), en el artículo “Reciclando Concreto” nos da algunos ejemplos de ahorros de costos con:

- a) Casi 70 000 toneladas de agregados fueron reutilizadas in-situ en un proyecto de una autopista en Anaheim, California. Se empleó un triturador portátil para reciclar asfalto y concretos viejos. Además, se trajeron 100 000 toneladas adicionales de agregados reciclados para utilizarlos en la base para completar el proyecto. Con la utilización de agregados reciclados se ahorraron unos US\$ 5 millones en la compra y transporte de agregados vírgenes y el transporte de agregados existentes para su desecho.
- b) Se ahorraron US\$ 4 millones en el proyecto de construcción del Western Link Road en Melbourne, Australia por medio de la separación y desviación de los residuos de concreto, rocas, asfalto, acero y madera de su vertimiento en basureros.
- c) Se emplearon agregados reciclados en la construcción de un complejo comercial en Port Glasgow, Reino Unido, lo que arrojó ahorros por £264,000 (o -4%) en los costos.

En general, en los temas de gestión, ambiental y económico se pueden tener grandes beneficios por la utilización de agregados reciclados ya sea en su empleo como concreto reciclado, como también en otros usos, que ayudan mucho a la sociedad.

## **1.4. LIMITACIONES**

### **1.4.1. Limitación de la investigación**

El desarrollo de esta investigación se realizará en la ciudad de Lima-Perú. Los residuos sólidos para la obtención de los agregados reciclados (finos y gruesos), se obtuvieron de las demoliciones de veredas y pavimentos rígidos.

Se realizó la limpieza de impurezas orgánicas para que no afectara en el diseño del concreto reciclado.

Estos bloques de concreto se procesarán en una chancadora tipo mandíbula y se pasarán por diferentes mallas para obtener diferentes gradaciones del agregado grueso y fino reciclado.

Se realizará un diseño de mezcla utilizando el método comité 211 del ACI, para obtener una resistencia a la compresión de  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  aplicado a elementos no estructurales.

Los materiales que se usarán para la elaboración del concreto reciclado son: cemento Portland Tipo I, agregados reciclados finos y gruesos, agregado fino natural y agua.

Se evaluarán las propiedades físicas y mecánicas del concreto reciclado mediante la NTP (Norma Técnica Peruana), y así poder ser aplicado en elementos no estructurales como veredas, lozas deportivas, adoquines de concreto, topellantas, etc.

## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Objetivo general**

Evaluar el diseño de concreto de  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ , utilizando agregados reciclados y agregados naturales para su aplicación en elementos no estructurales.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

Determinar las propiedades físicas de los agregados naturales y reciclados para elaborar el diseño de mezcla de concreto.

Utilizando agregados reciclados y naturales, desarrollar un diseño de mezcla de  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ .

Hacer ensayos del concreto preparado con agregados reciclados y naturales, en su estado endurecido y fresco.

Evaluar del concreto preparado con agregados reciclados y naturales sus propiedades mecánicas y físicas.

Verificar si la resistencia a la compresión obtenida nos permite aplicar el concreto en elementos no estructurales.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES**

##### **2.1.1. Desde cuándo existe o se conoce el problema**

El hombre a lo largo de la historia siempre ha buscado la explotación de todos los recursos que estén a su alcance, para utilizarlos a su conveniencia. Pero no todo esto hasta el día de hoy está siendo favorable, ya que consecuencia de ello se están explotando en gran cantidad las canteras naturales existentes, para obtener agregados y emplearlos en la elaboración de concretos.

A raíz de todo esto, nace la idea de poder implementar un sistema de gestión de reciclado de concreto, que nos permita obtener agregados reciclados y poder utilizarlos en la elaboración de concretos nuevos, disminuyendo así el empleo de agregados vírgenes provenientes de las canteras naturales.

Pero la idea del reciclaje tiene sus inicios muchos años atrás; en 1939 estalló la Segunda Guerra Mundial, entre las potencias del Eje (Alemania, Italia y

Japón) y los Aliados (Inglaterra, Francia, Unión Soviética y EE. UU.); este hecho provocó que muchos de los países europeos quedaran destruidos.

En Alemania, con todos estos escombros en las diferentes ciudades, los constructores empezaron a emplear estos materiales para reconstruir el país. Si hablamos de cantidades, eran aproximadamente 400 a 600 millones de metros cúbicos. Las estaciones de reciclaje produjeron cerca de 11.5 millones de metros cúbicos de agregado reciclado de albañilería y 175000 fueron construidas. En las ciudades de Inglaterra, también se hacía uso de estos escombros, pero en menor escala que en Alemania (Batista, 2001).

A partir de ahí, varios trabajos e investigaciones vienen siendo desarrollados para aumentar el potencial de reutilización del residuo de construcción. Durante esa época, los ingleses, alemanes y rusos hicieron publicaciones de textos relacionados al concreto reciclado, creando una gran motivación para otros países de Europa, y principalmente para Estados Unidos, quien empezó con las investigaciones relacionadas al reciclaje (Cruz & Velásquez, 2004).

Afirman diversas fuentes que la investigación en torno al reciclado de residuos de concreto para la fabricación de nuevos concretos fue iniciada por Glushge, en Rusia en el año 1946. (Vidau, Castaño, & Vidau, 2013, pág. 20)

En 1977, en Japón, se propusieron las primeras normas para la utilización de agregado reciclado de concreto. Después de 1982, las normas ASTM C32-82 y C 125-79 incluyeron el agregado gratificado reciclado de concreto en las especificaciones de agregado para concreto. A partir de los años 80,

normas y recomendaciones también entraron en vigor en los países bajos, en Dinamarca, Rusia, Alemania, entre otros. (Batista, 2001, pág. 10)

Los primeros usos del concreto reciclado fueron como material de relleno y concretos masivos; lo que ha evolucionado hasta el empleo como concretos estructurales, no estructurales y morteros. (Vidau, Castaño, & Vidau, 2013, pág. 20)

El incremento de diferentes actividades productivas, como la construcción, se ha debido al aumento de la cantidad de personas en todo el mundo; esto conlleva a que se sigan explotando recursos renovables y no renovables. La conservación de los recursos naturales ha impulsado el reciclaje como un proceso recuperador, que logra actividades sin dañar el ambiente (Suarez, y otros, 2006)

Actualmente, la tendencia mundial está siendo encaminada hacia la construcción sostenible, pero para eso se necesita de una serie de objetivos, que principalmente está dirigido a disminuir el impacto ambiental que son generados por las actividades propias de la construcción, ayudando a su vez a los recursos naturales que se ven afectados directamente por estas.

En el contexto del desarrollo sustentable, el objetivo fundamental de cualquier estrategia de manejo de residuos sólidos debe ser la maximización del aprovechamiento de los recursos y la prevención o reducción de los impactos diversos al ambiente, que pudieran derivar de dicho manejo (Cortinas de Nava, 2004).

Abordar el tema del reciclaje es muy importante porque nos permite tener una mayor visión de lo provechoso que puede ser la utilización de los desechos de construcción y demolición, empezando por disminuir las cantidades de estos mismos, conservando una mayor cantidad de recursos naturales no renovables al reducir el volumen de agregados a extraer, y teniendo en general un mayor beneficio económico abordado principalmente en el transporte.

A nuestro alrededor podemos ver como se realizan diferentes obras en todo el país, desde construcciones de grandes edificios, colegios, hospitales hasta viviendas informales, pero también vemos como se elimina una gran cantidad de materiales de desechos provocados por estas mismas construcciones. Las municipalidades tienen que eliminar los materiales de desechos colocados irresponsablemente en pistas y avenidas, pero la falta de presupuesto hace que estas carezcan de equipos pesados, camiones, demorando su transporte y generando mayor contaminación.

### **2.1.2 Estudios o investigaciones anteriores**

Existen diferentes tesis e investigaciones realizadas en diferentes países relacionadas al concreto reciclado. A continuación, se mencionará los resultados que se obtuvieron y las conclusiones a las que llegaron cada uno de estos autores.

Según García (2009), en la tesis: “Características mecánicas de concretos reciclados fabricados con desechos sólidos de construcción”, menciona lo siguiente:

Los agregados provenientes de la demolición de pavimentos de concreto hidráulico, se pueden emplear como agregados gruesos en la fabricación de nuevos concretos.

Los resultados que muestran una mayor variación fueron en la prueba de absorción de agua ya que en el agregado de desecho (pavimentos) fue muy alta, esto también es atribuido a la porosidad del mortero adherido al agregado original de fabricación y/o a la propia porosidad de este, sin embargo, cumple con la normatividad de concretos reciclados.

Las pruebas realizadas al concreto en estado fresco demostraron que la consistencia del concreto elaborado con el agregado reciclado (pavimentos) es mejor que la del agregado natural (andesita) ya que los resultados se acercan más a los proyectados.

La resistencia a la compresión y el módulo de ruptura obtenida en los especímenes de concreto reciclado, alcanzaron valores mayores a los esperados, por lo que se puede decir, que el comportamiento mecánico es adecuado. (pág. 85)

Los resultados para determinar la absorción capilar del concreto tienen un comportamiento similar al utilizar agregado natural y agregado reciclado en la elaboración del concreto. (pág. 86)

Según Parra y Bautista (2010), en la Tesis: “Diseño de una mezcla de concreto utilizando residuos industriales y escombros”, concluyen con respecto al concreto en estado endurecido:

En el caso de este estudio, los porcentajes asumidos correspondieron a valores de porcentaje de vacíos en mezclas de agregados entre 38,7% y 42,1%. Se observó que la mezcla 7 dosificada con 61% de agregado grueso, 23% de agregado fino, 6% limalla fina y 10% de escombros,

presentó los valores más altos de resistencia promedio de los especímenes ensayados 4382,01 Psi (306.74 kg/cm<sup>2</sup>) lo cual representa un 46% por encima del valor del concreto que se requería (210 kg/cm<sup>2</sup>). De esta manera, se puede concluir que la adición de limalla y escombros permite un aumento de la resistencia del concreto y un aprovechamiento de los residuos sólidos. (pág. 83)

Según Etxeberria (2004) en la tesis doctoral: "Estudio experimental sobre microestructura y comportamiento estructural del hormigón con agregado reciclado", se concluye:

La capacidad de absorción de los áridos reciclados es la propiedad que realmente debe tenerse en cuenta durante la producción de hormigón.

El proceso de producción tiene una gran influencia en la calidad del hormigón fabricado con áridos reciclados. La adición de cemento a la mezcla en la máquina mezcladora después de la adición de los áridos reciclados húmedos, pero no saturados produce una interfase eficaz cuando se agrega finalmente el agua, ya que se absorbe debido a la capacidad de absorción que aún conservan los agregados reciclados.

El hormigón fabricado con 100% de agregados gruesos reciclados tiene un 20-25% menos de resistencia a la compresión que el hormigón convencional a los 28 días, con la misma proporción eficaz de  $a/c = 0,50$  y cemento 325 kg de cemento por m<sup>3</sup>.

El hormigón de media resistencia a la compresión hecho con un 25% de agregados gruesos reciclados alcanza las mismas propiedades mecánicas que el del hormigón convencional empleando la misma cantidad de cemento y la misma relación de  $a/c$ .

El concreto de resistencia a la compresión media fabricado con 50% o 100% de agregados gruesos reciclados necesita una relación eficaz de 4 a 10% menos y un 5-10% más de cemento que el concreto convencional para lograr la misma resistencia a la compresión a los 28 días. La elasticidad del módulo es menor que la del hormigón convencional. Sin embargo, la resistencia a la tracción del hormigón agregado reciclado puede ser mayor que el hormigón convencional (concreto que utiliza agregados en bruto). (pág. 215)

Según Osorio, Ceballos y Vega (2003), en el Trabajo de investigación: "Caracterización física y mecánica para la elaboración de concreto con material reciclado", se concluye lo siguiente:

En cuanto a las variables de temperatura, revenimiento y peso volumétrico, se mantuvieron en rangos normales para un concreto convencional, por lo que podemos asegurar que la utilización de agregado de desecho para elaborar concreto reciclado no se ve afectado en estas variables para sus condiciones futuras.

Del estudio generado, se observó que la resistencia a la compresión simple del concreto reciclado  $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$  estuvo por debajo en 4.2% al concreto normal que sirvió como testigo.

Se pudo observar también que la resistencia a la compresión simple del concreto reciclado  $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$  estuvo por debajo en 14.2% al concreto que sirvió como testigo.

Se puede concluir que el concreto reciclado no es mala opción para desarrollar un concreto nuevo, ya que en este estudio se alcanzó al menos la resistencia de proyecto. (pág. 8)

Según Ocando y Mendoza (2012), en la tesis: “Evaluación de mezclas de concreto utilizando desechos de concreto en sustitución del agregado fino, para una resistencia de 250 kg/cm<sup>2</sup>”, se concluye:

La mezcla de concreto utilizando 50% de desechos de concreto en sustitución del agregado fino ensayada a los 7 días, alcanzó más del 70 % de la resistencia de diseño.

Comparando la resistencia promedio obtenida por la mezcla modificada ensayada a los 7 días con la obtenida por la mezcla de concreto convencional ensayada a la misma edad, se determinó que difieren en menos de 1%, por lo que se dice que presentan similitud.

Bajo la premisa de que el 100% de la resistencia de un concreto es obtenido a los 28 días de curado, las mezclas contempladas en la investigación fueron ensayadas a esas edades, obteniendo, de igual modo, tendencias cercanas, en las que tanto la mezcla convencional como la mezcla modificada alcanzaron valores alrededor de 250 kg/cm<sup>2</sup>, con lo que finalmente puede concluirse la existencia de similitud y por ende la factibilidad en el uso estructural de una mezcla cuya composición contenga 50% de desechos de concreto sustituyendo parte del agregado fino. (pág. 68)

## **2.2. BASE TEÓRICAS**

### **2.2.1. Residuos Sólidos**

Los residuos sólidos son aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólidos o semisólidos, desechados por su generador. Se entiende por generador a aquella persona que debido a sus actividades produce residuos sólidos. (Ley N°27314, 2000)

Estos residuos sólidos se pueden clasificar por su origen en: residuos domiciliarios, residuos comerciales, residuos de limpieza de espacio público, residuos industriales, residuos agropecuarios, residuos de instalaciones o actividades especiales y residuos de las actividades de construcción.

#### **2.2.1.1. Residuos Sólidos de Construcción y Demolición**

Los residuos de las actividades de construcción son aquellos residuos generados en las actividades y procesos de construcción, rehabilitación, restauración, remodelación y demolición de edificaciones e infraestructuras. (Artículo 6 del Decreto Supremo N° 003-2013-VIVIENDA).

La Ley N°27314 - Ley General de Residuos Sólidos los define como aquellos residuos fundamentalmente inertes que son generados en las actividades de construcción y demolición de obras, tales como edificios, puentes, carreteras, represas, canales y otros similares.

La generación de escombros en los procesos constructivos se puede dar de diferentes maneras y en distintos procesos que conforman la totalidad de la obra. Para esta investigación, se obtuvieron residuos sólidos provenientes de la demolición de pavimentos en la ciudad de Lima Metropolitana.

#### **2.2.2. El Concreto**

La palabra concreto proviene del latín “concretus” que significa compuesto.

El concreto es la mezcla de cemento, agregados, agua y si se requiere aditivos, que al comienzo es un material muy plástico pero que luego va convirtiéndose

en un material rígido muy resistente, por ello su importancia en la construcción (Pasquel, 1993).

El concreto es el material de mayor uso en el rubro de la construcción en nuestro país, depende de los materiales que se emplean en su elaboración, por lo que requiere un adecuado estudio y sacarle provecho a lo que puede ofrecernos (Rivva, 2000).

Cada uno de los materiales de los cuales está conformado el concreto tiene las siguientes proporciones en volumen: Aire = 1% a 3%, Cemento = 7% a 15%, Agua = 15% a 22% y Agregados = 60% a 75% (Pasquel, 1993).

#### **2.2.2.1. El Cemento Portland**

Toda sustancia que posea condiciones de pegar, cualquiera sea su origen, es denominada cemento (Gutiérrez de López, 2003).

El cemento es un material que adquiere propiedades de resistencia y adherencia cuando entra en contacto con el agua (Pasquel, 1993).

Al pulverizarse el clinker en adición con sulfato de calcio o sus derivados, se obtiene como resultado el cemento Portland (Rivera, 2013).

Los tipos de cementos son los siguientes:

El cemento Tipo I, Tipo II, Tipo III, Tipo IV y Tipo V, siendo los más utilizados el Tipo I, cemento normal que proviene de la combinación del clinker mas yeso; el Tipo II, cemento modificado, teniendo como característica principal su

resistencia a los sulfatos muy moderada, y el Tipo V, cemento que ante la acción de los sulfatos presenta muy buena alta resistencia (Pasquel, 1993).

#### **2.2.2.2. El Agua**

El agua es un elemento muy importante a la hora de realizar la mezcla de concreto, es por ello su importancia en verificar que esta no contenga impurezas que alteren el diseño.

El agua es el encargado de hidratar al cemento, actúa a su vez como lubricante para que la mezcla sea trabajable (Pasquel, 1993).

Si se indica que la composición química es apta para el consumo humano, entonces es recomendable utilizar el agua para preparar concreto, sin importar algún tratamiento; en resumen, toda agua que pueda ser bebida y no presente olor o sabor notable se puede emplear en la mezcla de concreto, pero caso contrario no necesariamente el agua a emplearse puede ser bebible (Rivera, 2013).

#### **2.2.2.3. Los Agregados**

El agregado tiene un papel determinante en las propiedades del concreto. Interviene en las resistencias mecánicas, la durabilidad, el comportamiento elástico, propiedades térmicas y acústicas, etc. Los agregados, los mayores constituyentes del concreto, son críticos para el comportamiento de éste, tanto en su estado fresco como en el endurecido. Adicionalmente sirven como un relleno de bajo costo e imparten beneficios a la mezcla. (Rivva L., 2004, pág. 14)

En general, la mayoría son materiales inertes, es decir, que no desarrollan ningún tipo de reacciones con los demás componentes de mezclas, especialmente con el cemento; sin embargo, existen algunos agregados cuya fracción más fina presenta actividad en virtud de sus propiedades hidráulicas colaborando con el desarrollo de la resistencia mecánica, tales como: las escorias de alto horno de las siderúrgicas, los materiales de origen volcánico en donde hay sílice activa, entre otros. (Rivera, 2013, pág. 41)

Los agregados se clasifican desde su procedencia, densidad, gradación, forma y textura, siendo los más utilizados:

- 1) Por procedencia: **Los agregados naturales**, tienen su origen en canteras. Pueden utilizarse tal y como son extraídos o pueden sufrir alguna modificación por parte del hombre, manteniendo siempre las características de la roca madre. **Los agregados artificiales**, son los resultados de los procesos de transformación que sufren los materiales naturales, como lo son por ejemplo el concreto reciclado, arcillas expandidas, y otros (Rivera, 2013).
- 2) Por densidad: Los agregados pueden ser **ligeros, normales y pesados** de acuerdo con la densidad que tienen, lo que logrará influir mucho en la densidad del concreto en el que se empleen (Rivera, 2013).
- 3) Por gradación: **Los agregados finos**, son aquellos agregados que tienen partículas entre los tamices N°3/8" y N°200, siendo el más común la arena. **Los agregados gruesos**, son aquellos agregados que tienen partículas que se retienen en el tamiz N° 4, siendo los mas comunes la piedra chancada y la grava (Pasquel, 1993).

### **2.2.3. Concreto Reciclado**

El concreto reciclado o “sustentable”, es el que esta formado por agregados de materiales que son reciclados, siendo la sustitución de estos agregados parcial o total. La obtención de estos agregados se puede dar por proceso de triturado, cribado, etc. (Vidau, Castaño, & Vidau, 2013).

Los aspectos mas relevantes que influyen en la calidad del concreto elaborado con agregados reciclados son:

- Si usamos entre el 20-30% de agregados reciclados, la calidad entre un concreto convencional y un concreto reciclado disminuye, sus propiedades no son tan afectadas, pero si usamos mayor cantidad de estos agregados podemos afectar la calidad final del concreto nuevo.
- Es conocido que los materiales mas finos son los que afectan las propiedades del concreto, por lo que es importante tomar en cuenta el tamaño máximo del agregado.
- El origen de estos agregados es algo a tomar en cuenta al momento de analizar la resistencia de un concreto. Si el agregado presenta baja resistencia, por consecuencia el concreto también la tendrá.
- El agregado reciclado debe ser de buena calidad, y eso se ve reflejado al momento de ver la cantidad de concreto adherido que tiene o sus impurezas (Alaejos, 2005).

#### **2.2.3.1. Agregados reciclados**

Es el agregado proveniente de concretos obtenidos de demoliciones y residuos sólidos de construcción (RCD).

Los agregados reciclados presentan algunas características:

- El tipo de trituración que se le realizó al agregado influye en la gradación que estas tengan.
- Presentan una capa de mortero adherido, teniendo una densidad menor a las de los agregados naturales.
- Absorben mayor cantidad de agua debido al gran nivel de porosidad que presentan.
- Presentan un elevado desgaste en la máquina de los ángeles, debido a que durante el ensayo todo el mortero adherido es eliminado.
- Es importante saber la procedencia de los agregados reciclados, ya que de eso dependen sus diferentes propiedades (Miñan, 2012).

#### **2.2.4. Diseño de mezcla con el método del ACI**

Se conoce como diseño de mezcla, al procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades necesarias de todos y cada uno de los componentes que intervienen en una mezcla de concreto, para obtener de ese material el comportamiento deseado, tanto durante su estado plástico, como después, en su estado endurecido. (Carrillo & Foglio, 2003)

##### **2.2.4.1. Procedimiento del diseño de mezcla**

Según Enrique Pasquel (1993) en su libro: *“Tópicos de tecnología del concreto en el Perú”*, nos menciona el siguiente procedimiento para elaborar un diseño de mezcla con el método del ACI.

Antes de realizar el diseño de mezcla, se deberían conocer las siguientes propiedades de los materiales como:

- a) El tipo de cemento a utilizar y sus propiedades.
- b) Los agregados con su pesos específicos y pesos unitarios secos.
- c) Análisis granulométrico.
- d) Humedades y absorciones.

Las propiedades físicas de los agregados (finos y gruesos) se obtendrán con los siguientes ensayos: Granulometría, Peso Específico, Peso Unitario, % de humedad y % de absorción.

Una vez conocido estos datos, se seguirán los siguientes pasos para realizar el diseño de mezcla:

- 1) Obtenemos el volumen en m<sup>3</sup> de agua teniendo como datos el slump y del agregado el Tamaño máximo. **(Tabla N° 8)**
- 2) Con la resistencia f'c requerida obtenemos la relación a/c en peso, teniendo en cuenta que será sin aire incorporado. **(Tabla N° 9)**
- 3) De acuerdo con los datos obtenidos en 1) y en 2) calculamos la cantidad de cemento.

