

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“CONCRETO ELABORADO CON AGREGADOS DE RESIDUOS
DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) RECICLADOS”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

FABRIZIO CRISTHIAN CIPRIANO ROJAS

ASESOR

ING. CARLOS ARMANDO BARZOLA GASTELÚ

Lima - Perú

2019

PLAN DE TESIS

TEMA : CONCRETO ELABORADO CON AGREGADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) RECICLADOS.

TESISTA : FABRIZIO CRISTHIAN CIPRIANO ROJAS

CÓDIGO : 20100114B

ASESOR : ING. CARLOS ARMANDO BARZOLA GASTELÚ
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE CONSTRUCCION



21 DIC 2017

ANTECEDENTES REFERENCIALES:

La reutilización de los materiales de construcción se ha dado desde tiempos antiguos de manera empírica al observar los escombros que generaban construcciones demolidas o destruidas; sin embargo, se daba a pequeña escala debido a que los materiales de mayor volumen en una estructura como son el concreto, ladrillo, tejas, cerámicos, etc.; eran indiscriminadamente desechados en botaderos generando así un impacto ambiental negativo en el ecosistema.

Las primeras luces del reciclaje de estos materiales de construcción se vislumbraron después de la Segunda Guerra Mundial, cuando se tuvo una cantidad considerable de escombros en las principales ciudades de Europa. Es así que se reutilizaron como concreto reciclado, ladrillo reciclado, material de estabilización y material de relleno.

Conforme se desarrollaban las ciudades surgieron una serie de estudios experimentales sobre el comportamiento y propiedades de materiales reciclados en la elaboración de concreto estructural y no estructural es así que en 1946 Gluzhge concluye el concreto elaborado con agregados producto del reciclado posee menor resistencia a la compresión. Tanto como el concreto, el mortero también se investigó a partir de escombros de bloques de concreto, ladrillo de arcilla y cerámico concluyendo su factibilidad.

Anualmente en el mundo se producen 1 billón de toneladas de residuos de demolición, de las cuales 510 millones son producidas en Europa. En promedio solo el 8% de estos residuos se reciclan, aunque en países como Alemania, Holanda y Reino Unido cerca del 20% de agregados reciclados se reutilizan.

En Latinoamérica, México cuenta con plantas de reciclaje de escombros. Los materiales factibles de reciclar son los que provienen de demoliciones y desechos de la industria de la construcción (edificaciones, excavaciones, vialidades, urbanizaciones, caminos, etc.) tales como concreto simple, concreto armado, mortero, asfalto, arcillas, cerámicos y mampostería que mediante procesos de clasificación y fabricación obtiene productos como mezcla asfáltica, material de 3", material de 3" a finos, arena reciclada, etc.

En el Perú existe una gran variedad investigaciones referentes a la reutilización de materiales de construcción como agregado para la elaboración de concreto, mortero y ladrillo. La Norma Técnica Peruana establece la posibilidad de reciclar y/o reutilizar los residuos provenientes de la construcción.

Una de las investigaciones locales y cercanas al tema es la tesis de Cesar Ponce P. (2014) "Estudio del Concreto Reciclado de Mediana a Baja Resistencia, Utilizando Cemento Portland Tipo I", la cual se hace íntegramente con muestras recicladas sólo de concreto, en tanto que la tesis presente se desarrollará con muestras de concreto, mortero, ladrillo, cerámico y otro material de origen pétreo que forme parte de los residuos de la construcción y demolición.



21 DIC 2017

PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA:

Las diversas industrias generan residuos que en la actualidad se vienen reciclando por un tema medio ambiental como por crear una nueva industria de reciclaje. La construcción no es ajena a este tema pues existen proyectos y estudios diversos de reciclaje del material proveniente de los residuos de construcción y demolición a nivel mundial, sin embargo, en el ámbito local el residuo sólido producto de demoliciones es menor en comparación con las ciudades industrializadas de USA y Europa. Por ello se hace necesario el aprovechamiento de la mayoría de los materiales de los escombros (concreto, mortero, ladrillos, cerámicos, porcelanatos, etc.) para que en conjunto con el aglomerante se elabore un concreto que sea utilizado para la fabricación y/o construcción de elementos poco resistentes dentro de las obras civiles y otros.

DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

Objetivo General:

Análisis del concreto elaborado con aglomerante y materiales obtenidos de los residuos de construcción y demolición; además su posterior

factibilidad para su utilización como concreto para elementos de baja resistencia en obras civiles y otros.

Objetivos Específicos:

Determinación de las propiedades físico mecánicas del concreto fresco y endurecido del concreto obtenido a partir de materiales de los escombros (concreto, mortero, ladrillos, cerámicos, porcelanatos, etc.).

Determinación de la dosificación factible para la elaboración de concreto con las mejores propiedades de resistencia utilizando materiales de los escombros (concreto, mortero, ladrillos, cerámicos, porcelanatos, etc.).



21 DIC 2017

HIPÓTESIS

Fabricación de elementos de baja resistencia de concreto elaborado con material de escombros (concreto, mortero, ladrillos, cerámicos, porcelanatos, etc.) y aglomerante para su uso en obras civiles y otros.

MARCO TEÓRICO

Los materiales obtenidos de los residuos de la construcción y demolición generan un considerable volumen de materiales inertes que generalmente no son reutilizados y/o reciclados, sin embargo, son eliminados hacia vertederos sin una conciencia medio ambiental. Los materiales como por ejemplo los que provienen de la madera, plástico, acero y vidrio son los que mayormente se reciclan, por lo que ya existe una industria de gran demanda para estos materiales que significan el menor volumen dentro de los residuos. Los materiales restantes como son el concreto, mortero, ladrillos y cerámicos residuos de mayor volumen no son aprovechados en el medio local, caso contrario ocurre en ciudades de Europa y en donde se reciclan como áridos para concretos o base de pavimentos.

Se define el concreto como un producto artificial obtenido mediante la mezcla de un medio ligante (agua y cemento) y un medio ligado (agregados). Además, se pueden requerir aditivos los cuales están en función del uso final del concreto.

Los agregados son el constituyente mayor del concreto aproximadamente el 70% en volumen, estos hacen factible económicamente la utilización del

concreto como material constructivo de las estructuras. Los agregados pueden ser naturales o artificiales dependiendo de su origen ya que se pueden encontrar en los lechos de ríos, depósitos aluviales, etc., como también se pueden obtener mediante del reciclado de materiales procedentes de las demoliciones de construcciones. En el Perú la Norma Técnica Peruana NTP 400.050, establece el reciclaje y/o reutilización de residuos provenientes de la construcción, mientras que la NTP 400.053 propone posibles usos del agregado reciclado (según su procedencia) para la fabricación de elementos constructivos.

Los concretos elaborados con materiales productos de los residuos de la construcción y demolición, están dirigidos mayormente a elementos no estructurales como pueden ser muros separadores en cercos o vías, muros opacos en autopistas, muros de gravedad para la protección de las riveras de los ríos, falso piso, pavimento para ciclovías, etc., que son elementos que no requieren tener mayor resistencia ni durabilidad pero que se hacen necesarios.



21 DIC 2017

INDICE

RESUMEN

ABSTRACT

PRÓLOGO

LISTA DE CUADROS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

CAPÍTULO III: RECICLADO DE MATERIALES CONSTRUCTIVOS

CAPÍTULO IV: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS RCD

RECICLADOS

CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO

CAPÍTULO VI: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO

FRESCO

CAPÍTULO VII: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO

ENDURECIDO

CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS DETALLADO DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

METODOLOGÍA DE TRABAJO

El desarrollo de la tesis se ejecutará de la siguiente manera:

1.- Recopilación de Información:

Recopilación de información respecto al tema tratado versados en libros, normas nacionales y extranjeras, especificaciones, tesis, informes, boletines, revistas científicas y en paginas web acreditadas de la internet. 21 DIC 2017

2.- Suministro de los Materiales:

Suministro de residuos de demoliciones de construcciones (concreto, mortero, ladrillo, cerámico, etc.) como agregado, las cuales serán trituradas y luego zarandeadas en el tamiz respectivo. Suministro de cemento Portland tipo I.

3.- Preparación y Ensayo de Propiedades de los Agregados de RCD Reciclados:

Se llevará cabo en las instalaciones del LEM FIC-UNI de acuerdo a una programación formulada.

4.- Preparación de Probetas y Ensayo de Propiedades del Concreto Fresco:

Se llevará cabo en las instalaciones del LEM FIC-UNI de acuerdo a una programación formulada.

5.- Ensayo de Propiedades del Concreto Endurecido:

Se llevará cabo en las instalaciones del LEM FIC-UNI de acuerdo a una programación formulada.