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Agua}}{a/c} \text{ (kg)}$$

- 4) Procedemos a calcular los volúmenes de cemento y agua, dividiendo los pesos obtenidos entre sus respectivos pesos específicos.
- 5) Con el TM de los agregados y teniendo en cuenta que será un concreto sin aire incorporado, calculamos el % de aire por m<sup>3</sup>. **(Tabla N° 8)**

- 6) Con los volúmenes de cemento, agua y aire calculados, obtendremos el volumen absoluto de agregados, solo restando los volúmenes a 1m<sup>3</sup>.
- 7) El volumen de agregado grueso compactado en seco se obtiene de la **Tabla N° 10**, con los valores del M.F. y el TM de los agregados.
- 8) El volumen absoluto del agregado grueso se obtiene de la multiplicación entre el volumen de agregado grueso compactado en seco por el P.U.C. (Peso unitario) y se divide entre su peso específico.
- 9) El volumen absoluto de agregado fino se obtiene entre la diferencia del volumen absoluto de agregados y el volumen absoluto del agregado grueso.
- 10) El Peso del agregado grueso se obtiene multiplicando el volumen absoluto del agregado grueso por su peso específico, igualmente ocurre con el agregado fino.
- 11) Todo el diseño realizado debemos corregirlo por absorción y humedad:
  - a)  $W_{ag. grueso húmedo} (kg) = W_{ag. grueso seco} (kg) \times (1 + \text{humedad del ag. grueso})$
  - b)  $W_{ag. fino húmedo} (kg) = W_{ag. fino seco} (kg) \times (1 + \text{humedad del ag. fino})$
  - c)  $\text{Balance Agua en el ag. grueso (puede ser + o -)} = \text{Humedad ag. grueso} - \text{Absorción ag. grueso (Valores absolutos)}$

- d) *Balance Agua en el ag. fino (puede ser + o -) =*  
*Humedad ag. fino – Absorción ag. fino (Valores absolutos)*
- e) *Contribución agua por ag. grueso (puede añadir o quitar agua) =*  
*Balance agua en ag. grueso x W ag. grueso húmedo (kg)*
- f) *Contribución de agua por ag. fino (puede añadir o quitar agua) =*  
*Balance agua en ag. fino x W ag. fino húmedo (kg)*
- g) *Agua efectiva = Agua diseño (lt) –*  
*Contrib. Agua ag. grueso (lt) – Contrib. Agua ag. fino (lt)*

12) Diseño final:

*Peso Cemento (kg)*

*Peso Húmedo Ag. fino (kg)*

*Peso Húmedo Ag. grueso (kg)*

*Agua Efectiva (litros)*

### **2.2.5. Propiedades del Concreto**

Un buen concreto es aquel que provee la resistencia de diseño para la cual fue dosificado, con los mejores acabados. Las características del concreto dependen por tanto de los criterios de diseño y del sistema de colocación de la mezcla. Es importante entonces saber de las propiedades que este concreto presenta en su estado fresco y endurecido.

### 2.2.5.1. Propiedades del concreto en estado fresco

El concreto fresco debe mantener ciertas propiedades que le permita ser transportado, colocado, compactado y terminado sin segregación dañina. Una combinación adecuada de los materiales permite uniformidad, mejor acomodación de las partículas y la pasta y menor exudación, y es en este estado fresco o plástico que es posible el transporte, colocación de la mezcla en formaletas y vibrado de la misma. (Parra & Bautista, 2010, pág. 6)

#### 1) Asentamiento del concreto:

La manejabilidad o trabajabilidad es la propiedad del concreto para ser colocado y consolidado apropiadamente sin causar segregación de sus materiales, es la cantidad de trabajo necesaria para vencer la resistencia de la mezcla a ser colocada dentro de un molde o encofrado. (Parra & Bautista, 2010, pág. 6)

Según la NTP, el método de ensayo se realiza de la siguiente forma:

*Una muestra de concreto fresco mezclado se coloca en un molde con forma de cono trunco, y se compacta por varillado. El molde se retira hacia arriba permitiendo que el concreto se asiente. La distancia vertical entre la posición inicial y la desplazada, medida en el centro de la superficie superior del concreto, se informa como el asentamiento del concreto.*

## 2) Peso Unitario:

Determina el peso de 1 m<sup>3</sup> de concreto en su estado fresco. El peso unitario normalmente está entre 2240 kg/m<sup>3</sup> a 2460 kg/m<sup>3</sup>.

La prueba de la masa volumétrica (peso unitario) se debe usar para controlar concretos ligeros y pesados. Un cambio en la masa unitaria podría afectar inversamente la bombeabilidad, colocación, acabado y resistencia de todos los tipos de concreto. (Imcyc, 2007)

La NTP 339.046 nos menciona el procedimiento para determinar la densidad (peso unitario) del concreto en estado fresco:

*Una muestra obtenida de concreto fresco se coloca en un molde con medidas estándar, dependiendo del revenimiento del concreto, se establece el método de consolidación de la muestra en el molde (apisonado o vibrado). Al terminar la consolidación del concreto, se eliminan los sobrantes por medio de enrazado y se determina el peso de la muestra en el molde.*

**Densidad (Peso unitario):** *Calcular la masa neta del concreto en kilogramos substrayendo la masa del recipiente de medida,  $Mm$ , de la masa del recipiente de medida lleno de concreto,  $Mc$ . Calcular la densidad  $D$ , dividiendo la masa neta de concreto por el volumen de la medida,  $Vm$  como sigue:*

$$D = \frac{(Mc - Mm)}{Vm}$$

**Donde:**

*Mm = Masa del recipiente de medida, Kg*

*Mc = Masa del recipiente con concreto, Kg*

*D = Peso unitario del concreto, en kg/m<sup>3</sup>*

*Vm = Volumen del recipiente de medida, m<sup>3</sup>*

**3) Contenido de Aire:**

Generalmente ocupa del 1% al 3% del volumen de la mezcla. Está en función de las proporciones, las características físicas de los agregados y del método de compactación. En algunas condiciones se incorpora aire adicional para mejorar la durabilidad. La inclusión de aire es necesaria en concreto que estará expuesto a ciclos de congelación y deshielo o a químicos descongelantes. (Gastañadui, 2004)

**Contenido de Aire del concreto fresco por método de presión:**

Este método se basa en la ley de Boyle, que relaciona a la presión con el volumen. (Rivera, 2013, pág. 88)

Es el de mayor uso y sirve para determinar el contenido de aire de concreto con agregados densos y relativamente densos. Se usa un medidor de aire tipo Washington. (Gastañadui, 2004)

**4) Temperatura:**

La temperatura del concreto depende del aporte calorífico de cada uno de sus componentes, además del calor liberado por la hidratación del cemento, la energía de mezclado y el medio ambiente. (Gastañadui, 2004)

**Como medir la temperatura:** La norma ASTM C-1064 indica la manera de medir la temperatura del concreto, para lo cual se debe contar con un termómetro de 0.5 °C de precisión en la lectura, no siendo necesario usar una muestra compuesta, siendo suficiente humedecer previamente el recipiente contenedor antes de colocar el concreto e introducir el termómetro por un tiempo mínimo de 2 min. Hasta que se estabilice la lectura y un máximo de 5min. Desde la obtención de la muestra. El termómetro debe introducirse de manera que esté cubierto con por lo menos 3" de concreto en todas las direcciones a su alrededor. (Pasquel, 1993, pág. 342)

#### **2.2.5.2. Propiedades del concreto en estado endurecido**

En la etapa de endurecimiento del concreto, es cuando la mezcla adquiere la resistencia para la cual fue diseñada. Las propiedades mecánicas que comúnmente se evalúan al concreto en estado endurecido son la resistencia a la compresión, la flexión, el módulo de elasticidad estático y dinámico entre otros aspectos, siendo la más común la prueba a la compresión. (Parra & Bautista, 2010, pág. 8).

##### **1) Elasticidad:**

Los concreto de peso normal tienen un módulo de elasticidad para cálculos como  $13000 \sqrt{f'c}$  dependiendo de la resistencia. La relación de poisson, en el concreto de peso normal está comprendida entre 0.15 y 0.25 y depende del tipo de agregado, de la edad y humedad del concreto. (Gutiérrez de López, 2003)

En la norma ASTM C-469 se indica como calcular el Módulo de elasticidad estático del concreto. Estos módulos normalmente tienen valores que se encuentran entre los 250 000 a 350 000 kg/cm<sup>2</sup>, estando en relación inversa con la relación a/c y directa con la  $f'c$  (Pasquel, 1993).

## 2) Resistencia:

Una de las características más importantes del concreto es la de soportar cargas por compresión, y esto depende mucho de la relación a/c que posea. También es importante tomar en cuenta la calidad que tienen los agregados, el tipo de cemento que se está utilizando, sus características, la temperatura, etc. (Pasquel, 1993).

Los ensayos de compresión que se realizan a las muestras de concreto son porque se requiere evaluar que el concreto cumpla con la resistencia  $f'c$  con la cual fue diseñada. Estos ensayos se calculan con el promedio de las resistencias de 2 probetas de 15x30 cm, ensayados a los 28 días, o el promedio de resistencia de 3 probetas de 10x20 cm, ensayados a los 28 días (Gastañadui, 2004).

La resistencia a la compresión es **Conforme** si:

- a) Cada promedio aritmético de 3 ensayos de resistencia consecutivos a 28 días será mayor o igual a  $f'c$ .
- b) Ningún ensayo individual de resistencia será menor que  $f'c$  en más de 35 kg/cm<sup>2</sup> cuando  $f'c$  es 350 kg/cm<sup>2</sup> o menor.
- c) Ningún ensayo individual de resistencia será menor que  $f'c$  en más de  $0.1f'c$  cuando  $f'c$  es mayor a 350 kg/cm<sup>2</sup>.

## 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

### 2.3.1. Aglomerante hidrófilo

Se llaman materiales aglomerantes a aquellos que, en estado pastoso y con consistencia variable, tienen la propiedad de poderse moldear, de adherirse fácilmente a otros materiales, de unirlos entre sí, protegerlos, endurecerse y alcanzar resistencias mecánicas considerables. Estos materiales son de vital importancia en la construcción, para formar parte de casi todos los elementos de la misma. (Ruiz, 2013)

Los materiales aglomerantes se clasifican en:

- a) **Aglomerantes aéreos:** los que solo endurecen en el aire, dando morteros no resistentes al agua. Comprenden el yeso, la cal y la magnesia.
- b) **Aglomerantes hidráulicos:** Aquellos que se endurecen en forma pétreo tanto en el agua como en el aire, pertenecen a este grupo las cales hidráulicas y los cementos.

### 2.3.2. Calor de hidratación

El calor de hidratación es la cantidad de calor en calorías por gramo de un cemento deshidratado, dispersado por una hidratación completa a una temperatura dada. El método más común para medir el calor de hidratación consiste en determinar el calor de solución de cemento deshidratado e hidratado en una mezcla de ácido nítrico y fluorhídrico; la diferencia entre estos dos valores representa el calor de hidratación. (Rivera, 2013, pág. 34)

### **2.3.3. Escoria de altos hornos**

Las escorias de alto horno finamente granuladas podrán ser empleadas como un material cementante separado añadido a la tanda, o como un ingrediente de los cementos combinados. Sus principales constituyentes son compuestos de calcio, magnesio, sílice, alúmina y oxígeno.

Se considerará que las escorias de alto horno son compatibles con el cemento portland en un amplio rango de proporciones. El comportamiento de una escoria determinada depende fundamentalmente del cemento con el cual es empleada. Generalmente se obtienen incrementos en la resistencia con cementos que tienen alto contenido de C3A o alta fineza. (Rivva L., 2004)

## CAPÍTULO III

### HIPÓTESIS

#### 3.1. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

##### 3.1.1. Hipótesis principal

¿Se podrá elaborar un concreto de  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ , con propiedades que permitan utilizarlo en elementos que no son estructurales, si mezclo agregados naturales y reciclados?

##### 3.1.2. Hipótesis secundarias

Si determino las propiedades físicas de los agregados naturales y agregados reciclados entonces podré elaborar un diseño de mezcla, para luego tener un concreto que obtenga un  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ .

Si con los agregados naturales y reciclados elaboro ensayos al concreto en estado endurecido y fresco, entonces podré evaluar las propiedades del concreto reciclado obtenido.

Si evalúo las propiedades del concreto elaborado con agregados naturales y agregados reciclados entonces podré verificar que sea aplicable a elementos no estructurales.

### **3.2. VARIABLES**

#### **3.2.1. Diseño de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$**

El método que se utilizará para realizar el diseño de mezcla de  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$  es el ACI 211.1

Para elaborar el diseño de mezcla con el método del ACI, se seguirá el procedimiento ya mencionado anteriormente, utilizando los siguientes datos:

- a) Tipo de cemento y su peso específico.
- b) Los agregados con su pesos específicos y pesos unitarios secos.
- c) Análisis granulométrico.
- d) Humedades y absorciones.

Para obtener las propiedades físicas de los agregados se desarrollarán diferentes ensayos según la NTP o ASTM mostrados en el siguiente cuadro:

**Cuadro 1: Ensayos de Agregados con la NTP y ASTM**

ENSAYOS	NTP		ASTM	
	Ag. Grueso	Ag. Fino	Ag. Grueso	Ag. Fino
Análisis Granulométrico	NTP 400.012		ASTM C136	
Peso Unitario Suelto y Peso Unitario Compactado	NTP 400.017		ASTM C29	
Peso Específico y Absorción	NTP 400.021	NTP 400.022	ASTM C127	ASTM C128
Contenido de Humedad	NTP 339.185		ASTM D2216	

*Fuente: Elaboración Propia*

Con estas propiedades de los agregados, se realizará el diseño de mezcla, utilizando un Cemento Tipo I y un slump de 3" a 4", para así llegar a un  $f'c = 175\text{kg/cm}^2$ .

Al final del desarrollo del diseño de mezcla, se obtendrán unas proporciones en peso de cemento, agregados y agua a emplear.

*Peso Cemento (kg)*

*Peso Húmedo Arena (kg)*

*Peso Húmedo Piedra (kg)*

*Agua Final (kg)*

### **3.2.2. Aplicación del concreto en elementos no estructurales**

Para poder aplicar el concreto reciclado en elementos no estructurales, necesitamos evaluar sus propiedades. Con el diseño de mezcla realizado y con las proporciones en peso de los materiales, se procede a desarrollar los ensayos en el laboratorio del concreto en estado fresco y endurecido.

Los ensayos en estado fresco del concreto que se realizarán son los siguientes:

**Cuadro 2: Ensayos de Concreto fresco con la NTP y ASTM**

ENSAYOS	NTP	ASTM
Muestreo de concreto fresco	NTP 339.036	ASTM C172
Peso Unitario	NTP 339.046	ASTM C138
Asentamiento (Slump)	NTP 339.035	ASTM C143
Contenido de Aire (presión)	NTP 339.083	ASTM C231
Temperatura	NTP 339.184	ASTM C1064

*Fuente: Elaboración Propia*

Una vez realizado los ensayos en estado fresco del concreto, se realizará el ensayo a la compresión para poder calcular las propiedades del concreto en estado endurecido.

Para medir la resistencia a la compresión, se elaborarán cilindros testigos de 30 cm de altura por 15 cm de diámetro; se harán en tres capas y a cada capa se le dan 25 golpes con una varilla standard. Es muy importante tener en cuenta los cuidados, curado y ensayo de los cilindros. (Gutiérrez de López, 2003)

Se realizará el ensayo según la norma técnica peruana; y se obtendrán resultados a las edades de 7, 14 y 28 días.

Pero no sólo está el ensayo de resistencia a la compresión sino también el módulo de elasticidad del concreto (E). Para poder calcular el E, se grafica el esfuerzo contra la deformación unitaria en una curva esfuerzo-deformación del ensayo de compresión, y el módulo de elasticidad es la relación entre el esfuerzo en el campo elástico y su respectiva deformación unitaria.

Es importante saber también que existe influencia de algunas propiedades de los componentes y de sus proporciones en las características del concreto.

**Cuadro 3: Características y propiedades del concreto**

ASPECTO QUE INFLUYE	CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL CONCRETO					
	RESISTENCIA	DURABILIDAD	ESTABILIDAD	IMPERMEABILIDAD	MANEJABILIDAD	ECONOMÍA
1	X	X	X			X
2	X	X		X	X	X
3	X		X	X		X
4	X					X
5	X	X	X	X	X	X
6	X	X	X	X	X	X
7	X	X	X	X	X	X

*Fuente: Gutiérrez de López*

*1. Cemento. Propiedades varias. 2. Granulometría de los agregados. 3. Tamaño máximo del agregado grueso. 4. Forma y textura de los agregados. 5. Relación agua-cemento.*

Evaluado las propiedades del concreto, y verificado que haya llegado a la resistencia correspondiente de  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ , se puede utilizar este concreto en diferentes elementos no estructurales, por ejemplo:

- Veredas
- Adoquines
- Sardineles
- Topellantas, etc.

## 3.3. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO PRINCIPAL	HIPÓTESIS PRINCIPAL	VARIABLES	INDICADORES
¿Con la mezcla de agregados reciclados y agregados naturales es posible obtener un concreto de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ , cuyas propiedades sean aptas para su empleo en elementos no estructurales?	Evaluar el diseño de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ , utilizando agregados reciclados y agregados naturales para su aplicación en elementos no estructurales	¿Podré obtener un concreto de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ cuyas propiedades sean aptas para su empleo en elementos no estructurales si mezclo agregados reciclados con agregados naturales?	<b>VI:</b> Diseño de concreto $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ utilizando agregados naturales y reciclados. <b>VD:</b> Aplicación del concreto reciclado en elementos no estructurales.	<b>VI:</b> Proporción en peso del Cemento, Agregado Fino, Agregado Grueso y del Agua, para la elaboración del concreto reciclado. <b>VD:</b> Resistencia a la compresión $f'c$
PROBLEMAS SECUNDARIOS	OBJETIVOS SECUNDARIOS	HIPÓTESIS SECUNDARIAS	VARIABLES SECUNDARIAS	SUBINDICADORES
¿Qué propiedades físicas de los agregados naturales y reciclados necesitamos determinar para realizar el diseño de mezcla de concreto?	I. Determinar las propiedades físicas de los agregados naturales y reciclados para elaborar el diseño de mezcla de concreto.	I. Si determino las propiedades físicas de los agregados naturales y reciclados entonces podré elaborar el diseño de mezcla.	<b>VI:</b> Propiedades físicas de los agregados naturales y reciclados. <b>VD:</b> Diseño de mezcla de concreto.	<b>VI:</b> Humedad, Peso específico, Peso unitario, Absorción, Granulometría, Módulo de Fineza y Pasante N° 200. <b>VD:</b> Proporción en peso del cemento, Ag. Grueso, Ag. Fino y agua.
¿Qué diseño de mezcla de concreto necesitamos realizar con los agregados naturales y reciclados para obtener un $f'c= 175\text{kg/cm}^2$ ?	II. Realizar un diseño de mezcla de concreto para una resistencia a compresión de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ utilizando agregados naturales y reciclados.	II. Si realizo un diseño de mezcla de concreto con agregados naturales y reciclados entonces podré obtener un concreto con resistencia de $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ .	<b>VI:</b> Diseño de concreto $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ utilizando agregados naturales y reciclados. <b>VD:</b> Concreto con resistencia $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	<b>VI:</b> Proporción en peso del Cemento, Agregado Fino, Agregado Grueso y del Agua, para la elaboración del concreto reciclado. <b>VD:</b> Resistencia a la compresión $f'c$
¿Qué ensayos en estado fresco y endurecido del concreto elaborado con agregados naturales y reciclados debemos realizar para evaluar las propiedades del concreto?	III. Hacer ensayos en estado fresco y endurecido del concreto elaborado con agregados naturales y reciclados.	III. Si realizo ensayos en estado fresco y endurecido del concreto elaborado con agregados naturales y reciclados entonces podré evaluar las propiedades del concreto.	<b>VI:</b> Ensayos en estado fresco y endurecido del concreto elaborado con agregados naturales y reciclados. <b>VD:</b> Propiedades del concreto.	<b>VI:</b> Peso Unitario, Slump, Temperatura, Contenido de Aire, Rotura de probetas. <b>VD:</b> Propiedades del concreto.
¿Qué propiedades del concreto elaborado con agregados naturales y reciclados debemos evaluar para verificar que el concreto sea aplicable a elementos no estructurales?	IV. Evaluar las propiedades del concreto elaborado con agregados naturales y reciclados y verificar su aplicación en elementos no estructurales.	IV. Si evaluo las propiedades del concreto elaborado con agregados naturales y reciclados entonces podré verificar que sea aplicable a elementos no estructurales.	<b>VI:</b> Evaluación de las propiedades del concreto elaborado con agregados naturales y reciclados. <b>VD:</b> Aplicación a elementos no estructurales.	<b>VI:</b> Cuadros y Gráficos de evaluación de las propiedades del concreto con la Norma Técnica Peruana (NTP). <b>VD:</b> Resistencia a la compresión $f'c$ obtenida.

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

<b>X = VARIABLE INDEPENDIENTE: DISEÑO DE CONCRETO F'C = 175 KG/CM2 CON AGREGADOS NATURALES Y AGREGADOS RECICLADOS</b>			
CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
El diseño de mezcla es el procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades necesarias de todos y cada uno de los componentes que intervienen en una mezcla de concreto, para obtener de ese material el comportamiento deseado, tanto durante su estado plástico, como después, en su estado endurecido.	Diseño de mezcla de un concreto con resistencia a la compresión de $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ utilizando agregados naturales y agregados reciclados.	Proporción en peso del Cemento, Agregado fino, Agregado grueso y del Agua	Método del comité ACI 211.1
<b>X = VARIABLE DEPENDIENTE: APLICACIÓN DEL CONCRETO RECICLADO EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES</b>			
CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADORES	FACTORES MEDIBLES
Se puede aplicar el concreto reciclado en elementos no estructurales como, por ejemplo: veredas, sardineles, adoquines de bajo tránsito, topellantas, concreto ciclópeo, solados, etc.	Aplicación del concreto elaborado con agregados naturales y reciclados en elementos no estructurales	Resistencia a la compresión $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	Método de ensayo para la medición de la resistencia a la compresión a edades de 7,14 y 28 días según la NTP 339.215

Fuente: *Elaboración propia*

## CAPÍTULO IV

### MÉTODO

#### 4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En la ciudad de Lima existen varias construcciones que se desarrollan en el día a día, siendo uno de los materiales más empleados el **concreto**. Este material tan importante en una construcción está compuesto de cemento, agua y agregados naturales. La alta demanda de los agregados provenientes de canteras nos hace ver como nuestros recursos se van agotando a medida que nuestra ciudad va creciendo. La presente investigación plantea la solución de reemplazar en cierta proporción estos agregados naturales por agregados reciclados, que nos permita utilizarlos en elementos no estructurales.

Las municipalidades ejecutan proyectos de rehabilitación, mejoramiento que implica las demoliciones de pavimentos rígidos, veredas, sardineles, etc. Estos residuos sólidos de demolición y construcción que al final podrían terminar en un botadero, o incluso en las calles por la falta de una gestión de eliminación, podríamos reutilizarlos a través de chancadoras que nos permitirá obtener agregados reciclados de diferentes tamaños, y así emplearlos en nuevos

concretos que no necesitan tener una resistencia estructural, ya que solo serán empleados como elementos no estructurales.