6.- Elaboración de Tesis:

Redacción de tesis en gabinete.



21 DIC 2017

bo

CRONOGRAMA DE TRABAJO

ITEM	ACTIVIDAD	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				MES 7			
		S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28
1	RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN	■	■	■	■																								
2	SUMINISTRO DE LOS MATERIALES					■	■	■	■																				
3	PREPARACION Y ENSAYO DE PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS									■	■	■	■																
4	PREPARACION DE PROBETAS Y ENSAYO DE PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO													■	■	■	■												
5	ENSAYO DE PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO																	■	■	■	■								
6	REDACCION DE TESIS																					■	■	■	■	■	■	■	■



21 DIC 2017

BIBLIOGRAFÍA.

1.- Alaejos P., Domingo A. y Monleón S., "Puente reciclado sobre el río Turia en Manises (Valencia). En III Congreso de ACHE de puentes y estructuras. Zaragoza, España 2005.

2.- Alarcón S, José L. "Estudio del Concreto de Mediana a Alta Resistencia, Variando el tamaño máximo del agregado grueso de tipo angular con Cemento Portland Tipo I". Tesis para Optar el Título Profesional UNI-FIC, Lima 2001.

3.- American Concrete Institute (2004), ACI 555R-04 Report, Removal and Reuse of Hardened Concrete, ACI, Michigan, USA, 2004.

4.- Autores varios, "Manual de demoliciones, reciclaje y manipulación de materiales", Primera Edición, Fuego Editores, Madrid 2008.

5.- Bedoya M., Carlos. "El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles". Tesis de Maestría Universidad Nacional de Colombia, Medellín 2003.

6.- Gonzáles A., Eduardo. "Nuevo método de dosificación sostenible para hormigones con áridos reciclados". Tesina de Especialidad. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona 2012.

7.- Morales C., Miller R. "Estudio del comportamiento del concreto incorporando PET reciclado". Tesis para Optar el Título Profesional UNI.FIC, Lima 2016.

Handwritten signature or initials.

8.- Neville, A.M., "Tecnología del Concreto" Editorial Trillas, México D.F. 1998.

9.- Ponce P. Cesar P. "Estudio del Concreto Reciclado de Mediana a Baja Resistencia, Utilizando Cemento Portland Tipo I". Tesis para Optar el Título Profesional UNI.FIC, Lima 2014

10.- Sumari R. Jean C. "Estudio del Concreto de Mediana a Alta Resistencia Elaborado con Residuos de Concreto y Cemento Portland Tipo I". Tesis para Optar el Título Profesional UNI.FIC, Lima 2016.



21 DIC 2017


FABRIZIO C. CIPRIANO ROJAS
CÓDIGO:20100114B
TESISTA


Ing. CARLOS A. BARZOLA GASTELÚ
ASESOR

DEDICATORIA

*A mi padre Honorio Cipriano (+), cuyo recuerdo es
inspiración para seguir adelante.*

*A mi madre Elena Rojas, que con amor y sabiduría
guiaron mis pasos hasta aquí.*

*A mis hermanos, por sus consejos y el apoyo
incondicional que siempre me demostraron.*

AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento al Ing. Carlos Armando Barzola Gastelú por la orientación brindada para la realización de la presente tesis, así mismo por compartir sus conocimientos y experiencias de la vida ingenieril.

A los amigos que me acompañaron y apoyaron en el laboratorio durante los ensayos.

También agradezco a todas las personas que conforman el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNI por abrirme las puertas para el desarrollo de la tesis.

A la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, en cuyas aulas me impartieron conocimientos y valores para transformar el mundo al servicio y desarrollo de la sociedad.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, por ser mi segundo hogar durante este periodo que duró mi vida universitaria, por el inmenso prestigio que me da desde el primer momento que ingresé y que con responsabilidad lo demostraré a todos los lugares donde vaya.

	Pág.
RESUMEN	5
ABSTRACT	7
PRÓLOGO.....	9
LISTA DE CUADROS	10
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	14
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO.....	17
1.1 EL CONCRETO	17
1.1.1 Definiciones del Concreto.....	17
1.1.2 Tipos de Concreto	18
1.2 MATERIALES QUE CONFORMAN EL CONCRETO.....	18
1.2.1 El Cemento	18
1.2.2 El Agua	19
1.2.3 Los Agregados.....	21
1.3 PROPIEDADES ESCENCIALES DEL CONCRETO	26
1.3.1 Propiedades del Concreto en Estado Fresco	26
1.3.2 Propiedades del Concreto en Estado Endurecido	27
CAPÍTULO II: GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD).....	29
2.1 RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)	29
2.1.1. Clasificación de los RCD	29
2.1.2. Composición de los RCD	33
2.1.3. Gestión de los RCD	39

2.2. RECICLADO DE LOS RCD.....	44
2.2.1. Reciclado de los RCD	44
2.2.2. Reciclado de los RCD de Origen Pétreo	46
CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	48
3.1 AGREGADO PATRÓN.....	48
3.1.1 Granulometría del Agregado Patrón	49
3.1.2 Propiedades Físicas del Agregado Patrón	49
3.2. AGREGADO RECICLADO.....	50
3.2.1 Granulometría del Agregado Reciclado.....	51
3.2.2 Propiedades Físicas del Agregado Reciclado.....	52
CAPÍTULO IV: DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO	53
4.1 GENERALIDADES	53
4.2 DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRÓN.....	54
4.3 DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO COMBINADO.....	58
4.4 PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO.....	62
4.4.1 Procedimiento de Mezclado para el Concreto Patrón	63
4.4.2 Procedimiento de Mezclado para el Concreto Combinado	63
CAPÍTULO V: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	64
5.1 CONSISTENCIA.....	64
5.2 PESO UNITARIO.....	65
5.3 FLUIDEZ	66
5.4 TIEMPO DE FRAGUA.....	67
5.5 EXUDACIÓN.....	68

CAPÍTULO VI: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ESTADO ENDURECIDO.....	70
6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL DEL CONCRETO	70
6.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL.....	73
6.3 MÓDULO ELÁSTICO ESTÁTICO.....	74
6.4 ABSORCIÓN	75
CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DETALLADO DE RESULTADOS.....	77
7.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	77
7.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	77
7.1.2 MÓDULO DE FINURA	81
7.1.3 SUPERFICIE ESPECÍFICA	82
7.1.4 PESO UNITARIO SUELTO.....	83
7.1.5 PESO UNITARIO COMPACTADO	83
7.1.6 PESO ESPECÍFICO.....	84
7.1.7 ABSORCIÓN	85
7.1.8 MATERIAL FINO QUE PASA LA MALLA N°200.....	85
7.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	86
7.2.1. CONSISTENCIA.....	86
7.2.2. PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO.....	87
7.2.3. FLUIDEZ.....	87
7.2.4. TIEMPO DE FRAGUA.....	88
7.2.5. EXUDACIÓN	89

7.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	90
7.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL	90
7.3.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL....	92
7.3.3 ABSORCIÓN	93
7.3.4 MÓDULO ELÁSTICO ESTÁTICO.....	93
CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
ANEXOS	101

RESUMEN

La reutilización y/o reciclado de los residuos de construcción y demolición es una necesidad actual que va de la mano con conceptos de Desarrollo sostenible y Economía circular, donde se busca el menor impacto ambiental posible y el eficiente aprovechamiento de los recursos naturales.

El presente trabajo propone la elaboración de concreto a base de los residuos de construcción y demolición de origen pétreo como son el concreto, mortero, arcilla, cerámico entre otros; que son reciclados en forma de nuevos áridos llamados “agregados reciclados”.

Se elaboraron dos tipos de concreto; el concreto patrón para el cual se utilizó como componentes agregado fino y grueso naturales, cemento Sol tipo I y agua; y el concreto combinado para el cual sólo se varió el agregado natural, por el agregado reciclado y agregado fino natural en una proporción determinada por el ensayo de máxima compactación. En ambos casos para el diseño del concreto se fijaron las relaciones de cemento y agregado de 1:3, 1:4 y 1:5, en tanto que la dosificación de agua se preestableció experimentalmente para alcanzar el asentamiento de 3” a 4”.

Los agregados naturales y reciclados fueron sometidos a ensayos de granulometría, peso unitario suelto y compactado, peso específico y porcentaje de absorción, y material fino que pasa la malla N°200. Como resultados principales se obtuvo en el agregado fino y grueso reciclado, que el peso específico es 19% y 23% menor, mientras que la absorción es 442% y 993% mayor; en ambos casos respecto del agregado natural.