Para el desarrollo de la investigación se empezó con una primera etapa que fue la de una revisión bibliográfica de los resultados que se obtuvieron en otros países con el uso de agregados reciclados en concretos nuevos. Toda esta información es mencionada en el marco teórico, y nos permite tener una base para poder saber cuál es la mejor proporción de agregados naturales y reciclados en la elaboración de un nuevo concreto, y que nos permitirá obtener una resistencia mayor o igual que  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ .

Para poder elaborar el concreto reciclado, necesitamos de un diseño de mezcla utilizando las propiedades físicas de los agregados a emplear, luego desarrollar ensayos al concreto en estado fresco y endurecido, para finalmente evaluar sus propiedades e indicar si es viable su uso en elementos no estructurales.

Todos estos ensayos en el laboratorio nos indica que este trabajo de investigación es del tipo experimental.

El formato de la investigación experimental implica, en esencia, que en la mayor parte de los casos el investigador deliberadamente controla y manipula las condiciones que determinan los hechos en los que está interesado. Conviene asegurarse que un diseño experimental tengas las siguientes características:

- a) El investigador debe tener pleno control sobre las variables independientes que desee manipular.

- b) El efecto de la manipulación de la o las variables independientes debe mostrarse claramente en las variables dependientes.
- c) Cuando se realiza un experimento es importante hacer un análisis del contexto controlado y determinar si el control ejercido no fue de tal grado que haya puesto a la unidad de estudio en condiciones que nunca van a ser susceptibles de observarse.
- d) Evitar en lo posible situaciones que disminuyan o anulen la validez interna y externa del experimento.
- e) Evitar aquellos factores capaces de provocar confusión y que no permitan determinar si la presencia de una variable independiente o tratamiento experimental tienen o no un verdadero efecto.

Teniendo en cuenta las características del diseño experimental, se desarrollaron los ensayos para los agregados naturales y reciclados que se utilizarán en la elaboración del concreto. Se obtuvieron las propiedades físicas y se realizó el diseño de mezcla con el método ACI.

Con las proporciones en peso de los materiales que se van a utilizar en la elaboración del concreto se realizó la mezcla, a la vez que se hacían los ensayos del concreto en estado fresco, luego se prepararon testigos para finalmente realizar los ensayos del concreto en estado endurecido y obtener a los 7,14 y 28 días el  $f'_c$  de diseño.

## 4.2. MATERIAL

### 4.2.1. Unidad de Estudio

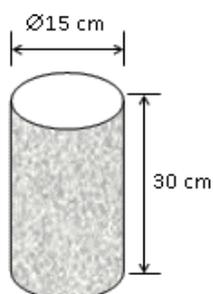
El diseño de un concreto elaborado con agregados naturales y agregados reciclados, para obtener un  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  y emplearlo en elementos que no son estructurales, a través de la evaluación de las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto.

### 4.2.2. Población

Está constituido por la mezcla de concreto. La mezcla se realizó con las proporciones en peso obtenidos en el diseño de mezcla con el método ACI. Se utilizó Cemento Sol Tipo I, agregado grueso reciclado (TMN = 3/4"), agregado fino combinado (Agregado fino natural con agregado fino reciclado) y agua potable.

### 4.2.3. Muestra

Se realizaron testigos (probetas) de concreto endurecido de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura según la Norma NTP 339.033. A estos testigos se le realizará el ensayo a la compresión en los días 7, 14 y 28 de elaborada la mezcla de concreto.



**Figura 1: Dimensiones de la probeta.**

## **4.3.MÉTODOS**

### **4.3.1. Técnicas e instrumentos y/o fuentes de recolección de datos**

Para el desarrollo de la siguiente investigación las fuentes para la recolección de datos fueron del tipo secundarias. Estas abarcan toda la gama de materiales desde libros, textos, tesis, trabajos de investigación, artículos de revistas, informes, páginas web, que fueron mencionadas en el capítulo de marco teórico.

Toda la información recopilada nos ayuda a tener una mayor visión en el tema del reciclado del concreto, lo que nos permite saber cómo han sido los diferentes resultados de estudios realizados en diferentes países.

Para poder tener una base en la elección de la proporción de agregados naturales y reciclados a emplear en la elaboración de un concreto nuevo, se recurrió a trabajos de investigación y tesis, que nos mostraron un mayor panorama y una mejor alternativa de solución.

Una vez recopilada toda la información documental necesaria para la evaluación a realizarse en nuestra investigación, se pasó a la obtención de datos de los materiales a emplear en la elaboración del concreto reciclado.

Para poder obtener agregados gruesos y finos reciclados, se necesita de un adecuado procedimiento que parte desde la obtención de residuos sólidos de concreto provenientes de demolición de pavimentos rígidos, su limpieza, chancado y triturado en diferentes tamaños requeridos en el diseño.

#### 4.3.1.1. Procedimiento para la obtención de agregados

Para poder obtener los agregados finos y gruesos reciclados que se van a emplear en la mezcla de concreto, se realizó el siguiente procedimiento:

##### 1) Ubicación del lugar de extracción de las muestras:

Los residuos sólidos de concreto se obtuvieron de la demolición de pavimentos rígidos y veredas ubicados en el distrito de El Agustino. Se coordinó con el personal encargado y se acomodaron los bloques de concreto en costales.



Fotografía N° 1: Demolición de veredas en el distrito de El Agustino.

##### 2) Transporte de los residuos sólidos:

Una vez recolectado los residuos sólidos de construcción y demolición en costales, se procede a transportarlos a Carapongo – Distrito de Lurigancho-Chosica, donde se encuentra la chancadora.

### **3) Limpieza y clasificación del material:**

El material es acopiado en un lugar adecuado; se realiza la limpieza del material separando el plástico, acero, y otras impurezas para quedarnos sólo con residuos sólidos de concreto.

### **4) Trituración del material:**

Después de realizar la limpieza al material, se colocan los residuos sólidos de concreto en la chancadora, se regula al diámetro de agregado que se requiere para el diseño, en este caso fue material pasante de 1", y finalmente se acopian los agregados gruesos y finos obtenidos en la trituración para ser luego llevados al laboratorio donde se realizarán los ensayos correspondientes.



**Fotografía N° 2: Trituración de bloques de concreto para la obtención de agregados finos y gruesos reciclados.**

#### 4.3.1.2. Proporción de agregado fino natural y reciclado

Existen muchos trabajos de investigación en donde se utilizan agregados reciclados para la elaboración de un concreto nuevo, pero también se puede ver que en los resultados de resistencia a la compresión, muchos de estos testigos en su rotura a los 28 días no llegan a superar el 100% de la resistencia de diseño de concreto requerido; esto se da debido a la alta porosidad de los agregados reciclados, lo que implica un alto contenido de absorción, también a la disminución en peso de estos agregados que tienen concreto adherido como parte de su contenido, y por último a la alta cantidad de finos que en parte perjudican en la fluidez del nuevo concreto.

En el siguiente trabajo de investigación lo que buscamos es reemplazar en cierta proporción agregado fino reciclado por agregado fino natural, dándole una mejor gradación al agregado fino que se va a emplear en el diseño de concreto, y logrando mejorar los valores de resistencia a la compresión del concreto a elaborarse.

En el artículo “Agregados finos reciclados de diversos orígenes y su utilización en morteros” se menciona que para algunos autores (Zega y Di Maio, 2006; Evangelista y de Brito, 2004) la utilización del Agregado Fino Reciclado (AFR) en hasta un 30% no produce modificaciones en la resistencia a la compresión.

Para poder calcular la proporción de agregado fino natural con agregado fino reciclado buscaremos que la granulometría de la mezcla de los dos tipos de agregados se encuentre dentro del huso granulométrico que nos indica la norma NTP 400.037 (**Tabla N°1**) y con un módulo de fineza recomendable entre 2.3 y 3.1.

### **4.3.2. Técnicas de procesamiento de datos**

Una vez recolectada toda la información bibliográfica relacionada a la elaboración de un concreto reciclado, y después de obtener los agregados finos y gruesos provenientes de la trituración de los bloques de concreto de demolición, se realizan diferentes ensayos en el laboratorio para después evaluarlos en el gabinete.

#### **4.3.2.1. Ensayos en el laboratorio**

El agregado grueso será reciclado, mientras que el agregado fino que se utilizará para el diseño del concreto será el combinado (% agregado fino natural + % agregado fino reciclado). Se realizaron ensayos a los agregados reciclados y al agregado fino natural para obtener sus propiedades físicas, que se emplearán a la hora de desarrollar el diseño de mezcla del concreto con el método del ACI.

Con las proporciones de materiales obtenidas en el diseño de mezcla (proporción en peso del cemento, agregado fino, agregado grueso y agua) se prepara el concreto, dejando muestras de este diseño en probetas de 15x30 cm que serán ensayadas para calcular a los 7, 14 y 28 días su resistencia.

#### **4.3.2.2. Trabajo en Oficina**

Para poder calcular las proporciones en peso de los agregados finos naturales y reciclados se utilizaron programas de Microsoft Office como son el Excel, Word, que nos permite a su vez poder visualizar las granulometrías de cada

uno de los agregados y obtener una mezcla adecuada según lo recomendado por la Norma Técnica Peruana.

El control de los ensayos de resistencia a la compresión de las probetas de concreto se llevó a través de gráficos que nos permiten visualizar como es el comportamiento de la resistencia del concreto en un tiempo determinado.

Con todos los resultados obtenidos de los diferentes ensayos se pasa a una evaluación según la Norma Técnica Peruana y se plantea una recomendación en cuanto al uso del concreto reciclado elaborado con agregado fino natural y agregados reciclados para su aplicación en elementos no estructurales.

A continuación, se muestra el procedimiento de todo el desarrollo para la elaboración del concreto reciclado y la evaluación de sus propiedades.

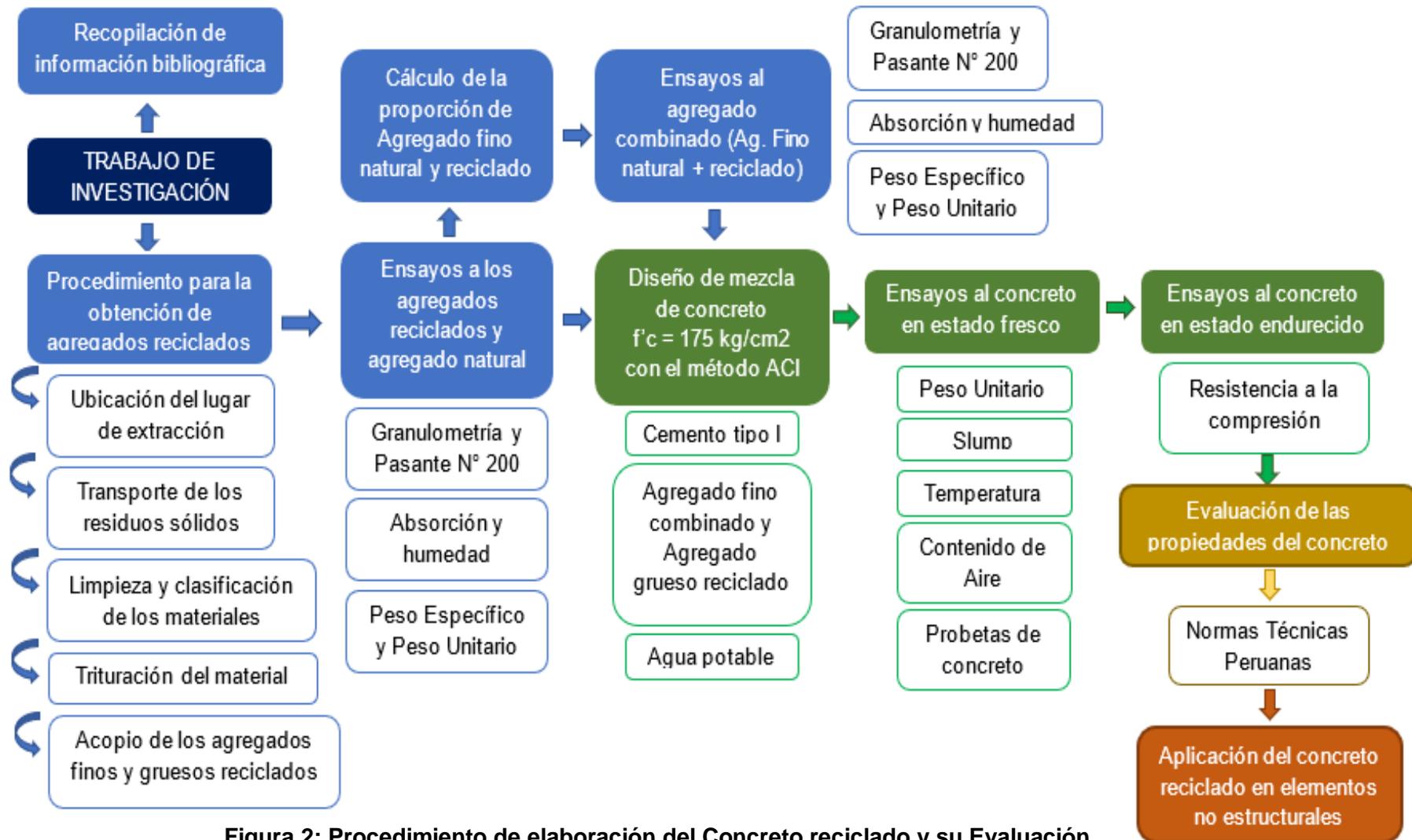


Figura 2: Procedimiento de elaboración del Concreto reciclado y su Evaluación

### 4.3.3. Técnicas de análisis e interpretación de la información

El análisis y la interpretación de la información se basará en todo lo recomendado por la Norma Técnica Peruana, llegando a obtener un concreto reciclado que cumpla con las características necesarias para poder ser empleado en elementos no estructurales.

#### 4.3.3.1. Propiedades físicas de los Agregados según la NTP

Los agregados provenientes de los residuos sólidos reciclados presentan diferentes propiedades físicas que se calcularán con los ensayos desarrollados en el laboratorio. Estas propiedades nos permiten saber si el agregado que se empleará en la mezcla de concreto nuevo presenta características adecuadas que ayudarán al concreto a poder llegar a la resistencia requerida por el diseño, en este caso a una resistencia a la compresión de  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ .

Los diferentes ensayos que se desarrollarán a los agregados naturales y agregados reciclados son los siguientes:

- 1) **Análisis Granulométrico:** Según el procedimiento mencionado en la NTP 400.012 para agregados finos y agregados gruesos.
- 2) **Peso Unitario Suelto y Peso Unitario Compactado:** Según el procedimiento mencionado en la NTP 400.017 para agregados finos y agregados gruesos.
- 3) **Peso Específico y Absorción para Agregado Grueso:** Según el procedimiento mencionado en la NTP 400.021.
- 4) **Peso Específico y Absorción para Agregado Fino:** Según el procedimiento mencionado en la NTP 400.022.

- 5) Contenido de Humedad:** Según el procedimiento mencionado en la NTP 339.185 para agregados finos y agregados gruesos.
- 6) Pasante Malla N° 200:** Según el procedimiento mencionado en la NTP 400.018 para agregados finos.

Una vez desarrollados los ensayos, la *NTP 400.037 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*, nos indica que el agregado fino deberá cumplir con la gradación mostrada en la siguiente tabla:

**Tabla 1: Análisis granulométrico del agregado fino**

Tamiz	Porcentaje que Pasa
9.5 mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 $\mu\text{m}$ (No. 30)	25 a 60
300 $\mu\text{m}$ (No. 50)	05 a 30
150 $\mu\text{m}$ (No. 100)	0 a 10

*Fuente: NTP 400.037 Agregados.*

Es por lo que, para cumplir con esta gradación, hacemos uso de la mezcla de agregado fino reciclado con agregado fino natural, en una proporción que nos permita tener una granulometría que este dentro del huso granulométrico mostrado en la Tabla N°1.

A este agregado fino combinado se le harán los mismos ensayos para calcular sus propiedades físicas y emplearlo en el diseño de mezcla de concreto.

#### **4.3.3.2. Ensayos al concreto en estado fresco y endurecido**

Obtenidas las propiedades físicas de los agregados reciclados y del agregado fino combinado, se pasa a realizar el diseño de mezcla en el laboratorio. Se utilizará el método del ACI para calcular las proporciones en peso de cemento, agregado fino combinado, agregado grueso reciclado y agua potable.

Con estas proporciones de materiales a emplear se realizará la mezcla y se desarrollarán los siguientes ensayos al concreto en estado fresco:

- 1) Muestreo de concreto fresco:** Según el procedimiento mencionado en la NTP 339.033, se obtendrán muestras cilíndricas de 15x30 cm, que se llevarán a la poza de agua para su posterior ensayo a la compresión a los 7, 14 y 28 días.
- 2) Peso Unitario:** Según el procedimiento mencionado en la NTP 339.046.
- 3) Asentamiento:** Según el procedimiento mencionado en la NTP 339.035, para poder ver la trabajabilidad y consistencia del concreto.
- 4) Contenido de Aire (presión):** Según el procedimiento mencionado en la NTP 339.083, con el método de presión.
- 5) Temperatura:** Según el procedimiento mencionado en la NTP 339.184, para saber la temperatura en la que se encuentra la mezcla de concreto fresco.

También se realizará ensayos al concreto en estado endurecido, a través de las probetas obtenidas:

- 1) Resistencia a la compresión:** Según el procedimiento mencionado en la NTP 339.034, a los 7, 14 y 28 días de realizada la mezcla de concreto.

#### **4.3.3.3. Evaluación de las propiedades del concreto**

Para poder realizar una evaluación a las propiedades del concreto, necesitamos analizar las propiedades de los agregados que se utilizaron en el diseño de mezcla. La Norma Técnica Peruana nos recomienda unos valores que deben cumplir los agregados en cuanto a sus propiedades como absorción, humedad, peso específico, etc.

Una vez analizado las propiedades de los agregados, se evalúan las propiedades del concreto reciclado, siendo la más importante la resistencia a la compresión a los 28 días de realizada la mezcla. Las demás propiedades del concreto nos ayudarán a complementar lo obtenido en la resistencia a la compresión, para posteriormente emplear el concreto en elementos no estructurales como veredas, sardineles, topellantas, etc.

## **CAPÍTULO V**

### **CASO DE APLICACIÓN**

En el siguiente capítulo se describirán los diferentes ensayos que se le realizaron a los agregados naturales y reciclados, luego el método que se utilizó para el cálculo del diseño de concreto y el desarrollo de los ensayos al concreto reciclado en estado fresco y endurecido, para su posterior evaluación de las propiedades y su utilización en elementos no estructurales.

#### **5.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO**

Se puede ver día a día la construcción de edificaciones, viviendas, donde el concreto es el material más utilizado. La elaboración de concreto implica la utilización de cemento, agua, aditivos, y agregados naturales. Estos últimos su transporte, su explotación en las canteras está logrando un gran impacto ambiental en nuestro país. Tomar conciencia de esto nos lleva a desarrollar este trabajo de investigación que lo que busca es reemplazar en cierta proporción la utilización de los agregados naturales por agregados reciclados que provienen de un concreto que ya cumplió su etapa (Residuos sólidos de

construcción y demolición), y que se puede reutilizar para crear un nuevo concreto.

Los residuos sólidos de concreto se obtuvieron de la demolición de pavimentos rígidos y veredas ubicadas en el distrito de El Agustino. Se llenaron estos bloques de concreto en costales y se transportaron hasta Carapongo ubicado en el distrito de Lurigancho-Chosica. Se realizó la limpieza correspondiente, separando el acero, plásticos, y solo dejando residuos de concreto. Se colocaron en la chancadora y se utilizó una malla de 1", obteniéndose agregados gruesos y finos reciclados. Estos agregados se transportaron al laboratorio para realizarle los ensayos correspondientes para obtener sus propiedades físicas.

Los ensayos que se realizaron a los agregados reciclados y agregados naturales son: granulometría, % absorción, % humedad, peso específico y pesos unitarios.

En varias investigaciones de diferentes países relacionadas a la elaboración de concretos, se puede ver que al utilizar en su totalidad agregados reciclados, se llega a una resistencia a la compresión menor al 100%, y esto se debe a muchos factores: alta porosidad de los agregados reciclados (alto contenido de absorción), disminución en peso de los agregados que tienen adherido concreto y alto contenido de finos que reduce la fluidez del concreto.

Lo que buscamos es reemplazar el agregado fino reciclado por agregado fino natural en cierta proporción, mejorando sus propiedades y permitiendo poder llegar a la resistencia de concreto diseñada.

Una de las propiedades importantes a tomar en cuenta en los agregados es la granulometría; después de revisar esta propiedad en los agregados reciclados, se puede ver que existe gran cantidad de finos.

La NTP 400.037 (Tabla N°1) nos recomienda un huso granulométrico para los agregados finos; lo que se busca es que la combinación de agregados finos reciclados con agregados finos naturales este dentro de lo mencionado por la Norma Técnica Peruana. Esto se llega a lograr con las siguientes proporciones: 65% de Agregado fino natural + 35% de Agregado fino reciclado. A este nuevo agregado fino que lo llamaremos “Agregado Fino combinado” se le realizaran los ensayos correspondientes para calcular sus propiedades físicas: % absorción, % humedad, peso específico y pesos unitarios. Con respecto al Agregado grueso reciclado, no se le realizará ninguna modificación.

Con las propiedades físicas de los agregados (Agregado fino combinado y agregado grueso reciclado), pasamos a realizar el diseño de mezcla del concreto a una resistencia a la compresión de  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  empleando el método del ACI.

Los materiales que se utilizarán para el diseño de mezcla del concreto son los siguientes: Cemento Sol Tipo I, Agregado Grueso reciclado (TMN = 3/4”), Agregado Fino combinado (65 % A.F. Natural + 35% A.F. Reciclado) y agua potable.

Se calcula las proporciones de materiales a emplear y se realiza la mezcla de concreto. Los ensayos que se le realizarán al concreto en estado fresco son los

siguientes: Peso Unitario, Asentamiento (Slump), Contenido de aire, Temperatura y probetas cilíndricas de 15x30cm.

Con las probetas elaboradas se realizan a los 7, 14 y 28 días los ensayos para calcular su resistencia. Se realiza la evaluación a las propiedades del concreto reciclado con las normas y se verifica su aplicación en elementos no estructurales.

## **5.2. DESARROLLO DEL CASO**

### **5.2.1. Ensayos de los Agregados**

Los ensayos a los agregados (fino, grueso, reciclado) se desarrollaron de la siguiente manera:

#### **5.2.1.1. Análisis Granulométrico del Agregado**

Según la NTP400.012 el siguiente ensayo lo que busca es determinar la distribución por tamaño de las partículas de agregado fino, grueso y reciclado según los diferentes tamices.

**Aparatos:** Balanza (aprox. 0.1g), Tamices, Horno ( $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ )

#### **Procedimiento:**

Se realiza el secado del material en el horno a una temperatura de  $110\text{ °C}$ .

Se eligen los tamices a utilizar para pasar el material (agregado) y calcular los porcentajes totales retenidos en cada tamiz y llegar a una aproximación del 0.1% del peso total seco del material.

Los tamices que se utilizarán para realizar el análisis granulométrico del agregado fino y agregado grueso según la NTP 400.011 son los siguientes:

**Tabla 2: Tamices a utilizar para realizar el análisis granulométrico**

Agregado	Tamices normalizados
FINO	150 $\mu\text{m}$ (N° 100)
	300 $\mu\text{m}$ (N° 50)
	600 $\mu\text{m}$ (N° 30)
	1.18 mm (N° 16)
	2.36 mm (N° 8)
	4.75 mm (N° 4)
GRUESO	9.50 mm (3/8)
	12.5 mm (1/2)
	19.0 mm (3/4)
	25.0 mm (1)
	37.5 mm (1 1/2)
	50.0 mm (2)
	63.0 mm (2 1/2)
	75.0 mm (3)
	90.0 mm (3 1/2)
	100.0 mm (4)

*Fuente: NTP 400.011 Agregados.*

Con los porcentajes totales retenidos o los porcentajes que pasa se realiza la curva Granulométrica para los agregados finos y gruesos. En el caso del agregado fino se adiciona el material pasante de la malla N° 200, calculado por el método de lavado según la NTP 400.018 y se utiliza como masa total el material seco previo al lavado para calcular todos los porcentajes.

Estos datos nos ayudan también a calcular el Módulo de Fineza, necesario para nuestro diseño de mezcla. El módulo de fineza se calcula sumando los porcentajes acumulados retenidos de cada uno de los siguientes tamices dividiendo la suma entre 100: N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 3/4".



**Fotografía N° 3: Granulometría del Agregado Grueso Reciclado.**

(1) Granulometría en tamices. (2) Material de Agregado Grueso Reciclado.



**Fotografía N° 4: Agregado Fino Reciclado y Natural.**

(1) Agregado Fino Reciclado. (2) Agregado Fino Natural

### 5.2.1.2. Contenido de Humedad

Según la NTP 339.185 el siguiente ensayo lo que busca es determinar el porcentaje total de contenido de humedad en el agregado fino o grueso por el método de secado.

**Aparatos:** Balanza (precisión de 0.1g), recipiente para la muestra, Estufa.

#### **Procedimiento:**

Se coloca el material húmedo en un recipiente y se pesa en la balanza, luego se procede a colocar el recipiente con el material en la estufa y se remueve el material hasta lograr el secado. Se pesa el material seco en la balanza.

El contenido de humedad en porcentaje se calcula con la siguiente fórmula:

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

Donde:

P = Contenido total de humedad evaporable de la muestra en porcentaje

W = Masa de la muestra húmeda original en gramos

D = Masa de la muestra seca en gramos.



**Fotografía N° 5:** Secado del agregado fino y grueso en la estufa.

### 5.2.1.3. Peso Específico y Absorción

#### Agregado Fino

Según la NTP 400.022 el siguiente ensayo lo que busca es determinar el peso específico seco, peso específico saturado superficialmente seco, peso específico aparente y el porcentaje de absorción del agregado fino.

**Aparatos:** Balanza (precisión de 0.1g), picnómetro (vol. 500cm<sup>3</sup>), molde, barra compactadora, recipiente para la muestra y estufa.

#### Preparación de la muestra:

Se coloca el material en un recipiente para luego secarlo en la estufa a una temperatura constante de 110 °C. Dejamos enfriar el material. Cubrimos con agua hasta alcanzar al menos un 6% de humedad y dejamos reposar durante 24h ± 4h.

Extendemos el material sobre una superficie plana no absorbente expuesta a una corriente suave de aire caliente y movemos para obtener un secado homogéneo. Continuamos con esta operación hasta que el material obtenga una condición de flujo libre.

Colocamos una porción de agregado fino en el molde llenándolo hasta el tope, luego apisonamos ligeramente 25 golpes con la barra compactadora. Levantamos el molde verticalmente, si la humedad de la superficie esta todavía presente, el material conservará la forma del cono. Se continua hasta que el cono se derrumbe al levantar el molde. El material ha llegado a un estado de superficie seca.



**Fotografía N° 6: % Absorción de la arena y P. Específico.**

(1) Apisonamiento de la arena. (2) Secado de la arena.

**Procedimiento:**

Se utilizará el procedimiento gravimétrico (picnómetro).

Colocar en el picnómetro 500 g de muestra saturada superficialmente seca y llenamos de agua hasta un 90% de su capacidad. Agitamos el picnómetro para eliminar las burbujas de aire. Colocamos el picnómetro a una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  y llevamos el nivel de agua a su capacidad total (500 cm<sup>3</sup>). Determinamos el peso total del picnómetro, muestra y agua.



**Fotografía N° 7: Procedimiento gravimétrico (picnómetro)**

(1) Picnómetro con material fino. (2) Picnómetro con material y agua añadida.

Retiramos el material fino del picnómetro, lo secamos en el horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , enfriamos en el aire durante  $1\text{ h} \pm \frac{1}{2}\text{ h}$ . Finalmente pesamos el material seco.

Determinamos el peso del picnómetro lleno con agua a su capacidad total (500  $\text{cm}^3$ ).

**Cálculos:**

$$\text{Peso Específico SSS} = \frac{A}{D + A - B} \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$\text{Peso Específico Seco} = \frac{C}{D + A - B} \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{C}{D + C - B} \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$\text{Absorción, \%} = \left( \frac{A - C}{C} \right) \times 100 \text{ (\%)}$$

Donde:

A = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)

B = Peso del picnómetro + agua + muestra (gr)

C = Peso de la muestra seca al horno (gr)

D = Peso del picnómetro + agua (gr)

### Agregado Grueso

Según la NTP 400.021 el siguiente ensayo lo que busca es determinar el peso específico seco, peso específico saturado superficialmente seco, peso específico aparente y el porcentaje de absorción del agregado grueso.

**Aparatos:** Balanza (precisión de 0.5g), cesta con malla de alambre, depósito de agua, tamices y estufa.

#### Preparación de la muestra:

Se realiza el cuarteo al total de la muestra para obtener un peso mínimo de 3kg. Descartar todo el material pasante del tamiz N° 4, y luego lavar el material para remover polvo u otras impurezas.

#### Procedimiento:

Secamos la muestra en la estufa a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , ventilamos en temperatura ambiente durante 1h a 3h. Luego sumergimos el material en agua a una temperatura ambiente por  $24\text{h} \pm 4\text{h}$ .



(1)



(2)

#### Fotografía N° 8: Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso

(1) Secado del material a temperatura ambiente. (2) Material sumergido en agua.

Colocar el material sobre un paño grande absorbente y remover toda el agua superficial. Se pesa el material saturado superficialmente seco con una aproximación de 0.5g. Luego de pesar, se coloca el material en la cesta de alambre y se determina su peso en agua a una temperatura entre  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ , densidad  $997 \pm 2\text{ kg/m}^3$ . Finalmente secamos la muestra a una temperatura entre  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , y dejamos enfriar durante 1h a 3h. Pesar el material seco.



**Fotografía N° 9: Material saturado superficialmente seco en la cesta de alambre.**

**Cálculos:**

$$\text{Peso Específico SSS} = \frac{B}{B - C} \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$\text{Peso Específico Seco} = \frac{A}{B - C} \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$\text{Peso Específico Aparente} = \frac{A}{A - C} \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$\text{Absorción, \%} = \left( \frac{B - A}{A} \right) \times 100 (\%)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca (gr)

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)

C = Peso en el agua de la muestra saturada (gr)

#### 5.2.1.4. Peso Unitario

Según la NTP 400.017 el siguiente ensayo lo que busca es determinar el peso unitario suelto y compactado en el agregado fino y agregado grueso.

**Aparatos:** Balanza (aprox. de 0.05 kg), barra compactadora de acero liso 5/8", recipiente de medida, pala de mano y plancha de vidrio de 6mm.

#### **Procedimiento:**

Al presentar nuestro agregado un TMN = 3/4", utilizaremos el método de apisonado. El material se seca en el horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Antes de realizar el ensayo, es necesario calibrar el recipiente por lo menos una vez al año, para poder obtener su volumen.

#### **Peso Unitario Compactado**

Se coloca el material en el recipiente hasta la tercera parte y se nivela con la mano. Se apisona con la barra compactadora mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie. Se llena hasta las dos terceras partes de la medida y nuevamente se compacta con 25 golpes. Por último, se llena hasta rebosar, se compacta con 25 golpes con la barra lisa y el agregado sobrante se elimina usando el acero liso como regla.

Se pesa el recipiente con su contenido y el recipiente solo. Se registra los datos.



**Fotografía N° 10: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso**

(1) Apisonado del agregado grueso en el recipiente. (2) Enrasado del agregado grueso con la barra lisa 5/8".

### **Peso Unitario Suelto**

Se coloca el material en el recipiente con una cuchara hasta rebosar, dejándolo caer desde una altura no mayor de 2" por encima de la parte superior del recipiente. El material sobrante se elimina con una regla. Se pesa el recipiente con su contenido y el recipiente solo. Se registra los datos.



**Fotografía N° 11: Colocación del Agregado fino mezclado en el recipiente para calcular el Peso Unitario Suelto**

**Cálculos:**

Para calcular el Peso unitario Suelto o compactado, usaremos la siguiente fórmula:

$$M = \frac{G - T}{V} \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

Donde:

M = Peso unitario suelto o compactado del agregado (kg/m<sup>3</sup>)

G = Peso del recipiente de medida más el agregado (kg)

T = Peso del recipiente de medida (kg)

V = Volumen del recipiente de medida (m<sup>3</sup>)

**5.2.2. Diseño de Mezcla método ACI 211**

Se realiza el diseño de mezcla con el método del comité ACI 211.1, siguiendo el procedimiento mencionado en el capítulo II: Marco Teórico.

**5.2.2.1. Propiedades de los Agregados**

1. Agregado Fino Combinado (65% Ag. fino natural + 35% Ag. fino reciclado)

*Peso Específico Masa: 2524 kg/m<sup>3</sup>*

*Peso Unitario Suelto Seco: 1449 kg/m<sup>3</sup>*

*Peso Unitario Compactado Seco: 1675 kg/m<sup>3</sup>*

*% Humedad Natural: 2.80 %*

*% Absorción: 2.92 %*

*Módulo de Fineza: 2.72*

## 2. Agregado Grueso Reciclado

*Tamaño Máximo Nominal: 3/4"*  
*Peso Específico Masa: 2285 kg/m<sup>3</sup>*  
*Peso Unitario Suelto Seco: 1239 kg/m<sup>3</sup>*  
*Peso Unitario Compactado Seco: 1374 kg/m<sup>3</sup>*  
*% Humedad Natural: 2.30 %*  
*% Absorción: 5.30 %*  
*Módulo de Fineza: 6.90*

### 5.2.2.2. Desarrollo del diseño de mezcla

Para realizar el diseño de mezcla por el método ACI, se tomará en cuenta las siguientes consideraciones:

Resistencia a la compresión  $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Slump 3" a 4"

Cemento Sol Tipo I (Peso específico =  $3.12 \text{ gr/cm}^3$ )

Agua potable (Peso específico =  $1 \text{ g/cm}^3$ )

Concreto sin aire incorporado

Al no existir información suficiente para el cálculo de la desviación estándar, se utilizará la **Tabla N° 11** para el cálculo de la Resistencia a la compresión promedio:

$$f'_{cr} = f'_c + 70 = 175 + 70$$

$$f'_{cr} = 245 \text{ kg/cm}^2$$

**Cálculos:**

1. Establecemos la cantidad de agua según la **Tabla N° 8**:  
TMN = 3/4", Slump = 3" a 4", Concreto sin aire incorporado  
Agua = 205 lt

2. Definimos la relación agua/cemento según la **Tabla N° 9**:  
 $f'_{cr} = 245 \text{ kg/cm}^2$ ,  $a/c = 0.63$

3. Calculamos la cantidad de cemento en peso:

$$\text{Cemento (kg)} = \frac{205 \text{ kg}}{0.63} = 325 \text{ kg}$$

4. Con la cantidad de cemento y agua, se calcula los volúmenes:

$$V_{\text{cemento}} = \frac{325 \text{ kg}}{3120 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.105 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agua}} = 205 \text{ lt} = 0.205 \text{ m}^3$$

5. Estimamos el porcentaje de aire atrapado por m<sup>3</sup> y volumen absoluto según la **Tabla N° 8**:

TMN = 3/4", Concreto sin aire incorporado

% aire atrapado = 2 %

Volumen absoluto aire atrapado = 0.02 m<sup>3</sup>

6. Calculamos el volumen absoluto que ocuparán los agregados en 1m<sup>3</sup>:

$$\text{Vol. Abs. Agregados} = 1\text{m}^3 - 0.105\text{m}^3 - 0.205\text{m}^3 - 0.02\text{m}^3 = 0.67\text{ m}^3$$

7. Obtenemos el volumen de agregado grueso compactado en la **Tabla N° 10**:  
 TMN = 3/4", MF = 2.72  
 Volumen Agregado Grueso Compactado = 0.63 m<sup>3</sup>

8. Calculamos el volumen absoluto de agregado grueso, con el PUCS y el Peso Específico Seco:

$$\text{Vol. Abs. Ag. Grueso (m}^3\text{)} = \frac{0.63\text{ m}^3 \times 1374 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2285 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.379\text{ m}^3$$

9. Calculamos el volumen absoluto de agregado fino:

$$\text{Vol. Abs. Ag. Fino (m}^3\text{)} = 0.670\text{m}^3 - 0.379\text{m}^3 = 0.291\text{m}^3$$

10. Calculamos los pesos de los agregados con sus pesos específicos secos:

$$\text{Peso Agregado Grueso Seco (kg)} = 0.379\text{ m}^3 \times 2285 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 866\text{ kg}$$

$$\text{Peso Agregado Fino Seco (kg)} = 0.291\text{ m}^3 \times 2524 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 742\text{ kg}$$

11. La humedad y la absorción influyen en el diseño, por lo que hay que corregir:

$$W_{\text{Ag.grueso húmedo}} = 866\text{ kg} \times (1 + 0.023) = 886\text{ kg}$$

$$W_{Ag.fino\ húmedo} = 742\ kg \times (1 + 0.028) = 763\ kg$$

$$Balance\ Agua\ en\ el\ Ag.\ Grueso = 0.023 - 0.053 = -0.03$$

$$Balance\ Agua\ el\ Ag.\ Fino = 0.028 - 0.029 = -0.001$$

$$Contribución\ agua\ x\ Ag.\ Grueso = (-0.03) \times 886 = -26\ lt$$

$$Contribución\ agua\ x\ Ag.\ Fino = (-0.001) \times 763 = 0\ lt$$

$$Agua\ efectiva = 205\ lt - (-26\ lt) - (0\ lt) = 231\ lt$$

12. Peso de los materiales por m<sup>3</sup> concreto de obra:

Cemento = 325 kg

Ag. Fino Combinado húmedo = 763 kg

Ag. Grueso Reciclado húmedo = 886 kg

Agua efectiva = 231 lt

a/c = 0.71

13. Proporción en peso de obra será:

**1: 2.3: 2.7 / 30.4 lt/bolsa**

### 5.2.3. Elaboración del Concreto Reciclado

Con la proporción del diseño de mezcla se elabora el concreto reciclado.

**Aparatos:** Mezcladora mecánica, bandejas metálicas, cucharas de muestreo, carretilla, balanza electrónica y martillo de goma.

**Materiales:** Agregado fino combinado, agregado grueso reciclado, Cemento Sol tipo I y agua potable.

**Procedimiento:**

Preparamos el material de agregado fino combinado mezclando 65% de agregado fino natural con 35% de agregado fino reciclado, hasta lograr un material uniforme.



**Fotografía N° 12: Mezcla del agregado fino natural con el agregado fino reciclado.**

Colocamos los materiales en bandejas metálicas para después pesarlos de acuerdo con los datos obtenidos en el diseño de mezcla, teniendo en cuenta la cantidad necesaria para realizar los ensayos en estado fresco y endurecido del concreto reciclado.



**Fotografía N° 13: Ag. Grueso reciclado, Ag. Fino combinado, Cemento y Agua.**



(1)



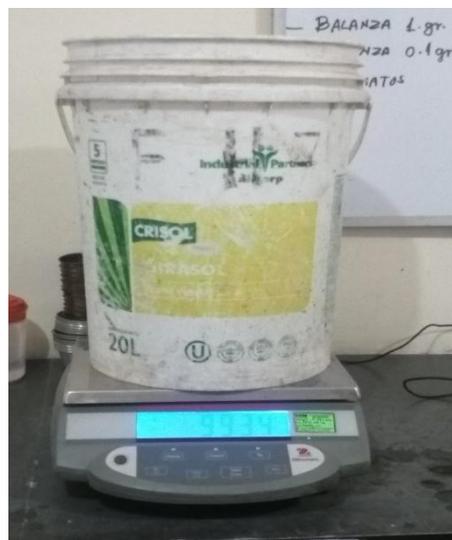
(2)

**Fotografía N° 14: Pesaje de los agregados**

(1) Peso del Agregado grueso reciclado. (2) Peso del Agregado fino combinado



(1)



(2)

**Fotografía N° 15: Pesaje del cemento y agua potable**

(1) Peso del cemento tipo I. (2) Peso del agua potable.

Verificamos que la mezcladora mecánica se encuentre limpia, caso contrario pasamos a lavarla.

**Fotografía N° 16: Limpieza de la mezcladora mecánica.**

Agregamos los materiales a la mezcladora mecánica de la siguiente manera:

Colocamos agregado fino combinado y cemento tipo I, los mezclamos moviendo manualmente la mezcladora durante unos segundos. Luego añadimos el agregado grueso reciclado, hasta que quede uniformemente distribuido todo el material. Adicionamos agua y conectamos la mezcladora para iniciar con el mezclado mecánico.



**Fotografía N° 17: Colocación del Agregado grueso en la mezcladora mecánica**

Continuamos con la mezcla hasta que se vea una apariencia homogénea en el concreto, por un tiempo aproximado de 3 minutos.



**Fotografía N° 18: Mezclado del material durante 3 minutos aproximadamente.**

Finalmente vaciamos la mezcla de concreto reciclado en una carretilla limpia de impurezas. Mezclamos con la cuchara de muestreo y procedemos a realizar los ensayos en estado fresco del concreto reciclado.



**Fotografía N° 19: Colocación del concreto en una carretilla limpia.**

#### **5.2.4. Ensayos del concreto en estado fresco**

##### **5.2.4.1. Asentamiento del Concreto**

Según la NTP 339.035 el siguiente ensayo lo que busca es determinar el asentamiento del concreto de cemento Portland.

**Aparatos:** Molde de metal con forma de tronco de cono (Cono de Abrams), barra de acero liso  $\varnothing=16\text{mm}$  y 600mm de longitud, wincha y cucharón.

**Procedimiento:**

Humedecemos el molde y colocamos sobre una superficie plana y rígida. Fijamos el molde durante el llenado presionando sobre las aletas.

Con el concreto reciclado fresco en la carretilla llenamos el molde con la cuchara, vaciando en tres capas, de modo que cada capa corresponda a la tercera parte del volumen del molde. Compactamos con la barra lisa cada capa con 25 golpes uniformemente en toda la sección de la capa. Llenamos por exceso el molde antes de compactar la última capa. Enrasamos rodando con la barra lisa.

Levantamos el molde cuidadosamente en forma vertical. Toda la operación desde la colocación del concreto en el cono será de un tiempo no mayor de 2.5 min. Finalmente medimos inmediatamente con la wincha el asentamiento, determinado por la diferencia entre la altura del molde y la del centro desplazado de la cara superior del cono deformado.



(1)

(2)

**Fotografía N° 20: Asentamiento del concreto reciclado**

- 1) Compactación del concreto con la barra lisa uniformemente. (2) Enrasado del concreto.



(1)

(2)

### **Fotografía N° 21: Medición del Asentamiento del concreto**

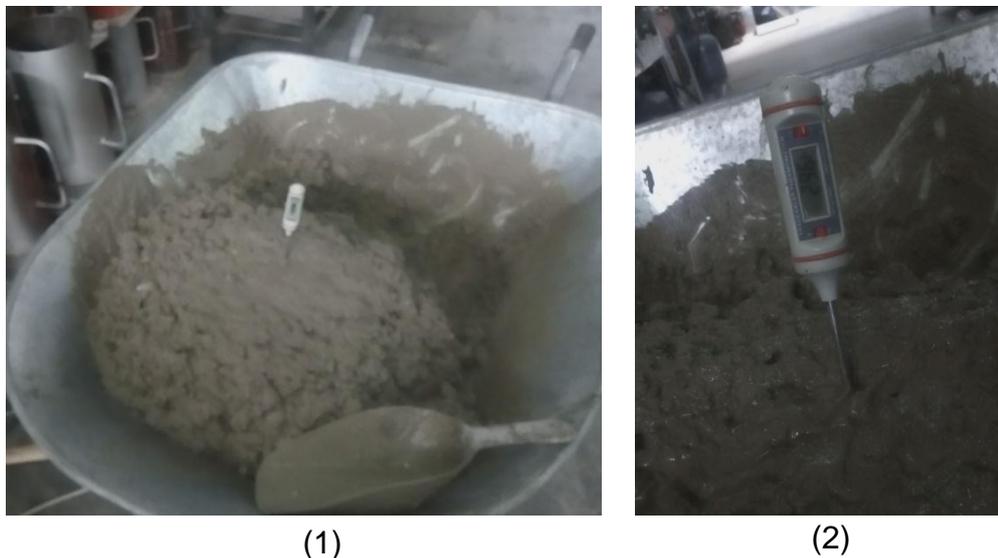
(1) Levantamiento vertical del cono de Abrams. (2) Medición del asentamiento del concreto.

#### **5.2.4.2. Temperatura**

Según la NTP 339.184 el siguiente ensayo lo que busca es determinar la temperatura del concreto en estado fresco.

**Instrumento:** Aparato de medición en °C.

Se sumerge el dispositivo para medir la temperatura, unas 3" aproximadamente. Lo dejamos en un tiempo mínimo de 2min. Y hacemos la lectura. Este procedimiento se tiene que realizar en 5min de realizada la muestra.



#### **Fotografía N° 22: Medición de la temperatura del concreto fresco**

(1) Dispositivo de temperatura colocado en el concreto fresco (2) Temperatura del concreto fresco.

#### **5.2.4.3. Peso Unitario**

Según la NTP 339.046 el siguiente ensayo lo que busca es determinar el peso unitario del concreto fresco, y mostrar las fórmulas para calcular rendimiento, contenido de cemento y contenido de aire del concreto.

**Aparatos:** Balanza electrónica (precisión de 45g), barra de acero liso  $\varnothing=16\text{mm}$  y 600mm de longitud, recipiente de medida, placa de alisado, mazo con cabeza de caucho y cuchara.

#### **Procedimiento:**

Por tener nuestro concreto fresco un asentamiento de 3" (75mm), nos corresponde utilizar el método de consolidación del concreto por apisonado.