Los concretos patrón y combinado en estado fresco fueron ensayados a pruebas de asentamiento, peso unitario, fluidez, tiempo de fragua y exudación. Como resultados destacables se tiene que dadas las relaciones 1:3, 1:4 y 1:5, el concreto combinado posee un peso unitario de 7%, 8% y 8% menor, que el concreto patrón respectivamente. En las relaciones de 1:3, 1:4 y 1:5; el concreto combinado presenta un tiempo de fragua inicial de 3%, 5% y 12% mayor, y un tiempo de fragua final de 4%, 9% y 23% mayor, respecto del concreto patrón.

Los concretos patrón y combinado en estado endurecido fueron sometidos a las pruebas de resistencia a la compresión axial, resistencia a la tracción por compresión diametral, módulo elástico estático y absorción. Los resultados principales obtenidos a los 28 días de edad, para las relaciones 1:3, 1:4 y 1:5, el concreto combinado presenta valores de 16%, 27% y 9% menor en la resistencia a la compresión axial respecto al concreto patrón y de 13%, 21% y 26% menor en el ensayo de absorción respecto al concreto patrón.

ABSTRACT

The reuse and / or recycling of construction and demolition waste is a current need that goes hand in hand with concepts of sustainable development and circular economy, which seeks the least possible environmental impact and the efficient use of natural resources.

The present work proposes the elaboration of concrete based on construction and demolition waste of stone origin such as concrete, mortar, clay, ceramic, among others; which are recycled in the form of new aggregates called "recycled aggregates".

Two types of concrete were developed; the concrete pattern for which was used as fine and thick pattern or natural aggregate components, Sol type I cement and water; and the combined concrete for which only the natural aggregate was varied, by the recycled aggregate and natural fine aggregate in a proportion determined by the maximum compactness test. In both cases, cement and aggregate ratios of 1:3, 1:4 and 1:5 were set for the design of the concrete, while the water dosage was pre-established experimentally to reach the settlement of 3" to 4".

The natural and recycled aggregates were subjected to granulometry tests, loose and compacted unit weight, specific gravity and percentage of absorption, and fine material passing the No. 200 mesh. As main results, it was obtained in the fine and coarse aggregate recycled, that the specific weight is 19% and 23% lower, while the absorption is 442% and 993% higher; in both cases with respect to the natural aggregate.

The pattern and combined concrete in its fresh state were tested for settlement, unit weight, flow, set time and exudation tests. As remarkable results it has to be given the relations 1:3, 1:4 and 1:5, the combined concrete has a unit weight of 7%, 8% and 8% less, than the concrete pattern respectively. In the relationships of 1:3, 1:4 and 1:5; the combined concrete presents an initial setting time of 3%, 5% and 12% greater, and a final setting time of 4%, 9% and 23% greater, with respect to the concrete pattern.

The pattern and combined concrete in the hardened state were subjected to tests of resistance to axial compression, tensile strength by diametral compression, static elastic modulus and absorption. The main results obtained at 28 days of age, for the ratios 1:3, 1:4 and 1:5, the combined concrete presents values of 16%, 27% and 9% lower in the resistance to axial compression compared to the concrete pattern and 13%, 21% and 26% lower in the absorption test with respect to the concrete pattern.

PRÓLOGO

El sector construcción en el Perú viene en aumento, con ello los residuos que se genera en esta industria. Puntualmente los residuos de origen pétreo como el concreto, ladrillo, cerámica entre otros, no vienen reciclándose debido a la escasa información sobre las metodologías de su manejo y más aun de sus propiedades. Por el contrario, estos restos son depositados indiscriminadamente en vertederos en el mejor de los casos.

El reciclado de los residuos de construcción y demolición se desarrolla en los principales países a nivel mundial, apoyado por una conciencia medioambiental y de aprovechamiento máximo del material virgen antes de ser vertido a la naturaleza. El Perú no puede ser ajeno a estos conceptos, pues ayuda a preservar la abundante riqueza natural existente, además que aporta en el uso eficiente del material en los procesos constructivos.

Esta tesis presenta un concreto elaborado con agregados de residuos de construcción y demolición reciclados, para ello estudia las propiedades del agregado reciclado, además del concreto resultante de la combinación de agregados naturales con el reciclado, finalmente los compara con un concreto convencional.

La elaboración de este innovador concreto puede encontrar varios usos en el sector construcción por ello la importancia de su continua investigación.

Ing. Carlos Armando Barzola Gastelú

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N°1.1. Requisitos Químicos y Físicos del Cemento Sol Portland	
Tipo I	20
Cuadro N°1.2. Límites Permisibles Máximo de la Calidad del Agua para la	
Mezcla y Curado	21
Cuadro N°1.3. Límites Granulométrico del Agregado Fino	22
Cuadro N°1.4. Límites Granulométrico del Agregado Grueso	23
Cuadro N°1.5. Límites Granulométrico del Agregado Global	24
Cuadro N°2.1. Clasificación Según su Capacidad de Reaprovechamiento.....	32
Cuadro N°2.2. Clasificación de los RCD según la Comunidad Económica	
Europea	34
Cuadro N°2.3. Composición y reciclado de los RCD en Alemania	35
Cuadro N°2.4. Composición de los RCD en Noruega	35
Cuadro N°2.5. Composición de los RCD en Chile	37
Cuadro N°2.6. Composición de los Residuos Sólidos en el Perú	38
Cuadro N°2.7. Posibilidades de Valorización de los RCD para su Reciclado	44
Cuadro N°2.8. Porcentaje de Reciclado o reutilización de RCD en Países	
Europeos	45
Cuadro N°3.1. Procedencia del Agregado Patrón	48
Cuadro N°3.2. Ensayo de Granulometría en el Agregado Grueso Patrón.....	49
Cuadro N°3.3. Ensayo de Granulometría en el Agregado Fino Patrón.....	49
Cuadro N°3.4. Propiedades Físicas del Agregado Patrón	50
Cuadro N°3.5. Ensayo de Granulometría en el Agregado Fino Reciclado	51
Cuadro N°3.6. Ensayo de Granulometría en el Agregado Grueso Reciclado	51
Cuadro N°3.7. Propiedades Físicas del Agregado Reciclado	52
Cuadro N°4.1: Determinación de la Máxima Compacidad del Agregado Global	
Patrón.	55
Cuadro N°4.2. Resistencia a la Compresión Axial del Concreto Patrón variando	
el % A.F.P.....	56
Cuadro N°4.3 Diseño de Concreto Patrón para la Relación 1:3	57
Cuadro N°4.4 Diseño de Concreto Patrón para la Relación 1:4	57
Cuadro N°4.5 Diseño de Concreto Patrón para la Relación 1:5	58

Cuadro N°4.6: Determinación de la Máxima Compacidad del Agregado Global Combinado	58
Cuadro N°4.7: Resistencia a la Compresión Axial del Concreto Combinado variando el % A.F.P	60
Cuadro N°4.8: Diseño de Concreto Combinado para la Relación 1:3	60
Cuadro N°4.9: Diseño de Concreto Combinado para la Relación 1:4	62
Cuadro N°4.10: Diseño de Concreto Combinado para la Relación 1:5	62
Cuadro N°5.1: Asentamiento del Concreto Patrón y Combinado.....	64
Cuadro N°5.2: Peso Unitario del Concreto Patrón y Combinado.....	65
Cuadro N°5.3: Fluidéz del Concreto Patrón y Combinado	66
Cuadro N°5.4: Tiempo de Fragua del Concreto Patrón y Combinado	67
Cuadro N°5.5: Exudación del Concreto Patrón y Combinado.....	68
Cuadro N°6.1: Resistencia a la Compresión Axial – Concreto Patrón.....	70
Cuadro N°6.2: Resistencia a la Compresión Axial – Concreto Combinado.....	70
Cuadro N°6.3: Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral – Concreto Patrón	73
Cuadro N°6.4: Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral – Concreto Combinado	74
Cuadro N°6.5: Módulo Elástico – Concreto Patrón.....	75
Cuadro N°6.6: Módulo Elástico – Concreto Combinado.....	75
Cuadro N°6.7: Absorción de Agua en el Concreto Endurecido.....	76

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura N°2.1: Composición de los RCD en India	36
Figura N°2.2: Composición de los RCD en Teherán (Irán)	36
Figura N°2.3: Composición de los RCD en el Estado de México	37
Figura N°2.4: Jerarquización de Procesos para la Gestión de los RCD	39
Figura N°2.5 y N°2.6: Recolección y Transporte de los RCD en las Cajas Ecológicas.....	41
Figura N°2.7 y N°2.8: Clasificación de los RCD y Reciclaje del concreto utilizado en vías.	41
Figura N°2.9: La Economía Circular.....	43
Figura N°2.10: Línea 12 del Metro – Línea Dorada - México.	46
Figura N°2.11: Agregados Reciclado	47
Figura N°4.1: Máxima Compacidad del Agregado Global Patrón	55
Figura N°4.2: Porcentaje Óptimo del Agregado Fino Patrón en el Concreto Patrón	56
Figura N°4.3: Contenido Óptimo de Agregado Fino Patrón	59
Figura N°4.4: Porcentaje Óptimo de Agregado Fino Patrón en el Concreto Combinado.....	61
Figura N°5.1: Asentamiento del Concreto Patrón y Combinado	65
Figura N°5.2: Peso Unitario del Concreto Patrón y Combinado.....	66
Figura N°5.3: Fluidez del Concreto Patrón y Combinado.....	67
Figura N°5.4: Fluidez del Concreto Patrón y Combinado.....	68
Figura N°5.5: Exudación del Concreto Patrón y Combinado	69
Figura N°6.1: Resistencia a la Compresión Axial para la Relación 1:3.....	71
Figura N°6.2: Resistencia a la Compresión Axial para la Relación 1:4.....	71
Figura N°6.3: Resistencia a la Compresión Axial para la Relación 1:5.....	72
Figura N°6.4: Resistencia a la Compresión Axial a los 7 días	72
Figura N°6.5: Resistencia a la Compresión Axial a los 28 días	73
Figura N°6.6: Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral a los 28 días	74
Figura N°6.7: Módulo Elástico Estático de Ensayo del Concreto.....	75
Figura N°6.8: Módulo Elástico Estático de Ensayo del Concreto.....	76

Figura N°7.1: Curvas Granulométricas del Agregado Fino Patrón y Reciclado...	77
Figura N°7.2: Curvas Granulométricas del Agregado Grueso Patrón y Reciclado.....	78
Figura N°7.3: Curvas Granulométricas de los Agregados Globales y el Huso DIN 1045.....	79
Figura N°7.4: Curvas Granulométrica de los Agregados Globales y el Huso NTP 400.037.....	80
Figura N°7.5: Comparación del Módulo de Finura de los Agregados Fino y Grueso.....	81
Figura N°7.6: Comparación del Módulo de Finura de los Agregados Globales...	82
Figura N°7.7: Comparación de la Superficie Específica de los Agregados.....	82
Figura N°7.8: Comparación del Peso Unitario Suelto de los Agregados.....	83
Figura N°7.9: Comparación del Peso Unitario Compactado de los Agregados...	84
Figura N°7.10: Comparación del Peso Específico de los Agregados.....	84
Figura N°7.11: Comparación de la Absorción de los Agregados.....	85
Figura N°7.12: Comparación del Material Fino que Pasa la Malla N°200 del Agregado Fino.....	86
Figura N°7.13: Comparación del Asentamiento del Concreto en Estado Fresco	86
Figura N°7.14: Comparación del Peso Unitario Volumétrico del Concreto en Estado Fresco.....	87
Figura N°7.15: Comparación de la Fluidéz del Concreto en Estado Fresco.....	88
Figura N°7.16: Comparación del Tiempo de Fragua del Concreto en Estado Fresco.....	89
Figura N°7.17: Comparación de la Exudación del Concreto en Estado Fresco ..	89
Figura N°7.18: Comparación de la Resistencia a la Compresión Axial Relación 1:3.....	90
Figura N°7.19: Comparación de la Resistencia a la Compresión Axial Relación 1:4.....	91
Figura N°7.20: Comparación de la Resistencia a la Compresión Axial Relación 1:5.....	92
Figura N°7.21: Comparación de la Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral.....	92
Figura N°7.22: Comparación de la Absorción del Concreto en Estado Endurecido.....	93
Figura N°7.23: Comparación del Módulo Elástico Estático en el Concreto.....	94

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

SÍMBOLO:

N°:	Número.
”:	Pulgada.
%:	Porcentaje.
+/-:	Más o menos.
°C:	Grados centígrados.

SIGLA:

a/c	Relación agua cemento.
Abs.	Absorción.
ASOCEM	Asociación de Productores de Cemento.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
C:A	Relación en peso de cemento y agregado.
CC	Concreto combinado.
cm	Centímetro.
cm/cm	Centímetro por centímetro.
cm ²	Centímetro al cuadrado.
CP	Concreto Patrón.
CV	Coefficiente de Variación.
Di:	Diámetro inicial.
Dp	Diámetro promedio.
D.S.	Desviación Estándar.
e1	Deformación unitaria producida por el esfuerzo S1.
e2	Deformación unitaria producida por el esfuerzo S2.
f _c	Resistencia a la compresión.
f _{cp}	Resistencia a la compresión promedio.
g	Gramo.
g/m ³	Gramo por centímetro cúbico.
hr	Hora.
in	Pulgada.
kg	Kilogramos.

kg/cm ²	Kilogramos por centímetro cuadrado.
kg/cm ³	Kilogramos por centímetro cúbico.
lb	Libra.
LEM	Laboratorio N° 1 de Ensayos de Materiales.
Li	Longitud inicial.
Lp	Longitud final.
Lts	Litros.
m ³	Metro cúbico.
min	Minutos.
ml	Mililitro.
mm	Milímetros.
MPa	Mega Pascal.
NTP	Norma Técnica Peruana.
P.E.	Peso Específico.
P.U.C.	Peso Unitario Compactado.
P.U.S.	Peso Unitario Suelto.
RCD	Residuos de Construcción y Demolición.
RNE	Reglamento Nacional de Edificaciones.
S1	Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria 5x10E-5
S2	Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última.
S.E.	Superficie Específica.
s	Segundo.
SSS	Saturada Superficialmente Seca
t	Tiempo.
T.F.I.	Tiempo de Fragua Inicial.
T.F.F.	Tiempo de Fragua Final.
Und.	Unidad.
Vol.	Volumen.
W	Peso.

INTRODUCCIÓN

El reciclaje de los residuos de construcción y demolición (RCD) o los llamados escombros, alcanza niveles altos en Europa y parte de Latinoamérica; debido principalmente normativa medioambiental de la gestión de los residuos de este tipo, que se viene implementando en estas épocas.

Localmente, en estos últimos años el sector construcción viene creciendo en las principales ciudades como Lima, Arequipa, Trujillo, entre otras y con ello también los residuos que se generan, los cuales llegan a ser depositados en vertederos formales o informales, en riveras de ríos o playas alejadas de las urbes, originando un impacto ambiental negativo.

Por lo tanto, el reciclado de materiales de construcción se hace muy necesario, debido que es parte del desarrollo sostenible de una ciudad y, por ende, es importante desarrollar investigaciones acerca de las propiedades que ofrece este tipo de material sometido a diferentes condiciones, además de dar a conocer opciones factibles para el reciclado de escombros.

Esta tesis presenta una forma de aprovechar los residuos de construcción y demolición de origen pétreo; reciclándolos y utilizándolos como agregados. Para ello desarrolla los siguientes capítulos: el capítulo I, brinda un alcance acerca de las nociones teóricas de los componentes y elaboración del concreto. El capítulo II expone el desarrollo y estado actual del reciclado de los materiales de construcción y demolición. El capítulo III da a conocer las propiedades físicas obtenidas de los agregados natural y reciclado utilizados. El capítulo IV presenta la metodología utilizada para el diseño de mezcla de la investigación. En el capítulo V se determina los resultados de los ensayos efectuados al concreto en estado fresco. En el capítulo VI se determina los resultados de los ensayos efectuados al concreto en estado endurecido. El capítulo VII analiza y compara los resultados de los ensayos a agregados patrón y reciclado; como concretos patrón y combinado en estado fresco y endurecido respectivamente. Además, se presentan las conclusiones alcanzadas y recomendaciones pertinentes del tema.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTO TEÓRICO

El concreto es el material indispensable en gran parte del desarrollo de la ingeniería civil en el Perú, el conocimiento de sus orígenes, componentes, diseños de mezcla y propiedades es imprescindible para su correcta aplicación en las obras civiles; así como también para su investigación.

1.1 EL CONCRETO

Desde sus orígenes con el comienzo de la civilización hasta la actualidad el concreto ha evolucionado significativamente, definiéndose como la mezcla de agregados, aglomerante y agua, sin embargo, hoy en día el uso de aditivos y adiciones en esta mezcla es muy común.

El concreto en estado fresco presenta propiedades que dependen del tipo de componentes y la dosificación de los mismos, que ayudarán o restringirán su colocación en encofrados o moldes.