Colocamos el concreto en el recipiente con la cuchara, en 3 capas de aproximadamente igual volumen y movemos para asegurar una distribución homogénea. Apisonamos cada capa con 25 golpes de la barra compactadora. Después de que cada capa es apisonada, se debe golpear con el mazo los lados del recipiente, de 10 a 15 veces, y así eliminar las burbujas de aire atrapadas.



**Fotografía N° 23: Apisonado del concreto fresco en el recipiente.**

Luego de la consolidación, se debe alisar y terminar suavemente la superficie del concreto del borde superior del recipiente con la placa plana de alisado que se usa para dejar el recipiente de medida nivelado y lleno.



**Fotografía N° 24: Alisado de la superficie superior del recipiente.**

Finalmente, después del alisado de la superficie superior del recipiente, se limpia todo el concreto en exceso adherido a las paredes exteriores del recipiente y se pesa la masa de concreto fresco.



**Fotografía N° 25: Pesaje de la masa de concreto fresco.**

**Cálculos:**

Para calcular la densidad o peso unitario del concreto fresco, usaremos la siguiente fórmula:

$$D = \frac{Mc - Mm}{Vm} \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

Y para calcular el rendimiento:

$$Y (m^3) = \frac{M}{D}$$

El rendimiento relativo:

$$Ry = Y/Y_D$$

El contenido de cemento:

$$C = \frac{Cb}{Y}$$

Contenido de aire:

$$A = \frac{(T - D)}{T} \times 100$$

Donde:

D = Peso unitario del concreto (kg/m<sup>3</sup>)

Mc = Masa del recipiente de medida lleno de concreto (kg)

Mm = Masa del recipiente de medida (kg)

Vm = Volumen del recipiente de medida (m<sup>3</sup>)

Y = Rendimiento, volumen de concreto producido por tanda (m<sup>3</sup>)

Ry = Rendimiento relativo

Y<sub>D</sub> = Volumen de diseño de concreto por tanda (m<sup>3</sup>)

M = Masa total de todos los materiales en la tanda (kg)

C = Contenido actual de cemento (kg/m<sup>3</sup>)

Cb = Masa de cemento en el lote (kg)

A = Contenido de aire en el hormigón

T = Densidad teórica del concreto (kg/m<sup>3</sup>)

#### 5.2.4.4. Contenido de Aire por método de presión

Según la NTP 339.038 el siguiente ensayo lo que busca es determinar el contenido de aire de un concreto recién mezclado a partir de la observación del cambio de volumen del concreto por un cambio de presión.

**Aparatos:** Medidor de aire Tipo B (compuesto por un recipiente de medida y montaje de cubierta cónica), vaso de calibración, resorte, pera de caucho, varilla de apisonado  $\varnothing=16\text{mm}$  y 400mm de longitud, mazo con cabeza de caucho, platina de enrasado, badilejo, embudo y medidor de agua.



**Fotografía N° 26: Medidor de aire Tipo B**

#### **Procedimiento:**

Colocamos mezcla de concreto en el recipiente de medida, en 3 capas de igual volumen. Movemos para asegurar una distribución homogénea. Apisonamos con la varilla cada capa con 25 golpes. Golpeamos los lados del recipiente de 10 a 15 veces después de cada apisonada, hasta llenar cualquier vacío.

Luego de la compactación, enrasamos la superficie de concreto, haciendo pasar la platina hasta obtener el recipiente de medida nivelado y liso.



**Fotografía N° 27: Recipiente de medida nivelado en la superficie.**

**a) Preparación para el ensayo según el medidor Tipo B:**

Limpiamos los bordes del recipiente para que la junta de la cubierta tenga cierre hermético. Ensamblamos el aparato. Cerramos la válvula entre la cámara y el recipiente y abrimos los dos grifos de la cubierta. Con la pera de caucho, inyectamos agua a través de uno de los grifos hasta que salga agua del grifo opuesto. Golpeamos suavemente la tapa del medidor para eliminar las burbujas de aire atrapadas.



(1)



(2)

**Fotografía N° 28: Contenido de aire por método de presión**

(1) Limpieza del recipiente de medida. (2) Inyección de agua en uno de los grifos.

**b) Procedimiento de ensayo según el medidor Tipo B:**

Cerramos la válvula de la cámara y bombeamos aire hasta que el puntero del manómetro coincida con la línea de presión inicial. Permitimos que el aire comprimido se enfríe unos pocos segundos hasta la temperatura normal. Estabilizamos el índice del manómetro en la línea de presión inicial mediante bombeo, golpeándolo ligeramente con la mano. Cerramos los grifos A y B. Abrimos la válvula que comunica la cámara de presión con el recipiente de medida. Golpeamos alrededor del recipiente y golpeamos suavemente el manómetro, para finalmente hacer la lectura del porcentaje de aire. Se abren los grifos A y B antes de retirar la cubierta.



**Fotografía N° 29: Lectura del porcentaje de aire en el manómetro.**

**Factor de corrección por agregado:**

- 1) Calculamos los pesos de los agregados (fino y grueso) presentes en la mezcla de concreto fresco:

$$F_s = \left(\frac{S}{B}\right) \times F_b \quad , \quad C_s = \left(\frac{S}{B}\right) \times C_b$$

Donde:

$F_s$  = Peso del agregado fino en la muestra de concreto bajo ensayo (kg)

$S$  = Volumen de la muestra de concreto (Vol. de recipiente de medida) (m<sup>3</sup>)

$B$  = Volumen de concreto producido por amasado (m<sup>3</sup>)

$F_b$  = Peso total de agregado fino húmedo usado en la amasada (kg)

$C_s$  = Peso del agregado grueso en la muestra de concreto bajo ensayo (kg)

$C_b$  = Peso total de agregado grueso húmedo usado en la amasada (kg)

- 2) Llenamos con agua el recipiente de medida hasta 1/3 de su volumen. Mezclamos las muestras representativas de agregado fino  $F_s$  y agregado grueso  $C_s$  y las colocamos poco a poco en el recipiente revolviéndolas para evitar la incorporación de aire. Si es necesario agregamos agua para inundar todo el agregado. Removemos las acumulaciones de espuma. Golpeamos los lados del recipiente y compactamos la parte superior de la muestra con la varilla de apisonado, unas 10 veces.
- 3) Dejamos el agregado sumergido durante un tiempo igual al empleado desde el momento de agregar agua a los materiales hasta el momento de hacer el ensayo de contenido de aire.
- 4) Realizamos el procedimiento descrito en *a) Preparación para el ensayo según el medidor Tipo B*.
- 5) Del aparato ensamblado, sacamos un volumen de agua equivalente aproximadamente al volumen de aire que estaría contenido en una muestra típica de concreto de un tamaño igual al volumen del recipiente, y completamos el ensayo como lo descrito en *b) Procedimiento de ensayo según el medidor Tipo B*.
- 6) El factor de corrección por agregado  $G$ , es igual a la lectura de contenido de aire menos el volumen de agua sacado del recipiente de medida expresado como porcentaje del volumen de recipiente de medida.

**Cálculos:**

Para calcular el contenido de aire del concreto, usamos la siguiente fórmula:

$$A_s = A_1 - G$$

Donde:

$A_s$  = Contenido de aire de la mezcla ensayada. (%)

$A_1$  = Contenido aparente de aire de la muestra ensayada (%)

$G$  = Factor de corrección por agregado (%)

**5.2.4.5. Elaboración y curado de especímenes de concreto**

Según la NTP 339.033 el siguiente ensayo establece los procedimientos para preparar y curar especímenes de forma cilíndrica, de muestras representativas de concreto fresco, sobre las cuales se realizarán ensayos para determinar el cumplimiento de su resistencia.

**Aparatos:** Moldes cilíndricos de acero ( $\varnothing=15\text{cm}$ ,  $h=30\text{cm}$ ), varilla compactadora  $\varnothing=16\text{mm}$  y 500mm de longitud, martillo con cabeza de goma, pala y cucharón, plancha de albañil, carretilla.

**Procedimiento:**

Moldear los especímenes en una superficie nivelada y rígida, en un lugar cerca de donde serán almacenados.

Colocar el concreto dentro de los moldes en 3 capas de igual volumen, dándole a cada una de ellas 25 golpes con la varilla compactadora.



**Fotografía N° 30: Apisonado del concreto fresco en el molde cilíndrico**

Después de consolidar cada capa, se golpea con el martillo ligeramente las paredes del molde unas 10 a 15 veces, con el fin de eliminar los vacíos y burbujas de aire.



**Fotografía N° 31: Colocación de mezcla en el molde y golpeado ligeramente con martillo para eliminar los vacíos.**

Llenamos la última capa en exceso, para después de compactarla pueda enrasarse con el borde superior del molde. Le realizamos el acabado final con la mínima manipulación necesaria, a fin de lograr una superficie plana y a nivel con el borde del molde.



**Fotografía N° 32: Enrasado de las probetas cilíndricas**

Los especímenes deben ser almacenados por un periodo de hasta 48 h en un rango de temperatura entre 16°C y 27°C.

Luego de completar el curado inicial, y dentro de los 30 min después de remover los moldes, los especímenes se deben curar a una temperatura de 23 °C ± 2°C, manteniendo un agua libre sobre su superficie permanentemente. Es muy importante que antes de sacarlas del agua, los especímenes deben estar correctamente identificadas.



**Fotografía N° 33: Especímenes cilíndricos correctamente identificados.**

### 5.2.5. Ensayos del Concreto en estado endurecido

Con las probetas cilíndricas ya curadas, pasamos a realizar los ensayos al concreto en estado endurecido, y poder verificar su resistencia a la compresión.

#### 5.2.5.1. Resistencia a la Compresión

La resistencia en las muestras de concreto se determinan de acuerdo a la NTP 339.034.

**Equipos:** Máquina para la compresión de probetas equipada con dos bloques de acero con cara resistente, balanza electrónica, regla metálica milimétrica.

#### **Procedimiento:**

Los ensayos a la compresión deben realizarse inmediatamente después de ser retiradas las probetas cilíndricas del lugar de curado. Las probetas serán ensayadas en condición húmedas.

Se pesan las probetas en la balanza electrónica. Luego son medidas en diámetro y largo. Registrar los datos obtenidos en cada una de las probetas.

Se procede a ensayar las probetas en la máquina de compresión.



**Fotografía N° 34: Medición de las probetas cilíndricas**



**Fotografía N° 35: Pesaje de las probetas cilíndricas**

### **Ensayo a la Compresión**

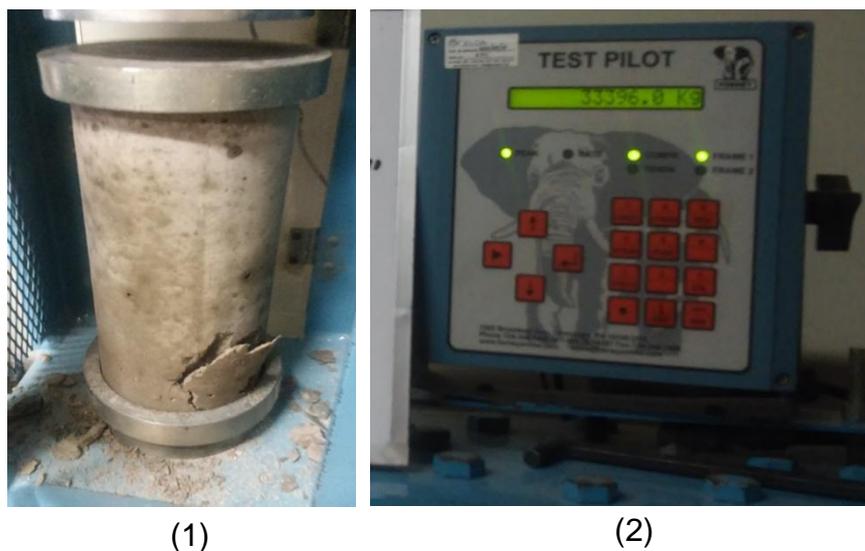
Colocamos el bloque de rotura inferior, sobre el cabezal de la máquina de ensayo y el bloque de rotura superior directamente bajo la rótula del cabezal. Se procede a limpiar las caras de contacto de los bloques (superior e inferior) y la cara de la probeta a ensayar. La probeta es colocada sobre el bloque inferior de rotura, alineando los ejes de la probeta con el centro de empuje de la rótula del bloque asentado.



**Fotografía N° 36: Colocación de la probeta en la máquina de ensayo a la compresión**

Finalmente aplicamos la carga continuamente y sin detenimiento, a una velocidad de movimiento, correspondiendo a una velocidad de esfuerzo sobre la probeta de  $0.25 \pm 0.05$  MPa/s.

Se retira la probeta y se examina el tipo de fractura obtenida.



**Fotografía N° 37:** Aplicación de la carga a la probeta

(1) Rotura de la probeta después de aplicada la carga (2) Carga máxima de rotura



**Fotografía N° 38:** Tipos de fracturas en las probetas N° 1 y N° 2

(1) Fractura del lado en la base en la probeta N°1 (2) Fractura tipo5 en la probeta N°2

**Cálculos:**

$$f'c = \frac{Q}{A}$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

Q= Carga máxima de rotura (kg)

A= Área de la probeta sobre la cual se aplica la carga (cm<sup>2</sup>)

## **CAPÍTULO VI**

### **RESULTADOS**

#### **6.1. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS**

Lo que describiremos en el siguiente capítulo son los resultados de los ensayos realizados a los agregados y al concreto reciclado en estado fresco y endurecido; estos se mostrarán a través de tablas, cuadros y gráficos que nos permitirán evaluar el uso del agregado fino combinado (Ag. Fino natural + Ag. Fino reciclado) y el agregado grueso reciclado como una alternativa en la elaboración de un nuevo concreto no estructural ( $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ ), y poder emplearlo en elementos como sardineles, veredas, rampas, topellantas, etc. Además, se incluirá un análisis de costo del concreto utilizando agregados reciclados y el de un concreto convencional.

Para realizar un buen análisis del concreto elaborado con agregados reciclados y naturales, es importante conocer las propiedades físicas de cada uno de los componentes que conforman este concreto, principalmente la de los agregados que llegan a ocupar un 75% del volumen total, siendo estos influyentes a la hora de elaborar la mezcla de concreto.

➤ **Cemento Tipo I**

Este cemento se utiliza en diferentes construcciones en general que no requiera características especiales.

**Cuadro 4: Propiedades físicas del Cemento Sol Tipo I**

Propiedades físicas	Cemento Sol Tipo I	NTP 334.009 ASTM C-150
Densidad	3.12 g/cm <sup>3</sup>	No especifica
Contenido de aire	6.62%	Máximo 12
Resistencia a la compresión 3 días	296 kg/cm <sup>2</sup>	Mínimo 122
Resistencia a la compresión 7 días	357 kg/cm <sup>2</sup>	Mínimo 194
Resistencia a la compresión 28 días	427 kg/cm <sup>2</sup>	No especifica

*Fuente: UNACEM*

Según el **cuadro N°4**, el cemento sol Tipo I presenta una densidad de 3.12 g/cm<sup>3</sup>, que será utilizada en el diseño de mezcla.

➤ **Agua**

Para la elaboración de la mezcla de concreto se empleará agua potable libre de impurezas. El peso específico del agua para el desarrollo del diseño de mezcla será de 1g/cm<sup>3</sup>.

➤ **Agregados finos y gruesos**

**Granulometría de los agregados**

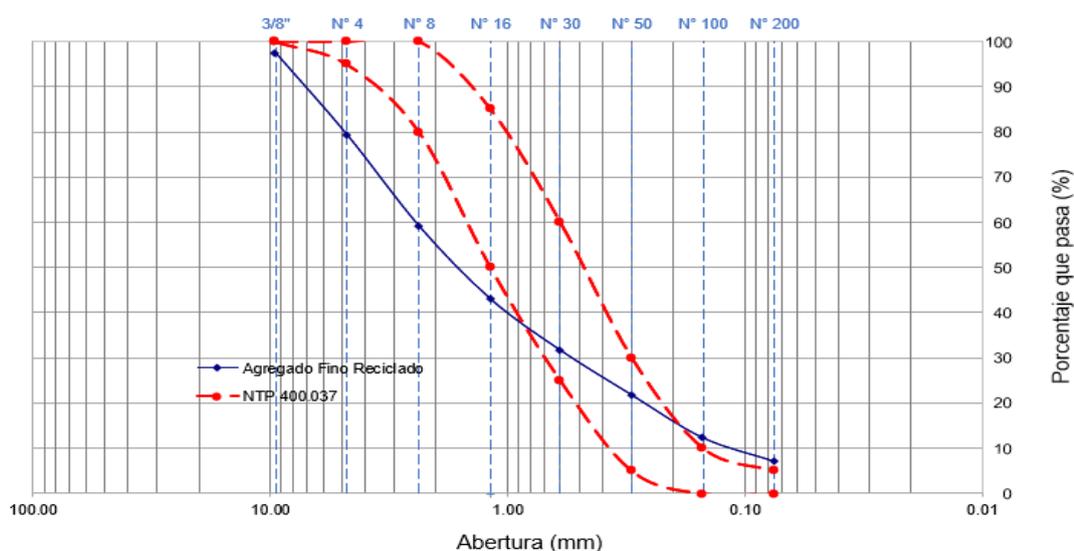
Las propiedades físicas de los agregados tienen influencia en casi todas las propiedades del concreto. La granulometría es una de las más importantes.

El agregado fino reciclado presenta la siguiente granulometría:

**Tabla 3: Granulometría del agregado fino reciclado**

Tamiz		Peso retenido parcial	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	Límites según NTP 400.037
mm	Nº					
9.52	3/8"	25.1	2.5	2.5	97.5	100
4.76	Nº4	184.7	18.2	20.6	79.4	95 a 100
2.38	Nº8	205.0	20.2	40.8	59.2	80 a 100
1.19	Nº16	163.7	16.1	56.9	43.1	50 a 85
0.60	Nº30	114.8	11.3	68.2	31.8	25 a 60
0.30	Nº50	101.4	10.0	78.1	21.9	5 a 30
0.15	Nº100	95.9	9.4	87.6	12.4	0 a 10
0.08	Nº200	53.1	5.2	92.8	7.2	
Residuo		4.6	0.5	93.3		
Fino eliminado en lavado		68.6	6.7	100.0		
Modulo de fineza				3.55		
Tamaño máximo				1/2"		
Tamaño máximo nominal				3/8"		

**Figura 3: Curva Granulométrica del Agregado Fino Reciclado**



Se observa en la **Figura N°3** que el porcentaje de agregado que pasa los tamices N°16 al N°100 se encuentran dentro de los límites estipulado por la NTP 400.037, pero desde los tamices 3/8" al N°16 existe un mayor porcentaje de material que se está reteniendo, lo que provoca obtener una gradación que no es uniforme.

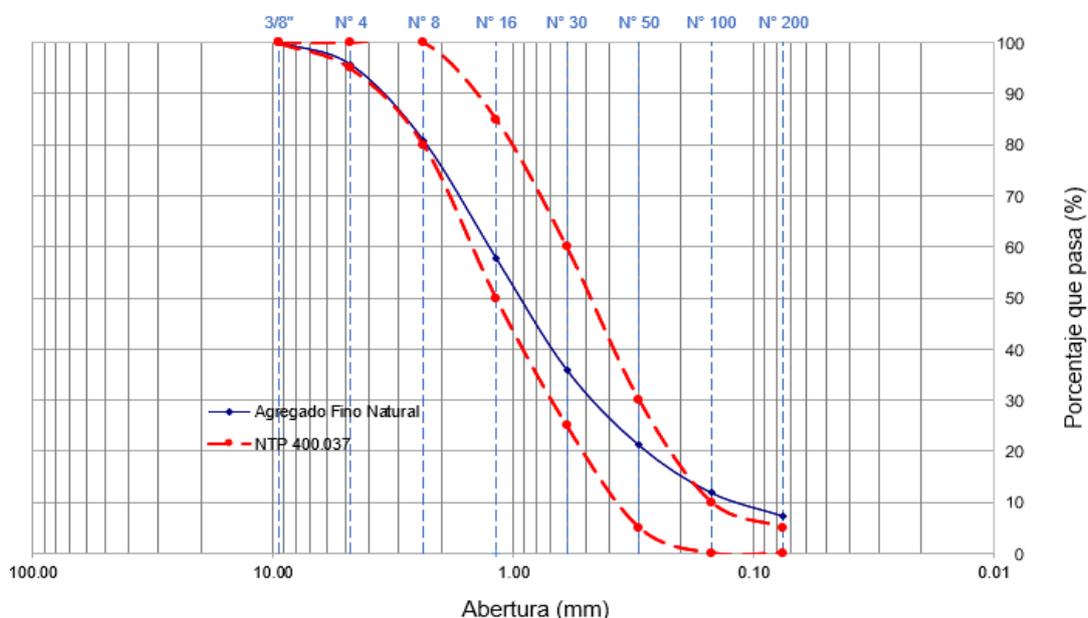
Una alternativa para poder mejorar la gradación del agregado fino reciclado es mezclarlo con agregado fino natural en cierta proporción, lo que permitirá que el nuevo agregado fino combinado presente una granulometría uniforme, y sin excesiva cantidad de finos que afecten en el desarrollo de la mezcla de concreto.

El agregado fino natural presenta la siguiente granulometría:

**Tabla 4: Granulometría del agregado fino natural**

Tamiz		Peso retenido parcial	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	Límites según NTP 400.037
mm	N°					
9.52	3/8"				100	100
4.76	N°4	30.9	4.4	4.4	95.6	95 a 100
2.38	N°8	104.8	14.9	19.3	80.7	80 a 100
1.19	N°16	161.3	22.9	42.2	57.8	50 a 85
0.60	N°30	153.5	21.8	64.0	36.0	25 a 60
0.30	N°50	104.3	14.8	78.8	21.2	5 a 30
0.15	N°100	65.3	9.3	88.1	11.9	0 a 10
0.08	N°200	32.3	4.6	92.7	7.3	
Residuo		3.3	0.5	93.1		
Fino eliminado en lavado		48.3	6.9	100.0		
Modulo de fineza				2.97		
Tamaño máximo				3/8"		
Tamaño máximo nominal				N°4		

**Figura 4: Curva Granulométrica del Agregado Fino Natural**



La mayor parte de la curva granulométrica se encuentra dentro de los límites de la NTP 400.037. Se puede observar que existe un pequeño porcentaje de material fino (N° 200) en exceso.

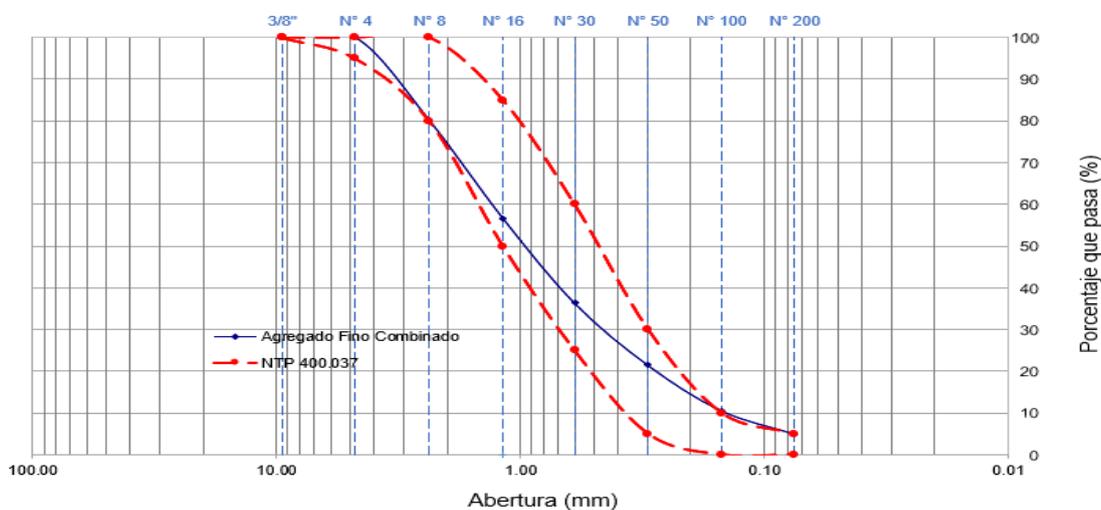
Mezclamos entonces el agregado fino natural con el agregado fino reciclado en cierta proporción que nos permita tener un **agregado fino combinado** con su huso granulométrico dentro de los límites mencionados en la Tabla N°1, para ello utilizaremos del agregado fino natural el material pasante de la malla N°4 y del agregado fino reciclado el material pasante de la malla N°4 hasta el material retenido en la malla N°200 (eliminamos los finos).

La proporción que se obtiene es la de 65% Agregado Fino Natural + 35% Agregado Fino Reciclado.

A continuación, se muestra la granulometría del agregado fino combinado:

**Tabla 5: Granulometría del agregado fino combinado**

Tamiz		Peso retenido Ag. Fino Natural	Peso retenido Ag. Fino Reciclado	Peso retenido Ag. Fino combinado	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	Límites según NTP 400.037
mm	N°							
9.52	3/8"							100
4.76	N°4						100.0	95 a 100
2.38	N°8	104.8	101.24	206.0	19.9	19.9	80.1	80 a 100
1.19	N°16	161.3	80.84	242.1	23.4	43.3	56.7	50 a 85
0.60	N°30	153.5	56.69	210.2	20.3	63.6	36.4	25 a 60
0.30	N°50	104.3	50.08	154.4	14.9	78.5	21.5	5 a 30
0.15	N°100	65.3	47.36	112.7	10.9	89.4	10.6	0 a 10
0.08	N°200	32.3	26.22	58.5	5.7	95.0	5.0	
Fino eliminado en lavado		51.6	0	51.6	5.0	100.0		
Proporción en peso		65%	35%	Modulo de fineza		2.72		
						Tamaño máximo	N° 4	
						Tamaño máximo nominal	N° 8	

**Figura 5: Curva Granulométrica del Agregado Fino Combinado**

Como se observa en la **Figura N°5**, la curva granulométrica del agregado fino combinado se encuentra dentro de los límites mencionados en la Tabla N°1. Con esta proporción de agregados finos obtenemos un material que muestra una gradación uniforme.

También es necesario mencionar el módulo de fineza del agregado fino combinado. Haciendo cálculos se obtiene un módulo de fineza igual a **2.72**.

En la NTP 400.037 nos indica que el módulo de fineza debe encontrarse entre 2.3 y 3.1, por lo que el MF del agregado fino combinado se encuentra dentro del rango indicado.

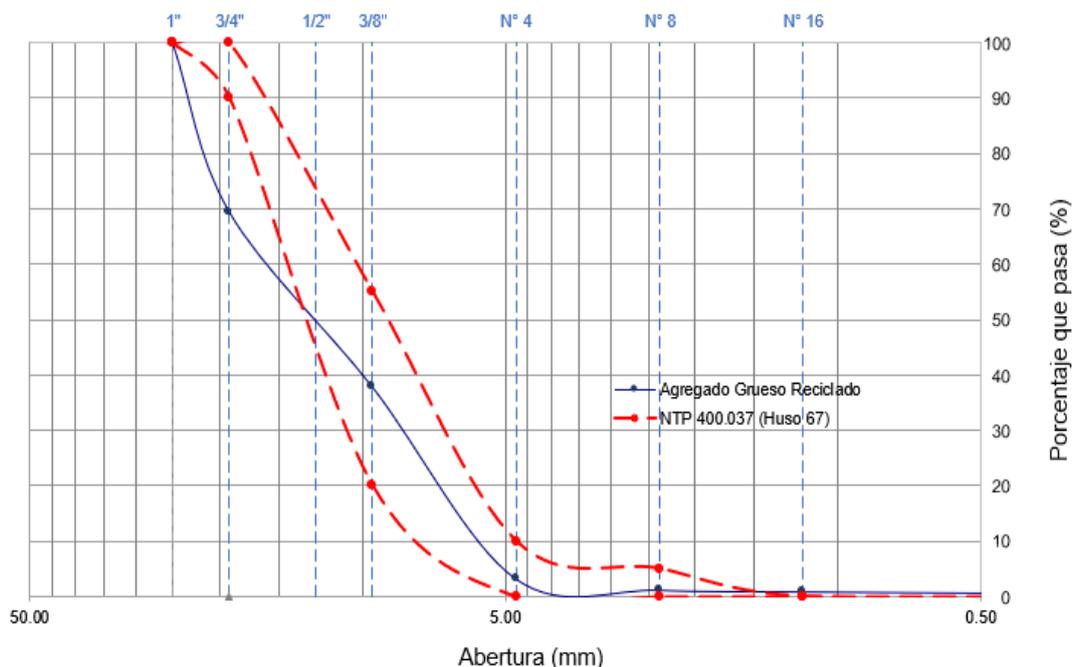
Al igual que con los agregados finos, necesitamos conocer también las propiedades físicas del agregado grueso reciclado para poder realizar el diseño de mezcla de concreto.

El agregado grueso reciclado presenta la siguiente granulometría:

**Tabla 6: Granulometría del agregado grueso reciclado**

Tamiz		Peso retenido parcial	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	NTP 400.037 (Huso 67)
mm	N°					
25.4	1"				100	100
19.1	3/4"	1715	30.6	30.6	69.4	90 a 100
12.7	1/2"	1379	24.6	55.2	44.8	
9.52	3/8"	392	7.0	62.2	37.8	20 a 55
4.76	N°4	1941.0	34.6	96.8	3.2	0 a 10
2.38	N°8	117.0	2.1	98.9	1.1	0 a 5
1.19	N°16	17.0	0.3	99.2	0.8	
0.08	N°200	35.0	0.6	99.8	0.2	
Residuo		10	0.2	100.0		
Fino eliminado en lavado		-	-	-		
Modulo de fineza				6.88		
Tamaño máximo				1"		
Tamaño máximo nominal				3/4"		

**Figura 6: Curva Granulométrica del Agregado Grueso Reciclado**



Se puede observar en la **Figura N°6** que la curva granulométrica del agregado grueso no muestra una uniformidad según el Huso 67 de la NTP 400.037. Desde el tamiz de  $\frac{1}{2}$ " a 1", el porcentaje de material que pasa es menor que lo solicitado en el Huso 67. En los demás tamices se encuentra dentro de lo estipulado por la norma.

Según la NTP 400.037, si existen estudios que aseguren que el agregado a emplearse permitirá obtener un concreto de buena calidad, entonces puede utilizarse. En investigaciones ya mencionadas en el marco teórico se demuestra que con el uso de agregados gruesos reciclados es posible obtener un concreto que cumpla con la resistencia diseñada, por lo que para la elaboración del concreto reciclado se hará uso del agregado grueso mencionado.

### **Absorción y contenido de humedad**

Para desarrollar el diseño de mezcla del concreto es muy importante tener en cuenta la absorción y el contenido de humedad que tienen los agregados, ya que estas propiedades físicas influyen directamente en la cantidad de agua que se empleará al momento de elaborar el concreto.

La absorción en los agregados lo que hará es reducir la cantidad de agua de mezcla, mientras que el contenido de humedad todo lo contrario, aumentar la cantidad de agua, por lo que al momento de realizar el diseño de mezcla se tiene que hacer la corrección del agua a emplearse por humedad y absorción de los agregados.

**Cuadro 5: Humedad y Absorción de agregados**

Propiedades físicas	Agregado Fino Combinado	Agregado Grueso Reciclado
Contenido de humedad	2.8%	2.3%
Absorción	2.92%	5.3%

Es importante mencionar que el porcentaje de absorción de los agregados reciclados son relativamente altos comparados con los agregados naturales, debido a que los primeros tienen un elevado nivel de poros.

## Peso específico del agregado

**Cuadro 6: Peso específico de agregados**

Agregados	Peso específico	Unidad
Ag. Fino combinado	2524	kg/m <sup>3</sup>
Ag. Grueso reciclado	2285	kg/m <sup>3</sup>

Aquellos agregados que tengan un peso específico de 2500 a 2750 kg/m<sup>3</sup> son considerados agregados normales, mientras que si tienen un peso específico menor que 2500 kg/m<sup>3</sup> será considerado un agregado ligero. (Pasquel, 1993)

Los agregados reciclados se caracterizan por tener un peso específico menor a la de los agregados naturales, debido a que tienen una capa de mortero adherido a ellos.

En el **Cuadro N°6**, se observa que el peso específico del agregado fino combinado es de 2524 kg/m<sup>3</sup>, lo que vendría a ser un agregado normal. El peso específico del agregado grueso reciclado es de 2285 kg/m<sup>3</sup>, siendo este un agregado ligero.

## Peso unitario del agregado

El peso unitario del agregado puede ser peso unitario compactado o suelto.

Para agregados normales, el valor del peso unitario varía entre 1500 kg/m<sup>3</sup> a 1700 kg/m<sup>3</sup>. (Pasquel, 1993)

**Cuadro 7: Peso Unitario de agregados**

Agregados	Peso Unitario Compactado Seco	Peso Unitario Suelto Seco
Ag. Fino combinado	1675 kg/m <sup>3</sup>	1449 kg/m <sup>3</sup>
Ag. Grueso reciclado	1374 kg/m <sup>3</sup>	1239 kg/m <sup>3</sup>

En el agregado grueso reciclado sus pesos unitarios se encuentran debajo del valor de peso unitario para agregados normales, esto se debe al peso específico del material (agregado ligero), a la cantidad de poros que tiene y a su textura rugosa.

➤ **Diseño de Mezcla**

Una vez conocida las propiedades físicas de los materiales a emplear en la elaboración del concreto reciclado, se realiza el diseño de mezcla con el método del ACI. Los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

Cantidad de material por m<sup>3</sup> de concreto:

**1) Materiales de diseño seco por m<sup>3</sup>:**

Cemento:	325 kg
Agregado fino seco:	742 kg
Agregado grueso seco:	866 kg
Agua de mezcla:	205 Lt

**2) Materiales corregidos por humedad por m<sup>3</sup>:**

Cemento:	325 kg
Agregado fino húmedo:	763 kg
Agregado grueso húmedo:	886 kg
Agua efectiva:	231 Lt

Proporcionamiento de materiales:

**1) Proporcionamiento en peso:**

1 : 2.3 : 2.7 / 30.4 Lt/bolsa

**2) Proporcionamiento en volumen:**

1 : 2.4 : 3.3 / 30.4 Lt/bolsa

➤ **Concreto Reciclado**

Con el proporcionamiento de materiales realizamos la mezcla de concreto. Para realizar la evaluación del concreto necesitamos conocer sus propiedades físicas en estado fresco y endurecido.

**Asentamiento del Concreto**

Uno de los métodos más utilizados para poder medir la consistencia del concreto es el “cono de Abrams”.

Usualmente la consistencia de una mezcla se define por el grado de asentamiento de la misma. Corresponden los menores asentamientos a las mezclas más secas y los mayores a las consistencias fluidas. (Rivva, 2000)

Al momento de realizar el ensayo, se obtuvo como resultado un asentamiento de 3”, mostrando un concreto de consistencia plástica.

**Temperatura**

La temperatura del concreto se da por el aporte de calor que es entregado por cada uno de los materiales que lo componen, por el calor producido por la hidratación del cemento, por el mezclado y por el ambiente.

En la NTP 339.114, nos indica lo siguiente con respecto a la temperatura:

**Cuadro 8: Criterio de aceptación en la temperatura (NTP 339.114)**

Clima	Tamaño de la sección mm (pulg)	Temperatura mín (°C)	Temperatura máx (°C)
Clima frío	< 300 (<12)	13	32
	300 - 900 (12-36)	10	
	900 - 1800 (36-72)	7	
	> 1800 (>72)	5	
Clima cálido		Mas baja posible	32°C puede presentar dificultad

Al momento de realizar la mezcla, se hizo la medición de la temperatura de acuerdo con lo estipulado en la NTP 339.184. El resultado fue de 29.6 °C, cumpliendo con lo mostrado en el **Cuadro N°8**, no sobrepasando el valor de 32°C.

### **Peso Unitario**

El peso unitario es el peso del concreto en estado fresco sobre la unidad de volumen cúbica. El resultado que se obtuvo al realizar el ensayo fue el siguiente:

$$\text{Peso Unitario} = 2199.86 \text{ kg/m}^3$$

Se encuentra un poco por debajo de 2240 kg/m<sup>3</sup>, un valor mínimo de peso unitario para concretos normales, pero por encima de 1600 kg/m<sup>3</sup>, un valor promedio para concretos livianos. Es importante mencionar que el concreto se ve afectado directamente por las variaciones de las propiedades de los materiales que lo componen.

### **Contenido de aire por el método de presión**

Lo que se busca en el ensayo es obtener el contenido de aire en una mezcla de concreto fresco, a través de la variación de volumen del concreto por un cambio de presión. Para realizar el ensayo se utilizó un medidor de aire tipo B. Siguiendo el procedimiento descrito en la NTP 339.038, el contenido de aire que se obtuvo fue de 3%.

### **Muestreo de probetas y curado**

Las probetas fueron identificadas correctamente. Se realizó el curado en una poza del laboratorio. Los resultados de la medición de las probetas antes de realizar el ensayo a la compresión se indican en la **tabla N°7**.

### **Resistencia a la compresión**

Con las medidas de las probetas ya obtenidas y la verificación de las bases de estas, que se encuentren correctamente niveladas para la realización del ensayo de resistencia a la compresión, se pasa a colocar las probetas en la máquina y se las centra correctamente. Se aplica la carga en forma continua y constante. Se identifica el tipo de falla que se produce en las probetas. Calculamos la resistencia a la compresión. Los resultados se indican en la **tabla N°7**.

### **Costo de materiales en 1m<sup>3</sup> de concreto**

Calculamos el costo de materiales en 1m<sup>3</sup> de concreto elaborado con agregados reciclados y naturales. El valor obtenido fue de S/. 194.81. Si comparamos este valor con el de 1m<sup>3</sup> de concreto convencional equivalente a S/. 211.08 nos daremos cuenta de que el uso de concreto reciclado es más económico.

## 6.1.1. Tablas

Tabla 7: Resultados de la resistencia a la compresión de las probetas ensayadas a los 7, 14 y 28 días

Identif. Nro	Código de muestra	f' c Resist. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha Vaciado	Fecha Rotura	Edad (Días)	Peso (Kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (%)	Resistencia Promedio
1	M-1	175	26/02/2016	04/03/2016	7	12.23	30.2	15.10	179.08	33396	186.49	107%	192.67
2	M-2	175	26/02/2016	04/03/2016	7	12.28	30.1	15.10	179.08	35366	197.49	113%	
3	M-3	175	26/02/2016	04/03/2016	7	12.26	30.1	15.12	179.55	34837	194.02	111%	
4	M-4	175	26/02/2016	11/03/2016	14	12.14	30.4	15.10	179.08	37417.5	208.94	119%	210.92
5	M-5	175	26/02/2016	11/03/2016	14	11.80	29.9	15.00	176.71	37697.5	213.32	122%	
6	M-6	175	26/02/2016	11/03/2016	14	12.08	30.2	15.07	178.37	37543.5	210.48	120%	
7	M-7	175	26/02/2016	25/03/2016	28	12.29	30.3	15.10	179.08	43782	244.48	140%	243.49
8	M-8	175	26/02/2016	25/03/2016	28	12.21	30.1	15.11	179.32	43455	242.34	138%	
9	M-9	175	26/02/2016	25/03/2016	28	12.19	30.1	15.10	179.08	43632	243.65	139%	

Las probetas ensayadas a los 7 días nos dan una resistencia promedio de 192.67 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente al 110% de la resistencia diseñada. A los 14 días tenemos una resistencia promedio de 210.92 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente al 120% de la resistencia diseñada y a los 28 días una resistencia promedio de 243.49 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente al 139% de la resistencia diseñada. Estos resultados son muy favorables para un concreto aplicado a elementos no estructurales.

## 6.1.2. Cuadros

**Cuadro 9: Propiedades físicas del Agregado fino combinado**

Propiedades físicas	Agregado Fino Combinado	Unidad
Tamaño Máximo Nominal	N° 08	
Peso Específico Masa	2524	kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto Seco	1449	kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado Seco	1675	kg/m <sup>3</sup>
Absorción	2.92	%
Contenido de humedad	2.80	%
Módulo de fineza	2.72	

**Cuadro 10: Propiedades físicas del Agregado grueso reciclado**

Propiedades físicas	Agregado Grueso Reciclado	Unidad
Tamaño Máximo Nominal	3/4"	
Peso Específico Masa	2285	kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto Seco	1239	kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado Seco	1374	kg/m <sup>3</sup>
Absorción	5.3	%
Contenido de humedad	2.30	%
Módulo de fineza	6.90	

**Cuadro 11: Propiedades del concreto en estado fresco**

Propiedades del concreto en estado fresco	Resultados
Peso Unitario	2199.86 kg/m <sup>3</sup>
Slump	3"
Contenido de aire	3%
Temperatura	29.6 °C
Cantidad de probetas	9 und

**Cuadro 12: Costo de materiales en 1m3 de concreto reciclado**

Costo de materiales en 1 m3 de concreto reciclado						
N°	Materiales		Und.	Cantidad	P.U. (S/.)	Total (S/.)
1	Cemento Sol Tipo I		bls	7.65	15.13	115.70
2	Agregado fino combinado		m3	0.512		
	Arena gruesa	65%	m3	0.333	50.85	16.93
	Arena reciclada	35%	m3	0.179	36.48*	6.54
3	Agregado grueso reciclado		m3	0.699	36.48*	25.50
4	Agua potable		m3	0.231	1.83	0.42
Costo Total sin IGV						165.09
IGV (18%)						29.72
Costo Total						<b>194.81</b>

\*(Jaimes, 2017)

**Cuadro 13: Costo de materiales en 1m3 de concreto convencional**

Costo de materiales en 1 m3 de concreto convencional						
N°	Materiales		Und.	Cantidad	P.U. (S/.)	Total (S/.)
1	Cemento Sol Tipo I		bls	7.62	15.13	115.34
2	Arena Gruesa		m3	0.540	50.85	27.46
3	Piedra chancada 1/2"		m3	0.648	55.08	35.69
4	Agua potable		m3	0.209	1.83	0.38
Costo Total sin IGV						178.88
IGV (18%)						32.20
Costo Total						<b>211.08</b>

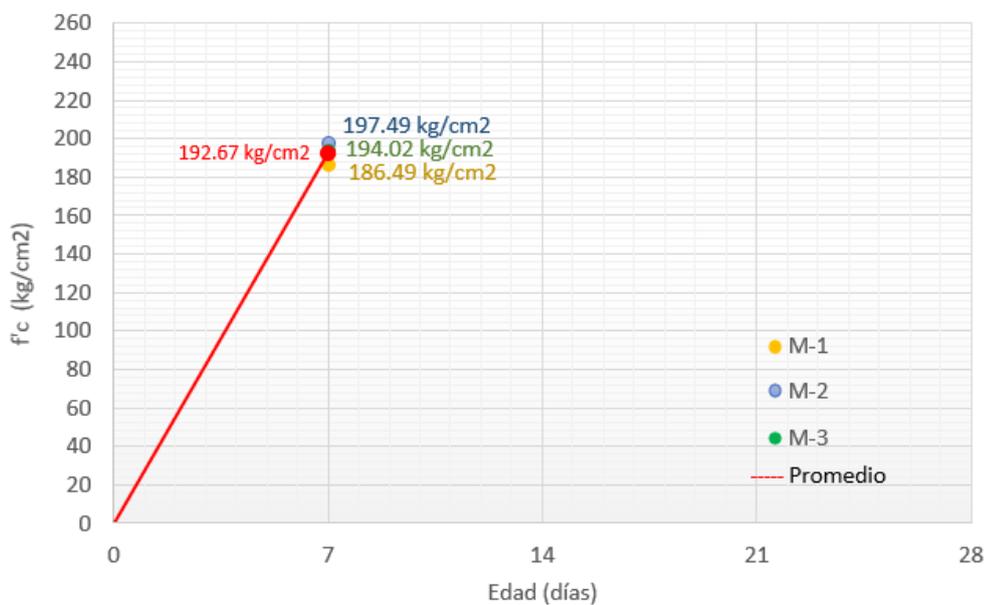
La dosificación del concreto convencional  $f'c=175\text{kg/cm}^2$  son calculados en base a la tabla de dosificaciones y equivalencias de cemento Sol. Los precios unitarios se obtuvieron de la Revista Constructivo de enero 2018.