En estado endurecido, el concreto tiene propiedades de un sólido compacto que resiste esfuerzos, principalmente el esfuerzo a compresión. En conjunto el acero de construcción y el concreto endurecido forman el concreto armado.

1.1.1 DEFINICIONES DEL CONCRETO

Hoy en día se tiene numerosas definiciones del concreto, a continuación, se enuncia las principales:

La Real Academia Española en su 23ª edición define que: “El concreto o hormigón un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade áridos (agregado), agua y aditivos específicos.”

El Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú define que: “El concreto es la mezcla constituida por cemento, agregados, agua y eventualmente por aditivos, en proporciones adecuadas para obtener las propiedades prefijadas.”

1.1.2 TIPOS DE CONCRETO

Para el mejor aprovechamiento de las propiedades del concreto es necesario conocer los tipos de concreto que existen y se desarrollan, se enuncian los principales:

- a) Concreto Simple: es el concreto que no tiene armadura de refuerzo.
- b) Concreto Ciclópeo: es el concreto simple que tiene embebido grandes piedras y no contiene armadura de refuerzo.
- c) Concreto Cascote: es el concreto constituido por agua, agregado fino, cascote de ladrillo y cemento.
- d) Concreto Ligero: es el concreto simple que tiene embebido grandes piedras y no contiene armadura.
- e) Concreto Premezclado: es el concreto que se dosifica en planta que puede ser mezclado en la misma o en camiones mezcladores y que es transportado a obra.¹⁷
- f) Concreto Armado: es el concreto simple que tiene armadura de refuerzo.

1.2 MATERIALES QUE CONFORMAN EL CONCRETO

El comportamiento de las propiedades del concreto dependerá estrictamente de los componentes por el cual está formado, tanto así en su estado fresco como endurecido. Por ello es necesario su estudio.

1.2.1 EL CEMENTO

El cemento portland resuelta de la pulverización del Clinker con ciertas adiciones. El clinker Portland es una combinación de cantidades requeridas de cal, que encontramos en las calizas, oxido de hierro, sílice y alúmina presentes en la arcilla, luego se pasa a la molienda y finalmente es sometida a aproximadamente a 1500°C, produciendo finalmente el Clinker gracias a las reacciones que se generan.

Los cementos hidráulicos son aquellos que tienen la propiedad de fraguar y endurecer en presencia del agua, porque reaccionan químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes.¹⁸

Según los diferentes porcentajes en el cual se mezclan los componentes del cemento como son los silicatos o aluminatos se obtiene diferentes tipos de cemento Portland además que existe cemento Portland con adiciones como el cemento puzolánico.

- a) Tipo I: es el cemento de uso general con finura de 280 m²/kg mínimo y un bajo contenido de álcalis.
- b) Tipo II: es el cemento elaborado para una moderada resistencia a sulfatos, y con un bajo calor de hidratación.
- c) Tipo III: es el cemento requerido para altas resistencias iniciales, posee alto calor de hidratación además que su módulo de finura es 325 m²/kg mínimo.
- d) Tipo IV: es el cemento requerido para un fraguado lento, evitando así dilataciones, posee bajo calor de hidratación.
- e) Tipo V: es el cemento con bajo contenido de C₃A para evitar el ataque de sulfatos.

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizó Cemento Sol Portland Tipo I, el cual cumple con la Norma Técnica Peruana NTP 339.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150 y cuyas características se presentan en el cuadro N°1.1.

1.2.2 EL AGUA

El agua para el concreto va a actuar en dos etapas principalmente, durante la mezcla e hidratación y en el proceso de curado.

Las características del agua para la mezcla básicamente recomendable son que no debe contener más de 2000 ppm de sólidos disueltos, procurar que sea agua potabilizada y con un PH neutro o entre 6 a 8.

La cantidad de agua para el concreto va a ser lo suficiente como para reaccionar con el cemento formando una pasta, también para que actúe como lubricante, así mejorar la trabajabilidad requerida del concreto y para procurar espacios vacíos para que los productos de la hidratación puedan desarrollarse.

Cuadro N°1.1. Requisitos Químicos y Físicos del Cemento Sol Portland Tipo I

REQUISITOS QUIMICOS Y FISICOS ESTÁNDAR		
QUIMICOS	Valores	Límites Especificados
DIOXIDO DE SILICE (SiO ₂) %	19.06	---
OXIDO DE ALUMINIO (Al ₂ O ₃) %	6.00	---
OXIDO DE FIERRO (Fe ₂ O ₃) %	3.24	---
OXIDO DE CALCIO (CaO) %	61.93	---
OXIDO DE MAGNESIO (MgO) %	3.06	6.0 máx.
TRIOXIDO DE AZUFRE (SO ₃) %	3.01	3.5 máx.
OXIDO DE POTASIO (K ₂ O) %	0.84	---
OXIDO DE SODIO (Na ₂ O) %	0.31	---
PERDIDA POR IGNICION (P.I.) %	2.04	3.5 máx.
RESIDUO INSOLUBLE (%)	0.95	1.5 máx.
CAL LIBRE (CaO (f)) (%)	0.59	---
CO ₂ (%)	1.21	---
CALIZA (%)	3.5	5.0 máx.
CaCO ₃ en Caliza	72	70 mín
COMPOSICION FASES POTENCIALES (%)		
C3S	52	---
C2S	14	---
C3A	10	---
C4AF	10	---
FISICOS		
SUPERFICIE ESPECIFICA BLAINE (m ² /kg)	320	260 mín
CONTENIDO DE AIRE (%)	7.74	12 máx.
EXPANSIÓN AUTOCLAVE (%)	0.14	0.80 máx.
FRAGUADO VICAT INICIAL (minutos)	132	45 mín
FRAGUADO VICAT FINAL (minutos)	306	375 máx.
RESISTENCIA A LA COMPRESION		
3 DIAS MPa	29.1	12.0 mín.
7 DIAS MPa	35.9	19.0 mín.
REQUISITOS QUIMICOS Y FISICOS OPCIONALES		
REQUISITOS QUIMICOS		
ALCALI EQUIVALENTE	0.86	---
REQUISITOS FISICOS		
FALSO FRAGUADO	89	50 mín
RESISTENCIA A LA COMPRESION		
28 DIAS MPa (*)	42.8	28.0 mín.
CALOR DE HIDRATACION		
7 DIAS (cal/g)	76	---
28 DIAS (cal/g)	88	---

Fuente: UNACEM, Informe de Calidad, Lima 2018

El agua para el curado del concreto debe cumplir las mismas características que para la mezcla, aunque al estar en contacto con el concreto por poco tiempo las exigencias pueden ser menores.

Los requisitos mínimos para la calidad del agua para concreto están en la Norma Técnica Peruana NTP 339.088 representada en el Cuadro N°1.2.

Cuadro N°1.2. Límites Permisibles Máximo de la Calidad del Agua para la Mezcla y Curado

ID.	DESCRIPCIÓN	LÍMITE PERMISIBLE (MÁXIMO)
1	Sólidos en suspensión	5000 p.p.m
2	Materia orgánica	3 p.p.m
3	Alcalinidad (NaHCO ₃)	1000 p.p.m
4	Sulfatos (Ión SO ₄)	600 p.p.m
5	Cloruros (Ión Cl ⁻)	1000 p.p.m
6	PH	5 a 8

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 339.088

1.2.3 LOS AGREGADOS

Los agregados para concreto son materiales inertes naturales o artificiales que actúan como relleno dentro de la mezcla, además de controlar los cambios volumétricos de la misma. Poseen resistencia propia, sin embargo, deben cumplir ciertos requerimientos mínimos como deben estar limpios de impurezas orgánicas y poseer preferentemente una forma de bordes angulares para asegurar mejores resistencias y durabilidad del concreto.

El agregado se puede clasificar según su procedencia:

- **Agregado Natural:** son procedentes de depósitos de origen geológico como aluviales, eólicos, coluviales, eluviales y playeros; estos son extraídos, lavados y clasificados para su uso en la producción de concreto.
- **Agregado Artificial:** provienen de procesos industriales, por ello existen diversos tipos como arcilla expandida, cenizas volantes, escorias de alto horno, estériles mineros entre otros.

- **Agregado Triturado:** son aquellos agregados que pasan por un proceso previo de trituración debido a que provienen de rocas de mayor tamaño requerido o de la voladura de rocas inmensas.
- **Agregado Reciclado:** son agregados que derivan del reciclaje de los residuos de construcción y demolición

También se pueden clasificar según su gradación:

Agregado Fino: es todo aquel que pasa la malla normalizada de 3/8" y cumple con los límites establecidos en las normas. La Norma Técnica Peruana NTP 400.037 indica estos límites en base a los porcentajes que pasan del agregado según el Cuadro N°1.3.