### 6.1.3. Gráficos

**Gráfico N° 1: Resistencia a los 7 días (M-1, M-2, M-3)**



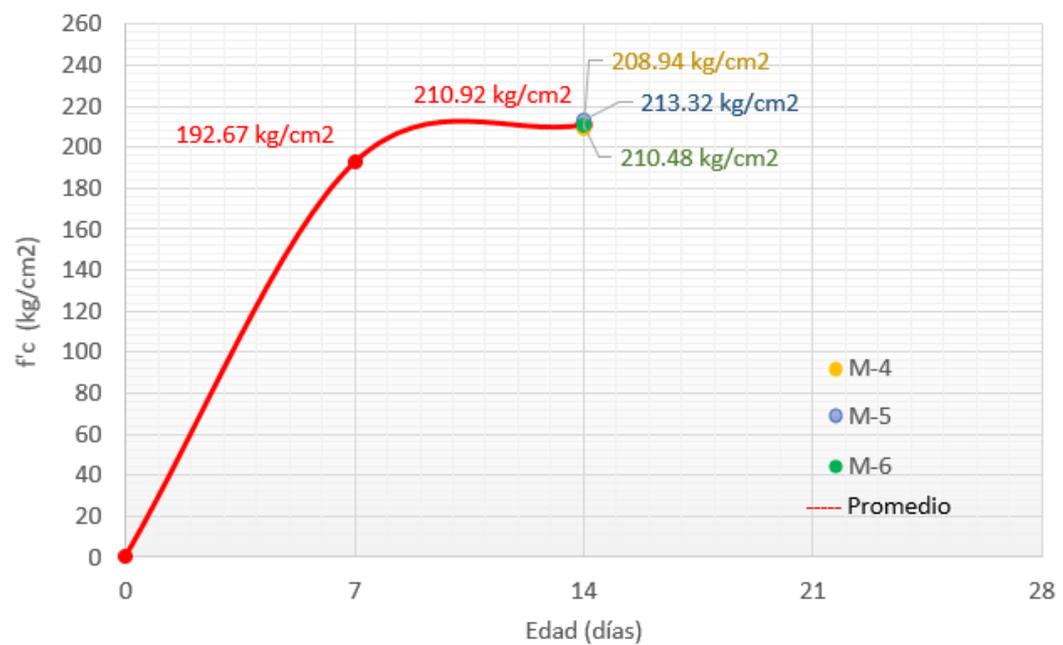
**Gráfico N° 2: Edad vs Resistencia a los 7 días**



**Gráfico N° 3: Resistencia a los 14 días (M-4, M-5, M-6)**



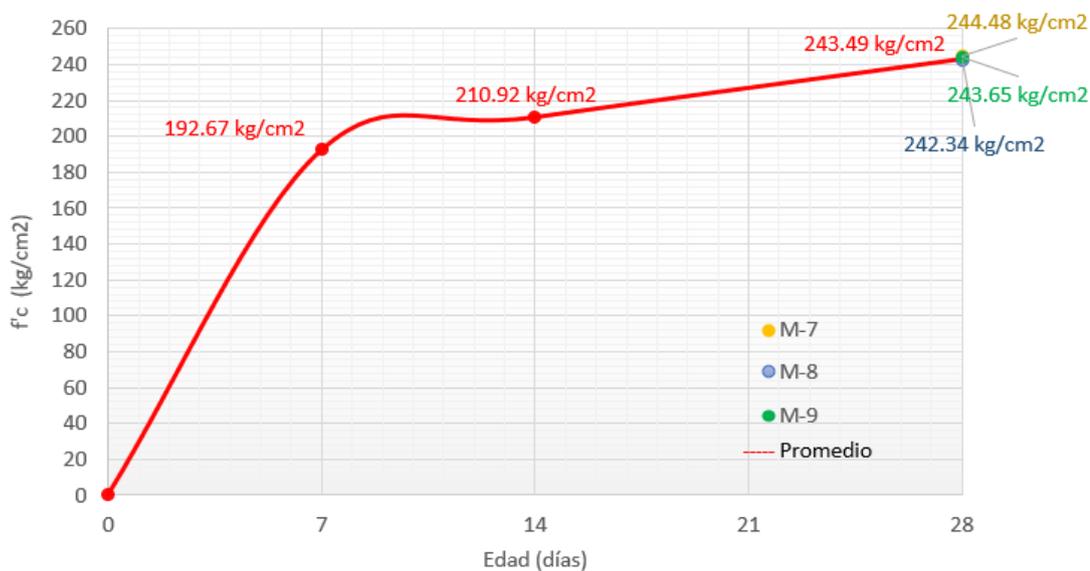
**Gráfico N° 4: Edad vs Resistencia a los 14 días**



**Gráfico N° 5: Resistencia a los 28 días (M-7, M-8, M-9)**



**Gráfico N° 6: Edad vs Resistencia a los 28 días**



## CONCLUSIONES

- Al combinar 35% de agregado fino reciclado + 65% de agregado fino natural: el huso granulométrico del agregado fino combinado se encuentra dentro de los límites indicados en la Tabla N°1: Análisis granulométrico del agregado fino de la NTP 400.037 y el módulo de fineza de 2.72, se encuentra también dentro de los valores 2.3 y 3.1 recomendado por la NTP 400.037, por lo que podemos concluir que al combinar el agregado fino reciclado y agregado fino natural en la proporción mencionada, este nuevo agregado combinado presenta una adecuada distribución de partículas dentro de lo estipulado por la Norma Técnica Peruana.
- El agregado grueso reciclado presenta una curva granulométrica que no muestra uniformidad según el Huso 67 de la NTP 400.037, entonces se concluye que el agregado grueso no tiene una adecuada distribución de partículas, pero este material si puede ser utilizado debido a que en la NTP 400.037 nos indica también que se permitirá el uso de agregados que no cumplan con la gradación si se asegura que se realizará un concreto de buena calidad con este agregado, siendo este nuestro caso.

- El agregado fino combinado presenta un peso específico de 2524 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que se concluye que este material es un agregado del tipo normal al encontrarse entre los límites de 2500 a 2750 kg/cm<sup>2</sup>.
- El agregado grueso reciclado presenta un peso específico de 2285 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que se concluye que este material es un agregado del tipo ligero al tener un valor menor a los 2500 kg/cm<sup>2</sup>.
- La absorción del agregado fino combinado y grueso reciclado son 2.92% y 5.3% respectivamente. Estos valores son relativamente altos comparados con los valores de agregados naturales que oscilan entre 0.2% a 2% para agregados finos y 0.2% a 4% para agregados gruesos. Se concluye entonces que los valores de absorción de los agregados reciclados son mayores a los de un agregado natural debido al alto contenido de porosidad y cantidad de mortero adherido en ellos.
- En el diseño de mezcla la proporción en peso fue de **1:2.3:2.7/ 30.4lt/bolsa**, con una relación a/c = 0.71, por lo que se concluye que al presentar los agregados reciclados un alto porcentaje de absorción y humedad, el agua a emplear en la mezcla será mayor, lo que provoca una alta relación a/c.
- El slump que se obtuvo de la mezcla de concreto fue de 3", lo que nos indica un concreto con una consistencia plástica y trabajable.
- La temperatura que tenía la mezcla de concreto fue de 29.6°C, menor a los 32°C como máximo permitido por la Norma Técnica Peruana.
- El peso unitario del concreto en estado fresco fue de 2199.86 kg/cm<sup>2</sup>, un valor por debajo del mínimo de 2240 kg/m<sup>3</sup> para concretos normales, esto

es debido a las diferentes propiedades físicas de los agregados reciclados ya mencionados.

- El contenido de aire calculado por el método de presión fue de 3%, por lo que se concluye que se obtiene este valor debido a la baja cantidad de agregados finos (<N°200), y también por el tiempo y por la velocidad de mezclado.
- De los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión se concluye que los valores de resistencia a los 7, 14 y 28 días fueron favorables, obteniéndose un 110%, 120% y 139% respectivamente de la resistencia de diseño. La utilización de agregado fino combinado (35% Ag. Fino reciclado + 65% Ag. Fino Natural) y agregado grueso reciclado no influyeron en gran medida en los resultados de resistencia a la compresión, por lo que la proporción utilizada para la mejora del agregado fino reciclado es correctamente la adecuada. Se obtuvo valores incluso mayores de resistencia comparados con el de un diseño de concreto convencional.
- Se obtuvo un costo total de materiales en 1m<sup>3</sup> de concreto reciclado incluido IGV de **S/. 194.81**, mientras que para 1m<sup>3</sup> de concreto convencional se obtuvo un costo total incluido IGV de **S/. 211.08**, siendo el costo de materiales en 1m<sup>3</sup> de concreto reciclado un 8% menor que el de un concreto convencional, por lo que se concluye que el uso de agregados reciclados es económico y rentable.
- El concreto reciclado a los 28 días de realizada la mezcla obtuvo un valor de resistencia a la compresión promedio de 243.49 kg/cm<sup>2</sup>, con un 39% más que la resistencia de diseño de 175kg/cm<sup>2</sup>, lo que nos garantiza que este

concreto pueda ser aplicado en la elaboración de elementos no estructurales como sardineles, topellantas, veredas, rampas, etc., generando también menores costos.

## RECOMENDACIONES

Ante las conclusiones ya descritas, se recomienda lo siguiente:

- Para la obtención de agregados reciclados es importante tener en cuenta la limpieza en los residuos sólidos de demolición y construcción, ya que las impurezas que estas presentan pueden afectar directamente a las propiedades del nuevo concreto a elaborar.
- Debemos tomar en cuenta una propiedad física de los agregados reciclados importante: la absorción. Recomendamos que estos materiales antes de utilizarlos en la mezcla de concreto sean pre-saturados. Al saturar los agregados, la absorción será menor, lo que ocasionará una reducción en la cantidad de agua efectiva, por ende, una disminución en la relación a/c, aumentando así la resistencia.
- El tipo de chancado del material reciclado influye mucho en sus propiedades físicas, por que define su textura, superficie, su tamaño, etc. La trituración del material reciclado debe tener un procedimiento adecuado desde su colocación en la chancadora hasta el tamizado, para obtener como resultado una gradación uniforme, evitando problemas de segregación y exudación al momento de realizar la mezcla de concreto.
- Se recomienda utilizar la siguiente proporción en cuanto al agregado fino: 35% Agregado Fino Reciclado + 65% Agregado Fino Natural. Con esta

mejora del agregado fino reciclado con agregado natural, se obtiene una resistencia a la compresión mayor al 100%.

- Los valores obtenidos de resistencia a la compresión a los 28 días fueron muy alentadores, por lo que se recomienda realizar una investigación que se enfoque en elaborar un diseño de mezcla para obtener una resistencia a la compresión de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , y poder aplicarlo en elementos estructurales, lo que nos generaría un ahorro de dinero nada despreciable.
- No tenemos que ser ajenos a los valores deficientes obtenidos en las propiedades físicas del agregado grueso reciclado, se recomienda entonces realizar mayores investigaciones respecto a este material y plantear soluciones, incluso podemos hacer una mezcla de agregado grueso reciclado con el agregado grueso natural, en cierta proporción que ayude a mejorar las propiedades físicas del mismo.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agreda, G., & Moncada, G. (2015). *Viabilidad en la elaboración de prefabricados en Concreto usando agregados gruesos reciclados (tesis de pregrado)*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, D.C.
- Alaejos, P. (2005). *Recomendación para la utilización de árido reciclado en hormigón estructural*. España.
- Batista, M. (2001). *Evaluación de las propiedades mecánicas de concretos producidos con agregados reciclados de residuos de Construcción y Demolición (tesis de doctorado)*. Universidad Federal del Río Grand del Sur, Porto Alegre, Brazil.
- Carrillo, B., & Foglio, V. (2003). *Análisis comparativo entre el concreto vibrado y sin vibrar a diferentes resistencias con la utilización del aditivo incorporador de aire*. Maracaibo.
- Cortinas de Nava, C. (2004). *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*. . México, D.F. : Instituto Nacional de Ecología.
- Cruz, J., & Velásquez, R. (2004). *Concreto Reciclado (tesis de pregrado)*. Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.
- Echeverry, V. (19 de Noviembre de 2013). *Agregados reciclados: ¿Qué y para qué?* Obtenido de Blog 360° en Concreto:

<http://blog.360gradosenconcreto.com/agregados-reciclados-que-y-para-que/>

- Escandon, J. (2011). *Diagnostico técnico y económico del aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en edificaciones en la ciudad de Bogotá (tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., Colombia.
- Espinar, J. (2009). *Aplicaciones de hormigón reciclado: Prefabricados vibrocomprimidos adoquines y mobiliario urbano*. Mallorca.
- Etxeberria, M. (2004). *Estudio experimental sobre microestructura y comportamiento estructural del hormigón con agregado reciclado (tesis doctoral)*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Flor, G. F. (2012). *Aprovechamiento de Hormigón reciclado en obras viales (tesis de maestría)*. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.
- García, C. (2009). *Características mecánicas de concreto reciclados fabricados con desechos sólidos de construcción (tesis de pregrado)*. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México.
- García, J. (2016). *Gestión de residuos de la construcción y la demolición en Chile. Fundación de la Industria de la Construcción*.
- Gastañadui, F. (2004). *Control de Calidad de Concreto*. Lima.
- Gómez, J., Agulló, L., & Vázquez, E. (2012). *Cualidades físicas y mecánicas de los agregados reciclados de concreto. Aplicación en concretos. . Revista Virtual Pro*.
- Guacaneme, F. A. (2015). *Ventajas y usos del concreto reciclado* . Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
- Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Manizales.
- Imcyc. (2007). *Determinación de la masa unitaria. El concreto en la obra. Problemas, causas y soluciones*.

- Jaimes, P. (2017). *Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de agregados reciclados de residuos de concreto para obras civiles y sus ventajas competitivas (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.
- Ley N°27314. (2000). Diario Oficial el Peruano. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Manejo de Residuos de construcción y demolición en obras menores*. Lima, Perú.
- Miñan, M. (2012). *Materiales sostenibles en la edificación. Residuos de Construcción y Demolición, hormigón reciclado*. Ancona .
- Ocando, P., & Mendoza, M. F. (2012). *Evaluación de mezclas de concreto utilizando desechos de concreto en sustitución del agregado fino, para una resistencia de 250 kg/cm<sup>2</sup> (tesis de pregrado)*. Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.
- Osorio, P., Ceballos, J., & Vega, J. L. (2003). *Caracterización física y mecánica para la elaboración de concreto con material reciclado*. Iquitos, Perú.
- Parillo, E., & Camargo, C. G. (2015). Reutilización de Residuos Sólidos en la producción de pavimentos rígidos de bajo costo en el distrito de Juliaca, Puno. *Investigación Andina*.
- Parra, K., & Bautista, M. (2010). *Diseño de una mezcla de concreto utilizando residuos industriales y escombros (tesis de pregrado)*. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Bucaramanga, Colombia.
- Pasquel, E. (1993). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*. Lima: Capítulo de Ingeniería Civil.
- Rivera, G. (2013). *Concreto Simple*. Cauca: Civilgeeks.
- Rivva L., E. (2004). *Control del concreto en obra*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Rivva, E. (2000). *Naturaleza y materiales del Concreto*. Lima: ACI Perú.

- Ruiz, I. (2013). *Acabados y remates finales en obra de mampostería, sillería y perpiaño*. Málaga: IC Editorial. Obtenido de Ecured, conocimiento con todos y para todos.
- Sánchez, A. (2011). *Análisis de la aplicabilidad de los áridos reciclados mixtos en hormigones (tesis de especialización)*. Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, España.
- Scanferla, L., & Barreda, M. (2011). *Evaluación del comportamiento de hormigones elaborados con agregados reciclados*. La Plata.
- Suarez, M., Defagot, C., Carrasco, M. F., Marcipar, A., Miretti, R., & Saus, H. (2006). *Estudio de hormigones elaborado con residuos de ladrillerías y demolición*. Santa Fe.
- Vidau, I., Castaño, T., & Vidau, E. (2013). *Concreto Sustentable, ¿mito o realidad? Construcción y Tecnología en Concreto*.
- WBCSD. (2009). *Reciclando Concreto. Iniciativa por la Sostenibilidad del Cemento*.

## REFERENCIAS HEMEROGRÁFICAS

- Revista Constructivo (Enero 2018). Suplemento Técnico. Año 20 Edición 125. Pág. 181-212.

## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- Echeverry, V. (19 de Noviembre de 2013). *Agregados reciclados: ¿Qué y para qué?* Obtenido de Blog 360° en Concreto: <http://blog.360gradosenconcreto.com/agregados-reciclados-que-y-para-que/>

## ANEXOS

Anexo N° 1: Resultados de ensayos a los Agregados Finos .....	139
Anexo N° 2: Resultados de ensayos al Agregado grueso reciclado .....	144
Anexo N° 3: Resultados de ensayos al concreto en estado fresco.....	147
Anexo N° 4: Tablas para el diseño de mezcla .....	148
Anexo N° 5: Diseño de mezcla con el método ACI .....	151

## Anexo N° 1: Resultados de ensayos a los Agregados Finos

# LEMICONS

Laboratorios de Ensayo de Materiales Ingeniería y Construcción

<b>LEMICONS</b>	EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO F'c=175 KG/CM2 UTILIZANDO AGREGADOS NATURALES Y RECICLADOS PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	
CONTROL TECNOLÓGICO	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - MALLA # 200 - IMPUREZAS ORGANICAS (NTP 400.012 - NTP 400.018 - NTP 400.024)

DATOS DE LA MUESTRA	
PROCEDENCIA AGREGADO : El Agustino	N° DE SOLICITUD : LEM-160/2033
TIPO DE AGREGADO : Agregado Fino Natural	CODIGO DE MUESTRA : LEM-160/2033/001
SOLICITANTE : Nils Elio Eraso Gonzales	FECHA DE ENSAYO : 10/02/2016

#### I. GRANULOMETRIA (NTP 400.012)

Peso muestra seca inicial	704.0
Peso muestra seca total	704.0

Tamiz	Peso Retenido Parcial	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
9.52	38"	0.0	0.0	100.0
4.76	N°4	30.9	4.4	95.6
2.38	8	10.4	14.9	80.7
1.19	16	16.3	22.9	57.8
0.60	30	15.5	21.8	36.0
0.30	50	10.4	14.8	21.2
0.15	100	65.3	9.3	11.9
0.07	200	32.3	4.6	92.7
Residuo	3.3	0.5	93.1	7.3
Fino eliminado en lavado	48.3	6.9	100.0	
Modulo de Finura		2.97		
Tamaño Maximo		38"		
Tamaño Maximo Nominal		N°4		

#### II. MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA # 200 (NTP 400.018)

Peso material seco sucio aprox. 0.1gr (1)	704.0
Peso material seco lavado aprox. 0.1gr (2)	655.7
Fino por lavado - aprox. 0.1%=(1-2)/1x100	6.9

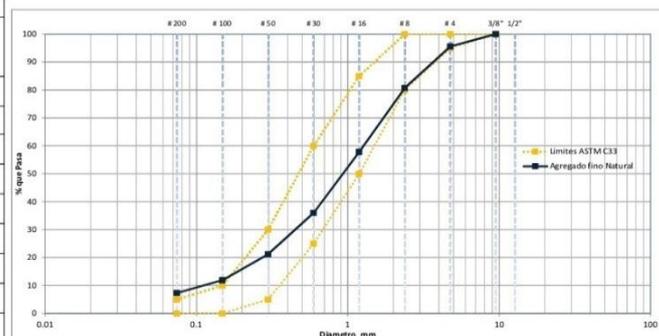
#### III. DETERMINACIÓN IMPUREZAS ORGANICAS (NTP 400.024)

Solución más o menos intensa que solución tipo? / N° escala patrón de color	N.A.
---	------

#### IV. SECADO A MASA CONSTANTE : (NTP 339.185:2002)

	Material sucio	Material lavado
Peso humedo	725.0	
Peso seco 1	704	655.7
Peso seco 2	704	655.7
Peso seco 3	704	655.7
Diferencia 1 - 2 (%)	0.00	0.00
Diferencia 2 - 3 (%)	0.00	
Humedad (%)	2.98	
Hora		

TAMIZ	% que Pasa	% que Pasa
1/2"		
3/8"		
# 4	95	100
# 8	80	100
# 16	50	85
# 30	25	80
# 50	5	30
# 100	0	10
# 200	0	5



Procedimiento de tamizado : Manual Mecánico  N° Balanza : LM-120-2013 Procedimiento de Secado : Horno Secado Cocina

Calle Titoma Mz "J" Lote 27 Urbanización Lima, Los Olivos - Lima Perú  
Nextel 423\*6763 / 401\*0775 Telf. 652-8558  
www.lemicons.com

BORIS IVAN  
SULLON REYES  
INGENIERO CIVIL  
Rqta. CIP N° 164204

### Análisis granulométrico del Agregado fino natural

Fuente: Laboratorio Lemicons

# LEMICONS

Laboratorio de Ensayo de Materiales Ingeniería y Construcción

<b>LEMICONS</b>	<b>EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO F'c=175 KG/CM2 UTILIZANDO AGREGADOS NATURALES Y RECICLADOS PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES</b>	
CONTROL TECNOLÓGICO	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - MALLA # 200 - IMPUREZAS ORGANICAS**  
(NTP 400.012 - NTP 400.018 - NTP 400.024)

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	
PROCEDENCIA AGREGADO : El Agustino/Lima	Nº DE SOLICITUD : LEM-1602033
TIPO DE AGREGADO : Agregado Fino Reciclado	CODIGO DE MUESTRA : LEM-1602033001
SOLICITANTE : Nilo Elio Erazo Gonzales	FECHA DE ENSAYO : 10/02/2016

**I - GRANULOMETRIA (NTP 400.012)**

Peso muestra seca Inicial	1016.3
Peso muestra seca total	1016.3

Tamiz	Peso Retenido Parcial	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
9.52	25.1	2.5	2.5	97.5
4.75	184.7	18.2	20.6	79.4
2.38	265.6	20.2	40.8	59.2
1.19	163.7	16.1	56.9	43.1
0.60	114.8	11.3	68.2	31.8
0.30	101.4	10.0	78.2	21.8
0.15	95.4	9.4	87.6	12.4
0.07	53.1	5.2	92.8	7.2
Residuo	4.6	0.5	93.3	
Fino eliminado en lavado	68.6	6.7	100.0	
Módulo de Finura		3.55		
Tamaño Maximo		1.2"		
Tamaño Maximo Nominal		3.8"		

**II - MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA # 200 (NTP 400.018)**

Peso material seco sucio aprox. 0.1gr (1)	1016.9
Peso material seco lavado aprox. 0.1gr (2)	948.3
Fino por lavado - aprox. 0.1% = (1-2)/1x100	6.7

**III - DETERMINACIÓN IMPUREZAS ORGANICAS (NTP 400.024)**

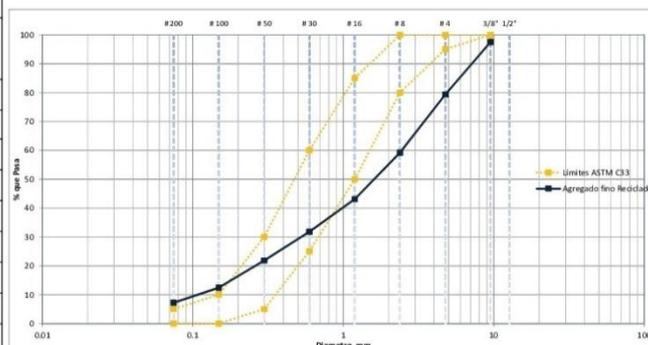
Solución más o menos intensa que solución tipo?? Nº escala patrón de color	N.A.
---	------

**IV - SECADO A MASA CONSTANTE (NTP 339.185-2002)**

	Material sucio	Material lavado
Peso humedo	1042.7	
Peso seco 1	1016.9	948.3
Peso seco 2	1016.9	948.3
Peso seco 3	1016.9	948.3
Diferencia 1 - 2 (%)	0.00	0.00
Diferencia 2 - 3 (%)	0.00	
Humedad (%)	2.54	
Hora		

**Especificaciones ASTM C 33**

TAMIZ	% que Pasa	% que Pasa
11"		
3/8"		
# 4	95	100
# 8	80	100
# 16	50	85
# 30	25	60
# 50	5	30
# 100	0	10
# 200	0	5



Procedimiento de tamizado: Manual  Mecánico  N° Balanza: LM-120-2013 Procedimiento de Secado: Horno Secado  Cocina

Calle Tritoma Mz "J" Lote 27 Urbanización Lima, Los Olivos - Lima Perú  
Nextel 423\*6763 / 401\*0775 Telf. 652-8558  
www.lemicons.com