Cuadro N°1.3. Límites 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 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	5 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037

Agregado Grueso: se define como aquel agregado retenido en la malla normalizada N°4 y que cumple con los límites establecidos en la norma. La Norma Técnica Peruana indica estos límites en base al porcentaje que pasa y el Tamaño Máximo Nominal de la muestra según el Cuadro N°1.4.

El Tamaño Máximo Nominal la abertura de la malla del primer retenido. Es un factor muy útil pues este no deberá ser mayor que un quinto de la distancia menor entre caras de un encofrado aproximadamente.

Agregado Global: se define como como la mezcla entre el agregado grueso y agregado fino. La Norma Técnica Peruana indica límites en base al porcentaje que pasa y el Tamaño Máximo Nominal de la muestra según el Cuadro N°1.5.

Cuadro N°1.4. Límites Granulométrico del Agregado Grueso

N° ASTM	Tamaño Nominal	% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS												
		100mm	90mm	75mm	63mm	50mm	37.5mm	25mm	19mm	12.5mm	9.5mm	4.75mm	2.36mm	1.18mm
		(4")	(3 1/2")	(3")	(2 1/2")	(2")	(1 1/2")	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8")	(N°4)	(N°8)	(N°16)
1	3 1/2" a 1 1/2"	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
2	2 1/2" a 1 1/2"			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
3	2" a 1"				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
357	2" a N°4				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
4	1 1/2" a 3/4"					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5			
467	1 1/2" a N°4					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
5	1" a 1/2"						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
56	1" a 3/8"						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5		
57	1" a N°4						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
6	3/4" a 3/8"							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
67	3/4" a N°4							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
7	1/2" a N°4								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
8	3/8" a N°8									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037

Cuadro N°1.5. Límites Granulométrico del Agregado Global

Tamiz	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados		
	Tamaño máximo nominal		
	37.5 mm (1 1/2 pulg)	19.0 mm (3/4 pulg)	9.5 mm (3/8 pulg)
50 mm (2 pulg)	100		
37.5 mm (1 1/2 pulg)	95 a 100	100	
19.0 mm (3/4 pulg)	45 a 80	95 a 100	
12.5 mm (1/2 pulg)			100
9.5 mm (3/8 pulg)			95 a 100
4.75 mm (No. 4)	25 a 50	35 a 55	30 a 65
2.36 mm (No. 8)			20 a 50
1.18 mm (No. 16)			15 a 40
600 μm (No. 30)	8 a 30	10 a 35	10 a 30
300 μm (No. 50)			5 a 15
150 μm (No. 100)	0 a 8*	0 a 8*	0 a 8*

*Incrementar 10 % para finos de roca triturada

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037

En los agregados las fundamentales propiedades físicas estudiadas son:

- **Granulometría:** viene a ser la disposición según el tamaño de partículas del agregado, se recomienda una distribución continua. Normado por la NTP 400.012, donde indica los tamices para la gradación y estos son: 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", ¼", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100.
- **Módulo de Finura:** es un valor numérico que indica la finura del agregado, a menor valor, más fino es el agregado en general y viceversa. Normado por la NTP 400.012 y se determina por:

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

- **Superficie Específica:** es el valor numérico que se obtiene entre la relación de la superficie y densidad del agregado; a mayor valor, más superficie tendrá que cubrir la pasta de cemento. Normado por la NTP 400.012.
- **Peso Unitario Suelto:** es el peso de las partículas del agregado en un volumen específico e incluye el vacío entre partículas. Esta descrito en la NTP 400.017 y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$PUS = \frac{\text{Peso Suelto del Agregado}}{\text{Volumen Unitario}}$$

- **Peso Unitario Compactado:** es el peso de las partículas que conforman el agregado con una compactación controlada en un volumen específico. El ensayo está descrito por la NTP 400.017 y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$PUC = \frac{\text{Peso Compactado del Agregado}}{\text{Volumen Unitario}}$$

- **Peso Específico de Masa:** es la relación entre el peso de las partículas del agregado y el volumen propio sin vacíos. Descrito el ensayo en la NTP 400.022.
- **Porcentaje de Absorción:** es la propiedad que poseen los agregados para colmar los vacíos de su grano con agua. En la NTP 400.022 para agregado fino y NTP 400.021 para agregado grueso, se indican el procedimiento de ensayo respectivamente.
- **Contenido de Humedad:** es propiedad que determina la cantidad de agua retenida por las partículas del agregado en un específico momento. Esta normado por la NTP 339.185 y se determina de la siguiente manera:

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

- **Material más Fino que Pasa la Malla N°200:** es la propiedad que determina el porcentaje de material más fino que pasa por la malla N°200. Esta normado por la NTP 400.018 y se determina según:

$$\%Que Pasa Malla N°200 = \frac{\text{Peso Seco} - \text{Peso Despues de Lavado}}{\text{Peso Seco}} \times 100$$

- **Desgaste por Abrasión e Impacto:** es la propiedad que determina el porcentaje de desgaste de las partículas del agregado. Determinado en la NTP 400.019 y se expresa según la siguiente relación:

$$\%Desgaste = \frac{\text{Peso Original} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Final}} \times 100$$

1.3 PROPIEDADES ESCENCIALES DEL CONCRETO

El concreto presenta diversas propiedades que definen su desempeño, por lo que para un mejor estudio se dividen en dos etapas principalmente.

1.3.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

El conocimiento de las propiedades del concreto en estado fresco permite un mejor manejo y colocado, por ende, enriquece la calidad del mismo.

A. **Peso Unitario:** es el peso del concreto fresco con un grado de compactación por unidad de volumen, el procedimiento de ensayo se encuentra en la NTP 339.046.

$$PU = \frac{\text{Peso Compactado del Concreto}}{\text{Volumen Unitario}}$$

B. **Trabajabilidad:** es la capacidad para vencer la fricción entre los componentes del concreto durante el mezclado, transporte y colocado. Una de las características de la trabajabilidad como es la consistencia se controla a través del ensayo de asentamiento NTP 339.035. Además, para la medición del grado del concreto a comportarse como un fluido se realiza el ensayo de fluidez en una mesa de sacudidas según la norma NTP 339.046.

C. **Exudación:** es la propiedad del concreto por el cual el agua de la mezcla tiende a subir hacia la superficie del concreto recién colocado, dependiendo de las características de los materiales y la dosificación la exudación de dará en mayor o menor grado, así como variará su velocidad. El ensayo que mide la exudación esta descrito en la NTP 339.077.

D. **Tiempo de Fragua:** durante el proceso de fraguado el concreto pasa de un estado plástico al estado endurecido, este lapso de tiempo es importante debido al requerimiento de las personas que trabajan con este material. El proceso de ensayo del tiempo de fragua esta descrito en la norma NTP 339.082.

E. **Contenido de Aire:** es el volumen de aire contenido dentro la mezcla de concreto. El procedimiento del ensayo se encuentra en la norma NTP 339.080.

1.3.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

A. **Resistencia a la Compresión Axial:** es la propiedad que presenta el concreto endurecido para soportar esfuerzos de compresión axial. Esta capacidad mecánica es la más difundida del concreto para el diseño de estructuras. El procedimiento de ensayo está regulado por la norma NTP 339.034.

B. **Resistencia a la Compresión Diametral:** es la propiedad que presenta el concreto endurecido para soportar esfuerzos de tracción, la compresión diametral es un método indirecto de verificar la tracción. Este procedimiento de ensayo está descrito en la norma NTP 339.084.

C. **Absorción:** es la capacidad del concreto endurecido de ocupar los poros abiertos de su estructura con agua. El procedimiento de ensayo está normado en la NTP 339.187.

D. **Módulo Elástico Estático:** es la relación entre esfuerzo y deformación, también conocido como módulo de Young. El procedimiento de ensayo indica someter a una probeta de concreto con carga axial a una velocidad controlada que a su vez genera deformaciones.

Como resultado se obtiene la curva de esfuerzo-deformación, dentro del 40% inicial de esfuerzo se va encontrar una zona directamente proporcional con las deformaciones.

Para calcular del módulo de elasticidad, se tiene los siguientes puntos:

- Punto de la curva esfuerzo-deformación para una deformación unitaria de 0.5×10^{-4} y el esfuerzo para ese punto.
- Punto de la curva esfuerzo-deformación para el 40% de la resistencia a la compresión y la deformación que le corresponde.

$$M. E. E. = \frac{S2 - S1}{(e2 - 0.5) * 10E - 4}$$

Donde:

S1 Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria $5 \times 10E-5$ (kg/m²)

S2 Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última. (kg/m²)

e2 Deformación unitaria producida por el esfuerzo S2.

Según la norma ACI 318, el módulo elástico del concreto puede hallarse teóricamente mediante la siguiente fórmula.

$$Ec = 4700x\sqrt{f'c}$$

Donde:

f'c = Resistencia a la compresión del concreto (MPa)

CAPÍTULO II. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

2.1 RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

Son todos aquellos materiales descartados que se generan, debido a los diferentes procesos constructivos o de demolición dentro de la ejecución de una obra civil.

También se define los RCD como aquellos que se generan durante la ejecución de los trabajos de construcción de una nueva planta, reparación o acondicionamiento de una obra. En las obras civiles de construcción.⁸

El tratamiento de los RCD consiste principalmente en almacenar, recolectar, transportar a vertederos controlados (escombreras) o plantas de transferencia. Los vertederos controlados son aquellos lugares idóneos que cuentan con los permisos medioambientales requeridos, sin embargo, también existen vertederos incontrolados que generalmente son riveras de ríos, playas, lugares dentro de la urbe entre otros. La disposición de los RCD en los vertederos es el último destino de los RCD de la mayoría de los países de Latinoamérica. Por otro lado, están las plantas de tratamiento o transferencia que son lugares de acopio y selección de los materiales que conforman los RCD, mediante esta selección se optará por el proceso que debe continuar como la reutilización, el reciclado o la eliminación; este tipo de tratamiento de los RCD es un tema de gran importancia a nivel mundial, es así que en los principales países europeos existe una normativa rígida y una educación medioambiental que han encaminado por esta vía la gestión de residuos de la construcción.

2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS RCD

Los residuos de construcción y demolición que se producen se pueden agrupar según su origen o fuente de generación, según su naturaleza, según su grado de limpieza y su capacidad de reaprovechamiento.

2.1.1.1 Según su Origen¹³

- a) Materiales de limpieza de terrenos: tocones, ramas, árboles.
- b) Materiales de excavación: el material de excavación es normalmente un residuo inerte, natural o artificial. En algunos casos se presenta con contaminantes al no responder a un suelo virgen. Son, en general, de naturaleza pétreo (tierra, rocas de excavación, materiales granulares).
- c) Residuos de obras viales: compuestos por trozos de losas de hormigón de la construcción de caminos, residuos de asfalto y mezclas del pavimento asfáltico, puentes, renovación de materiales.
- d) Residuos resultantes de construcción nueva, de ampliación o reparación (obra menor), son los que se originan en el proceso de ejecución material de los trabajos de construcción, tanto nueva como de reparación o ampliación. Su origen es diverso, los que provienen de la propia acción de construir y los que provienen de embalajes de los productos que llegan a la obra. Sus características y cantidad son variadas y dependen de la fase del trabajo y del tipo de obra (residencial, no-residencial, comercial, industrial, institucional).

2.1.1.2 Según su Naturaleza ¹³

- a) Residuos inertes: son los que no presentan ningún riesgo de polución del agua, del suelo y el aire. Así los define el Real Decreto Español 1481/2001: “aquellos residuos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. Los residuos inertes no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente ni de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana”. En definitiva, son plenamente compatibles con el medio ambiente.
- b) Residuos no peligrosos o no especiales: son los que pueden ser almacenados o tratados en las mismas condiciones que los residuos domésticos. La característica de no-peligrosos es la que define sus posibilidades de reciclaje; de hecho, se reciclan en instalaciones industriales juntamente con otros residuos.

c) Residuos especiales: son los que tienen características que los hacen potencialmente peligrosos, tales como sustancias inflamables, tóxicas, corrosivas, irritantes, cancerígenas.

2.1.1.3 Según su Grado de Limpieza⁵

a) Residuos inertes limpios: son RCD seleccionados en origen o procedentes de tipologías de obras que, por su naturaleza, no se encuentran mezclados con elementos contaminantes incompatibles. Dentro del grupo de los residuos inertes limpios se encuentran, por ejemplo, los materiales procedentes del levantado de soleras, cimentaciones, vías de comunicación, estructuras, zanjas en ciudad, fábricas de ladrillos y hormigón, elementos prefabricados, sobrantes de ejecución o fabricación, etc.

b) Residuos inertes mezclados: son RCD parcialmente seleccionados en origen o procedentes de obras de tipologías favorables para el reciclado, que contienen en parte productos mixtos de la construcción.

c) Residuos de todo tipo: son RCD sin seleccionar procedentes de todas las tipologías de obra, que son los contenedores habituales, sin selección de origen. En ellos se mezclan los elementos de naturaleza pétreo con toda clase de productos mixtos de la construcción, como maderas, plásticos, metales, cartón papel, vidrio, cableados eléctricos, productos textiles, aislantes, etc., sin contar con que, habitualmente, se suelen contener residuos catalogados como tóxicos y peligrosos (pinturas, barnices, disolventes, baterías, etc.), además de voluminosos como muebles de cocina, puertas, frigoríficos, mobiliario, colchones, etc., e incluso bolsas de basura con materia orgánica.

2.1.1.4 Según su Capacidad de Reaprovechamiento

En el Cuadro N°2.1 nos muestra la clasificación de los residuos de construcción y demolición según su capacidad de reaprovechamiento.

Cuadro N°2.1. Clasificación Según su Capacidad de Reaprovechamiento.

CATEGORÍA	GRUPO	CLASE	COMPONENTES
RCD Aprovechables	Residuos Pétreos	Residuos Pétreos	Concreto, cerámicos, ladrillos, arenas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosín, mortero y materiales inertes que no sobrepasen el tamiz #200 de granulometría.
		Residuos Finos no expansivos	Arcillas (caolín), limo y residuos inertes, poco o no plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz #200 de granulometría.
RCD Aprovechables	Residuos Comunes Inertes de Material Fino	Residuos Finos Expansivos	Arcillas (montmorillonitas) y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz #200 de granulometría
		Residuos Comunes No Inertes	Residuos no Pétreos
	Residuos Metálicos	Residuos de Carácter Metálico	Acero, hierro, cobre, aluminio, estaño y zinc.
	Residuos Orgánicos	Residuos de Pedones	Residuos de tierra negra.
		Residuos de Céspedes	Residuos vegetales y otras especies bióticas.
	RCD No Aprovechables	Residuos Contaminantes	Residuos Peligrosos
Residuos Especiales			Poliestereno-Icopor, drywall, lodos residuales de compuestos.
Residuos Contaminados			Materiales pertenecientes a los grupos anteriores que se encuentren contaminados con residuos peligrosos especiales.

Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2014)

2.1.2 COMPOSICIÓN DE LOS RCD

La composición de los RCD, así como la cantidad de materiales dependen de varios factores o parámetros como son: el tipo de estructura (residencial, industrial, vías, comercio, puentes, diques, canales entre otros), el tamaño de la estructura (edificios de gran altura, casas de plantas bajas, naves industriales de gran área, canales de importante longitud, etc.), la ubicación geográfica (urbana o rural, internacional, nacional, capital o provincial), el tipo de actividad generadora (construcción, renovación, demolición entre otros) y el tipo de construcción (tradicional in situ o prefabricada).

El desarrollo económico también es un factor que determina la composición de los RCD, como consecuencia los países industrializados poseen una caracterización de sus residuos debido a las políticas medioambientales que favorecen la reutilización y reciclaje de los mismos; no obstante, en países en vías de desarrollo como son los latinoamericanos, el tratamiento de los residuos se basa principalmente en los residuos sólidos urbanos, dejando para la eliminación directa en vertederos los RCD.

En el cuadro N°2.2 se muestra el Catálogo Europeo de Residuos CER de la Comunidad Económica Europea, correspondiente al capítulo 17 que menciona los Residuos de Construcción de y Demolición (incluida la tierra excavada de zonas contaminadas).

A continuación, se muestran unos ejemplos de la composición de RCD de países europeos, como también de otras partes del mundo incluyendo Latinoamérica y Perú.