  
BORIS IVAN  
SULLON REYES  
INGENIERO CIVIL  
Reo. CIP Nº 164204

## Análisis granulométrico del Agregado fino Reciclado

Fuente: Laboratorio Lemicons

# LEMICONS

Laboratorios de Ensayo de Materiales Ingeniería y Construcción

<b>LEMICONS</b>	<b>EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO F'C=175 KG/CM2 UTILIZANDO AGREGADOS NATURALES Y RECICLADOS PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES</b>	
CONTROL TECNOLÓGICO	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - MALLA # 200 - IMPUREZAS ORGANICAS**  
(NTP 400.012 - NTP 400.018 - NTP 400.024)

DATOS DE LA MUESTRA			
PROCEDENCIA AGREGADO	: El Agustino/Lima	N° DE SOLICITUD	: LEM-1602033
TIPO DE AGREGADO	: Agregado Fino Combinado (85% Ag. Fino Natural + 35% Ag. Fino Reciclado)	CODIGO DE MUESTRA	: LEM-1602033001
SOLICITANTE	: Niño Elio Erazo Gonzales	FECHA DE ENSAYO	: 10/02/2016

**I. - GRANULOMETRIA (NTP 400.012)**

Peso muestra seca inicial	1035.5
Peso muestra seca total	1035.5

Tamiz	Peso Retenido Parcial	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
9.52 3/8"		0.0	0.0	100.0
4.75 N°4		0.0	0.0	100.0
2.38 8	206.0	19.9	19.9	80.1
1.19 16	242.1	23.4	43.3	56.7
0.60 30	210.2	20.3	63.6	36.4
0.30 50	154.4	14.9	78.5	21.5
0.15 100	112.7	10.9	89.4	10.6
0.07 200	58.5	5.6	95.0	5.0
Residuo	4.7	0.5	95.5	
Fino eliminado en lavado	46.9	4.5	100.0	
Módulo de Finura				2.72
Tamaño Máximo				N°4
Tamaño Máximo Nominal				N°8

**II. - MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA # 200 (NTP 400.016)**

Peso material seco sucio aprox. 0.1gr (1)	1035.5
Peso material seco lavado aprox. 0.1gr (2)	988.6
Fino por lavado - aprox. 0.1%* (1-2)/1x100	4.5

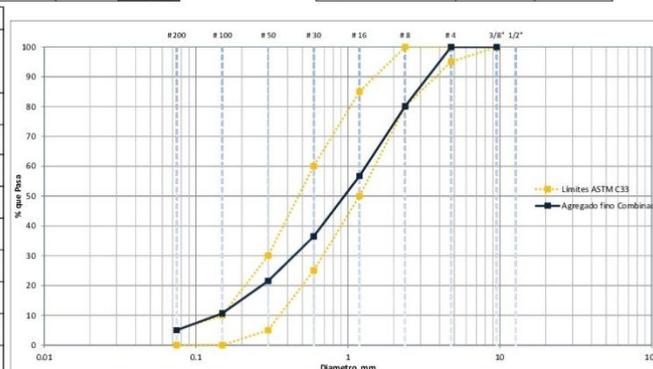
**III. - DETERMINACIÓN IMPUREZAS ORGANICAS (NTP 400.024)**

Solución más o menos intensa que solución tipo 7? N° escala patrón de color	N.A.
--	------

**IV. - SECADO A MASA CONSTANTE (NTP 339.185:2002)**

	Material sucio	Material lavado
Peso humedo	1000.0	
Peso seco 1	972.5	889.20
Peso seco 2	972.5	889.2
Peso seco 3	972.5	889.2
Diferencia 1 - 2 (%)	0.00	0.00
Diferencia 2 - 3 (%)	0.00	
Humedad (%)	2.8	
Hora		

TAMIZ	% que Pasa	% que Pasa
12"		
3/8"		
# 4	95	100
# 8	80	100
# 16	50	85
# 30	25	60
# 50	5	30
# 100	0	10
# 200	0	5



Procedimiento de tamizado:	Manual	<input checked="" type="checkbox"/>	Mecánico	<input type="checkbox"/>
N° Balanza:	LM-120-2013			
Procedimiento de Secado:	Horno Secado	<input type="checkbox"/>	Cocina	<input checked="" type="checkbox"/>

  
BORIS IVAN  
SULLON REYES  
INGENIERO CIVIL  
Rég. CIP N° 164204

Calle Titoma Mz "J" Lote 27 Urbanización Lima, Los Olivos - Lima Perú  
Nextel 423\*6763 / 401\*0775 Telf. 652-8558  
www.lemicons.com

## Análisis granulométrico del Agregado fino Combinado

Fuente: Laboratorio Lemicons

# LEMICONS

Laboratorios de Ensayo de Materiales Ingeniería y Construcción

<b>LEMICONS</b>	<b>EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO F'c=175 KG/CM2 UTILIZANDO AGREGADOS NATURALES Y RECICLADOS PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES</b>	
CONTROL TECNOLÓGICO	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	

## DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO

(NORMA PERUANA NTP 400.017.1999)

DATOS DE LA MUESTRA		
PROCEDENCIA AGREGADO	: El Agustino/Lima	N° DE SOLICITUD : LEM-1602033
TIPO DE AGREGADO	: Agregado fino Combinado	CODIGO DE MUESTRA : LEM-1602033/001
SOLICITANTE	: Nilo Elio Erazo Gonzales	FECHA DE ENSAYO : 24/02/2016

### PESO UNITARIO COMPACTADO

	1	2	
A	Peso muestra Compactado (kg)	4703	4737
B	Capacidad Volumetrica de la medida (m <sup>3</sup> )	2818	2818
C	Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1.669	1.681
PROMEDIO		1.675	

Procedimiento por Apisonado

Procedimiento por Percusión

### PESO UNITARIO SUELTO

	1	2	
A	Peso muestra Compactado (kg)	4076.0	4092.0
B	Capacidad Volumetrica de la medida (m <sup>3</sup> )	2818.0	2818.0
C	Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1.446	1.452
PROMEDIO		1.449	

  
 BORIS IVAN  
 SULLON REYES  
 INGENIERO CIVIL  
 Rq. CP N° 164204

N° Balanza : BL-004

Fecha de Ensayo :

Procedimiento de Secado : Homo Secado

Cocina

Observaciones:

Calle Tritoma Mz "J" Lote 27 Urbanización Lima, Los Olivos - Lima Perú  
 Nextel 423\*6763 / 401\*0775 Telf. 652-8558  
 www.lemicons.com

## **Peso Unitario Suelto y Compactado del Agregado fino combinado**

Fuente: Laboratorio Lemicons

# LEMICONS

Laboratorios de Ensayo de Materiales Ingeniería y Construcción

<b>LEMICONS</b>	EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO F'c=175 KG/CM2 UTILIZANDO AGREGADOS NATURALES Y RECICLADOS PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	
CONTROL TECNOLÓGICO	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	

**DETERMINACIÓN PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO**  
(NORMA PERUANA NTP 400.022:2002)

DATOS DE LA MUESTRA			
PROCEDENCIA AGREGADO	: El Agustino/Lima	N° DE SOLICITUD	: LEM-1602033
TIPO DE AGREGADO	: Agregado Fino Combinado	CODIGO DE MUESTRA	: LEM-1602033/001
SOLICITANTE	: Niño Elio Erazo Gonzales	FECHA DE ENSAYO	: 10/02/2016

ARENA - AGREGADO < a 5 mm
---------------------------

	1	2	
A	591.3	593.9	
B	960.7	965.3	
C	486.9	489.8	
D	652.6	655.1	PROMEDIO
	2.595	2.601	2.598
	2.520	2.529	2.524
	2.723	2.727	2.725
	3.0	2.9	2.92

N° Balanza :	BL-04
Procedimiento de Secado :	Horno Secado
	Cocina
	X

Observaciones:

  
BORIS IVAN  
SULLON REYES  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 16420<sup>6</sup>

Calle Tritoma Mz "J" Lote 27 Urbanización Lima, Los Olivos - Lima Perú  
Nextel 423\*6763 / 401\*0775    Tel: 652-8558  
www.lemicons.com

## **Peso Especifico y Absorción del Agregado fino combinado**

Fuente: Laboratorio Lemicons

## Anexo N° 2: Resultados de ensayos al Agregado grueso reciclado

# LEMICONS

Laboratorios de Ensayo de Materiales Ingeniería y Construcción

<b>LEMICONS</b>	EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO F'c=175 KG/CM <sup>2</sup> UTILIZANDO AGREGADOS NATURALES Y RECICLADOS PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	
CONTROL TECNOLÓGICO	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - MALLA # 200 - IMPUREZAS ORGANICAS (NTP 400.012 - NTP 400.018 - NTP 400.024)

DATOS DE LA MUESTRA	
PROCEDENCIA AGREGADO : El Agustino/Lima	N° DE SOLICITUD : LEM-1512073
TIPO DE AGREGADO : Agregado grueso Reciclado	CODIGO DE MUESTRA : LEM-1512073/001
SOLICITANTE : Nilo Elio Erazo Gonzales	FECHA DE ENSAYO : 01/11/2015

#### I - GRANULOMETRIA (NTP 400.012)

Peso muestra seca Inicial	5606.0
Peso muestra seca total	5606.0

Tamiz	Peso Retenido Parcial	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
38.1 1 1/2"		0.0	0.0	100.0
25.4 1"		0.0	0.0	100.0
19.05 3/4"	1715	30.6	30.6	69.4
12.7 1/2"	1379	24.6	55.2	44.8
9.52 3/8"	392	7.0	62.2	37.8
4.76 N°4	1941	34.6	96.8	3.2
2.38 8	117	2.1	98.9	1.1
1.19 16	17	0.3	99.2	0.8
0.60 200	35	0.6	99.8	0.2
Residuo	10	0.2	100.0	
Fino eliminado en lavado		0.0	100.0	
Modulo de Finura		6.9		
Tamaño Maximo		1"		
Tamaño Maximo Nominal		3/4"		

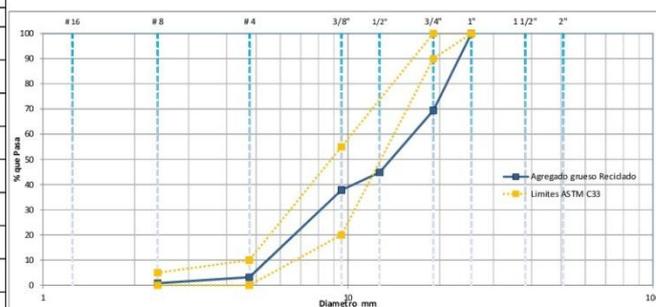
#### II - MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA # 200 (NTP 400.018)

Peso material seco sucio aprox. 0,1gr (1)	-
Peso material seco lavado aprox. 0,1gr (2)	-
Fino por lavado - aprox. 0.1% <sup>m</sup> (1-2)/1x100	-

#### III - SECADO A MASA CONSTANTE : (NTP 339.185:2002)

	Material sucio	Material lavado
Peso humedo	5734.9	
Peso seco 1	5606	-
Peso seco 2	5606	-
Peso seco 3	5606	-
Diferencia 1 - 2 (%)	0.00	-
Diferencia 2 - 3 (%)	0.00	-
Humedad (%)	2.3	-
Hora		

TAMIZ	% que Pasa	% que Pasa
2"	--	--
1 1/2"	--	--
1"	--	100
3/4"	90	100
1/2"	--	--
3/8"	20	55
# 4	0	10
# 8	0	5
# 200	--	--



Procedimiento de tamizado : Manual  Mecánico  N° Balanza : ..... BL-1 Procedimiento de Secado : Horno Secado  Cocina

Calle Tritoma Mz "J" Lote 27 Urbanización Lima, Los Olivos - Lima Perú  
Nextel 423\*6763 / 401\*0775 Telf. 652-8558  
www.lemicons.com

  
BORIS IVAN  
SULLON REYES  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 164204

### Análisis granulométrico del Agregado Grueso Reciclado

Fuente: Laboratorio Lemicons

# LEMICONS

Laboratorios de Ensayo de Materiales Ingeniería y Construcción

<b>LEMICONS</b>	<b>EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO F'c=175 KG/CM2 UTILIZANDO AGREGADOS NATURALES Y RECICLADOS PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES</b>	
CONTROL TECNOLÓGICO	<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	

## DETERMINACION DEL PESO UNITARIO (NORMA PERUANA NTP 400.017:1999)

DATOS DE LA MUESTRA		
PROCEDENCIA AGREGADO	: El Agustino/Lima	N° DE SOLICITUD : LEM-1512073
TIPO DE AGREGADO	: Agregado grueso Reciclado	CODIGO DE MUESTRA : LEM-1512073/001
SOLICITANTE	: Nño Elio Erazo Gonzales	FECHA DE ENSAYO : 01/12/2015

### PESO UNITARIO COMPACTADO

	1	2
A Peso muestra Compactado (kg)	9.680	9.670
B Capacidad Volumetrica de la medida (m <sup>3</sup> )	7.040	7.046
C Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1.375	1.372
PROMEDIO	1.374	

Procedimiento por Apisonado

x

Procedimiento por Percusion

### PESO UNITARIO SUELTO

	1	2
A Peso muestra Compactado (kg)	8.720	8.730
B Capacidad Volumetrica de la medida (m <sup>3</sup> )	7.036	7.046
C Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1.239	1.239
PROMEDIO	1.239	

  
-----  
BORIS IVAN  
SULLON REYES  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 164207

N° Balanza : M - 1026 - 2013

Procedimiento de Secado : Homo Secado

Cocina

x

Observaciones:

Calle Tintoma Mz "J" Lote 27 Urbanización Lima, Los Olivos - Lima Perú  
Nextel 423\*6763 / 401\*0775 Tel: 652-8558  
www.lemicons.com

## **Peso Unitario Suelto y Compactado del Agregado Grueso Reciclado**

Fuente: Laboratorio Lemicons

# LEMICONS

Laboratorios de Ensayo de Materiales Ingeniería y Construcción

<b>LEMICONS</b>	EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO F'C=175 KG/CM2 UTILIZANDO AGREGADOS NATURALES Y RECICLADOS PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	
CONTROL TECNOLÓGICO	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	

## DETERMINACION PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO (NORMA PERUANA NTP 400,021:2002)

DATOS DE LA MUESTRA			
PROCEDENCIA AGREGADO	: El Agustino/Lima	N° DE SOLICITUD	: LEM-1512073
TIPO DE AGREGADO	: Agregado grueso Reciclado	CODIGO DE MUESTRA	: LEM-1512073/001
SOLICITANTE	: Nilo Elio Erazo Gonzales	FECHA DE ENSAYO	: 01/12/2015

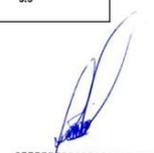
<b>GRAVA - AGREGADO &gt; a 4,76 mm</b>
--

		1	2	
A	Peso muestra Sat. Sumergido (gr)	2868.0	2855.0	
B	Peso muestra Sat. Sup. Seca (gr)	4893.0	4902.0	
C	Peso muestra Seco (gr)	4654.0	4652.0	PROMEDIO
	Peso específico Sat. Sup. Seca = B/B-A (kg/m <sup>3</sup> )	2.416	2.395	2.406
	Peso específico de masa = C/B-A (kg/m <sup>3</sup> )	2.298	2.273	2.285
	Peso específico aparente = C/C-A (kg/m <sup>3</sup> )	2.606	2.589	2.597
	Absorción de agua = (B - C)/C * 100 (%)	5.1	5.4	5.3

N° Balanza : BL-02

Procedimiento de Secado : Horno Secado	X
Cocina	

Observaciones:

  
BORIS IVAN  
SULLON REYES  
INGENIERO CIVIL  
Rqg. CIP N° 164204

Calle Tritoma Mz "J" Lote 27 Urbanización Lima, Los Olivos - Lima Perú  
Nextel 423\*6763 / 401\*0775 Telf. 652-8558  
www.lemicons.com

### **Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso Reciclado**

Fuente: Laboratorio Lemicons

### Anexo N° 3: Resultados de ensayos al concreto en estado fresco

## LEMICONS

Laboratorios de Ensayo de Materiales Ingeniería y Construcción

	<b>EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO F'c=175 KG/CM2 UTILIZANDO AGREGADOS NATURALES Y RECICLADOS PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES</b>	
	<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	

#### ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

DATOS DE LA MUESTRA		
<b>PROCEDENCIA AGREGADO</b> : El Agustino/Lima	<b>N° DE SOLICITUD</b> : LEM-1512073	
<b>TIPO DE CONCRETO</b> : Concreto Reciclado f'c = 175 kg/cm2	<b>CODIGO DE MUESTRA</b> : LEM-1512073/001	
<b>SOLICITANTE</b> : Nilo Elio Erazo Gonzales	<b>FECHA DE ENSAYO</b> : 29/02/2016	

PESO UNITARIO CONCRETO FRESCO (NORMA PERUANA NTP 339.046)
--

	1
A Peso recipiente de medida + concreto (kg)	18.987
B Peso del recipiente de medida (kg)	3.500
C Volumen del recipiente de medida (cm <sup>3</sup> )	7040
Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m <sup>3</sup> )	2199.86

TEMPERATURA (NORMA PERUANA NTP 339.184)	CONTENIDO DE AIRE (NORMA PERUANA NTP 339.083)	ASENTAMIENTO (NORMA PERUANA NTP 339.035)
29.6 °C	3%	3"

N° Balanza : M-1026 - 2013

Observaciones: \_\_\_\_\_

  
 BORIS IVAN  
 SULLÓN REYES  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 164207

Calle Tuitoma Mz "J" Lote 27 Urbanización Lima, Los Olivos - Lima Perú  
 Nextel 423\*6763 / 401\*0775 Telf. 652-8558  
 www.lemicons.com

**Peso Unitario, Temperatura, Contenido de aire y Asentamiento**  
 Fuente: Laboratorio Lemicons

### Anexo N° 4: Tablas para el diseño de mezcla

Tabla 8: Cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes slump, tamaño máximo de agregado y contenido de aire

Slump	Tamaño máximo de agregado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
<b>Concreto sin Aire incorporado</b>								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	----
% Aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto con aire incorporado</b>								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	----
<b>% de Aire incorporado en función del grado de exposición</b>								
Normal	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Moderada	8.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Extrema	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

**Fuente:** Pasquel C., Enrique (1993). *"Tópicos de tecnología del concreto en el Perú"* (p.177). Lima: Colección del Ingeniero Civil.

Tabla 9: Relación Agua/Cemento vs  $f'c$ 

f'c a 28 Días ( Kg/cm <sup>2</sup> )	Relación Agua/Cemento en peso	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
450	0.38	----
400	0.42	----
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.60
150	0.79	0.70

**Fuente:** Pasquel C., Enrique (1993). *“Tópicos de tecnología del concreto en el Perú”* (p.179). Lima: Colección del Ingeniero Civil.

**Tabla 10: Volumen agregado grueso compactado en seco por 1m<sup>3</sup> de concreto**

Tamaño Máximo de agregado	Volumen de agregado grueso compactado en seco para diversos módulos de fineza de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.79	0.78	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

**Fuente:** Pasquel C., Enrique (1993). *“Tópicos de tecnología del concreto en el Perú”* (p.189). Lima: Colección del Ingeniero Civil.

**Tabla 11:  $f'_{cr}$  aplicable cuando no se dispone de resultados para definir la desviación standard**

$f'_{cr}$ ESPECIFICADO	$f'_{cr}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Mayor de 350	$f'_c + 98$

**Fuente:** Pasquel C., Enrique (1993). *“Tópicos de tecnología del concreto en el Perú”* (p.164). Lima: Colección del Ingeniero Civil.

## Anexo N° 5: Diseño de mezcla con el método ACI

# LEMICONS

*Laboratorio de Ensayo de Materiales Ingeniería y Construcción*

### INFORME TECNICO N° 04-2016

**PARA** : NILO ELIO ERAZO GONZALES  
**TESIS** : "EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO  $f_c=175$  KG/CM<sup>2</sup> UTILIZANDO AGREGADOS NATURALES Y RECICLADOS PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES"  
**DE** : LEMICONS S.R.L.  
**ASUNTO** : INFORME DE DISEÑO DE CONCRETO DOSIFICACION 175 Kg/cm<sup>2</sup> TIPO I  
**FECHA** : FEBRERO DEL 2016

Me es grato dirigirme a Ud. Para saludarle y a la vez presentarle el diseño de resistencia 175 Kg/cm<sup>2</sup> tipo I.

### DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO 175 Kg/cm<sup>2</sup>

#### 1. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

##### **1.1 AGREGADO FINO: ARENA COMBINADA**

PESO ESPECIFICO DE MASA	:	2,524 gr/cm <sup>3</sup>
PESO UNITARIO SUELTO SECO	:	1,449 Kg/m <sup>3</sup>
PESO UNITARIO SECO COMPACTADO	:	1,675 Kg/m <sup>3</sup>
HUMEDAD NATURAL	:	2,8 %
ABSORCION	:	2,92 %
MODULO DE FINURA	:	2,72

##### **1.2 AGREGADO GRUESO: PIEDRA RECICLADA**

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	:	3/4"
PESO ESPECIFICO DE MASA	:	2,285 gr/cm <sup>3</sup>
PESO UNITARIO SUELTO SECO	:	1,239 Kg/m <sup>3</sup>
PESO UNITARIO SECO COMPACTADO	:	1,374 kg/m <sup>3</sup>
HUMEDAD NATURAL	:	2,3 %
ABSORCION	:	5,3 %

#### 2. CEMENTO

- CEMENTO SOL TIPO I
- PESO ESPECIFICO : 3.12 gr/cm<sup>3</sup>

  
 -----  
 BORIS IVAN  
 SULLON REYES  
 INGENIERO CIVIL  
 Req. CIP N° 164204

1

# LEMICONS

*Laboratorio de Ensayo de Materiales Ingeniería y Construcción*

### 3. CARACTERISTICAS

-RELACION AGUA CEMENTO	:	0,63
-RESISTENCIA ESPECIFICADA	:	175 Kg/cm <sup>2</sup>
-ASENTAMIENTO	:	3" a 4" (+/- 1 1/2")

### 4. CANTIDAD DE MATERIAL POR M3 DE CONCRETO

#### 4.1 MATERIALES DE DISEÑO SECO POR M<sup>3</sup>

- CEMENTO	:	325	kg.
- AGREGADO FINO SECO	:	742	kg.
- AGREGADO GRUESO SECO	:	866	Kg.
- AGUA DE MEZCLA	:	205	Lt.

#### 4.2 MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD POR M<sup>3</sup>

- CEMENTO	:	325	kg.
- AGREGADO FINO HUMEDO	:	763	kg.
- AGREGADO GRUESO HUMEDO	:	886	Kg.
- AGUA EFECTIVA	:	231	Lt.

### 4. PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES

PROPORCIONAMIENTO EN PESO

1 : 2,3 : 2,7 / 30,4 Lt

PROPORCIONAMIENTO EN VOLUMEN

1 : 2,4 : 3,3 / 30,4 Lt



-----  
 BORIS IVAN  
 SULLON REYES  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 16420'