Cuadro N°2.2. Clasificación de los RCD según la Comunidad Económica Europea

CÓDIGO CER	DESCRIPCIÓN
17 01	Hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos
17 01 01	Hormigón
17 01 01	Ladrillos
17 01 03	Tejas y materiales cerámicos
17 01 06*	Mezclas o fracciones separadas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos que contienen sustancias peligrosas
17 01 07	Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos, distintas de las especificadas en el código 17 01 06
17 02	Madera, vidrio y plástico
17 02 01	Madera
17 02 02	Vidrio
17 02 03	Plástico
17 02 04*	Vidrio, plástico y madera que contienen sustancias peligrosas o están contaminadas por ellas
17 03	Mezclas bituminosas, alquitrán de hulla y otros productos alquitranados
17 03 01*	Mezclas bituminosas que contienen alquitrán de hulla
17 03 02	Mezclas bituminosas distintas de las especificadas en código 17 03 01
17 03 03	Alquitrán de hulla y productos alquitranados
17 04	Metales (incluidas aleaciones)
17 04 01	Cobre, bronce, latón
17 04 02	Aluminio
17 04 03	Plomo
17 04 04	Zinc
17 04 05	Hierro y acero
17 04 06	Estaño
17 04 07	Metales mezclados
17 04 09*	Residuos metálicos contaminados con sustancias peligrosas
17 04 10*	Cables que contienen hidrocarburos, alquitrán de hulla y otras sustancias peligrosas
17 04 11	Cables distintos de los especificados en el código 17 04 10
17 05	Tierra (incluida la excavada de zonas contaminadas), piedras y lodos de drenaje
17 05 03*	Tierra y piedras que contienen sustancias peligrosas
17 05 04	Tierra y piedras distintas de las especificadas en el código 17 05 03
17 05 05*	Lodos de drenaje que contienen sustancias peligrosas
17 05 06	Lodos de drenaje distintos de los especificados en el código 17 05 05
17 05 07*	Balasto de vías férreas que contienen sustancias peligrosas
17 05 08	Balasto de vías férreas distinto del especificado en el código 17 05 07
17 06	Materiales de aislamiento y materiales de construcción que contienen amianto
17 06 01*	Materiales de aislamiento que contienen amianto
17 06 03*	Otros materiales de aislamientos que contienen Zn o contienen sustancias peligrosas
17 06 04	Materiales de aislamiento distintos de los especificados en los códigos 17 06 01 y 17 06 03
17 06 05*	Materiales de construcción que contienen amianto
17 08	Materiales de construcción a base de yeso
17 08 01*	Materiales de construcción a base de yeso contaminados con sustancias peligrosas
17 08 02	Materiales de construcción a base de yeso distintos de los especificados en el código 17 08 01
17 09	Otros residuos de construcción y demolición
17 09 01*	Residuos de construcción y demolición que contienen mercurio
17 09 02*	Residuos de Construcción y demolición que contienen PCB (por ejemplo, sellantes que contienen PCB, revestimientos de suelo a base de resinas que contienen PCB, acristalamientos dobles que contienen PCB, condensadores que contienen PCB)
17 09 03*	Otros residuos de construcción y demolición (incluidos los residuos mezclados) que contienen sustancias peligrosas
17 09 04	Residuos mezclados de construcción y demolición distintos de los especificados en los códigos 17 09 01, 17 09 02 y 17 09 03

Fuente: Comunidad Económica Europea

En Alemania la composición de los RCD está dado principalmente por los escombros de demolición siendo este el de mayor porcentaje sin contar los generados por la excavación. El cuadro N°2.3 muestra la composición de los principales RCD de Alemania del año 2004 y la cantidad reciclada.

Cuadro N°2.3. Composición y reciclado de los RCD en Alemania

TIPOS DE RESIDUOS	GENERACIÓN TOTAL DE RCD		CANTIDAD DE RESIDUOS RECICLADOS
	Millones de Toneladas	%	Millones de Toneladas
Residuos de demolición	50.5	25.2%	31.1
Escarificación de Caminos	19.7	9.8%	18.4
Residuos de la Construcción	1.9	0.9%	0.1
Cemento	0.3	0.2%	-
Total (sin excavación)	72.4	36.1%	49.6
Residuos de Excavación	128.3	63.9%	9.1
Total	200.7	100%	58.7

Fuente: Gestión de Residuos en Alemania, Sunke, N.; Schultmann, F. (2008)

La composición de los RCD en Noruega está dada en mayor proporción por concreto y ladrillos, en las actividades de construcción, renovación y demolición; el cuadro N°2.4 muestra la composición de los RCD del país nórdico en el año 2004.

Cuadro N°2.4. Composición de los RCD en Noruega

MATERIAL	CONSTRUCCIÓN		RENOVACIÓN		DEMOLICIÓN	
	PEQUEÑA	GRANDE	PEQUEÑA	GRANDE	PEQUEÑA	GRANDE
	%					
Asbestos	0.00	0.00	0.56	0.83	0.37	0.19
Materiales Peligrosos	0.24	0.23	0.06	0.05	0.07	0.04
Concreto y Ladrillos	22.14	62.11	45.15	50.64	68.61	91.77
Yeso	10.35	4.48	6.59	4.06	0.59	0.00
Vidrio	0.82	0.39	0.32	0.48	0.45	0.04
Tecopor	4.09	0.68	0.69	0.23	0.29	0.00
Metales	0.37	1.56	0.42	6.75	0.77	0.70
Papeles y Plásticos	9.95	1.49	0.79	1.13	0.16	0.03
Madera	19.35	8.94	42.41	13.40	18.42	4.40
Material Desconocido	32.70	20.12	3.02	22.42	10.27	2.83

Fuente: Proyección de residuos de construcción y demolición en Noruega, H. Bergsdal (2007)

La figura N°2.1 muestra la composición de RCD del país asiático de India, en el cual destaca por su mayor porcentaje los restos de concreto y de excavaciones (tierra, arena y grava) con un porcentaje de 25% y 35% respectivamente.

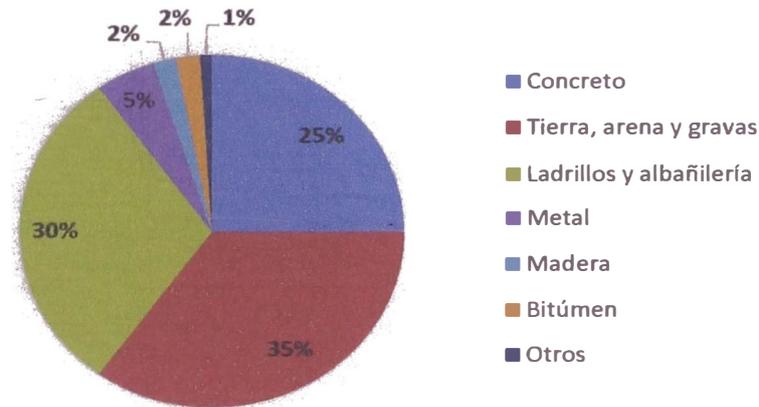


Figura N°2.1: Composición de los RCD en India

Fuente: Utilización de residuos de la industria de la construcción - TIFAC. (2001).

La composición de RCD de la ciudad de Teherán (Irán) se presenta en la figura N°2.2, en el cual los restos de la mezcla de areca y cemento son los de mayor porcentaje con un 30% seguido por los residuos de concreto con 19%.

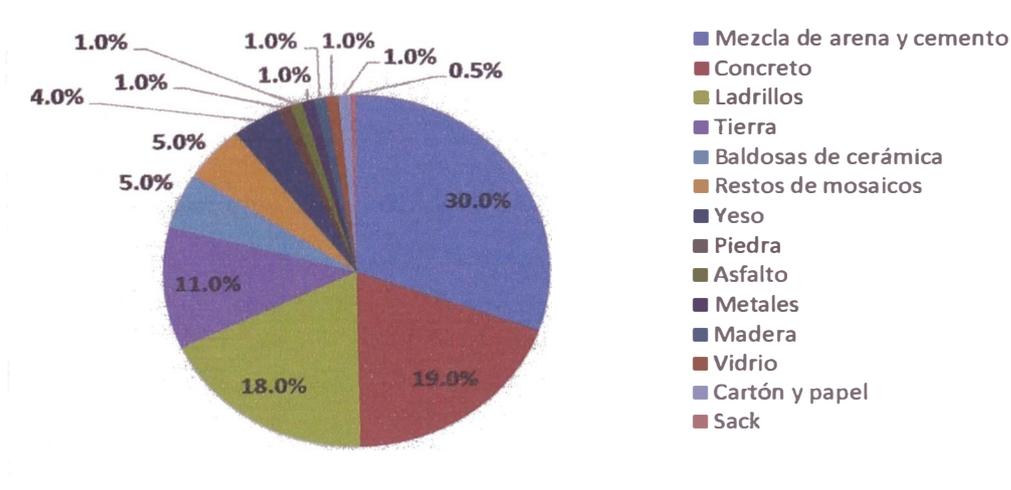


Figura N°2.2: Composición de los RCD en Teherán (Irán)

Fuente: Calidad y cantidad de residuos de construcción y demolición en Teherán – Asgari (2017).

En el Estado de México la composición de RCD se presenta en la figura N°2.3, en el cual se observa que los materiales de extracción abarcan un 44% y los restos de concreto un 24% respecto del total de escombros.

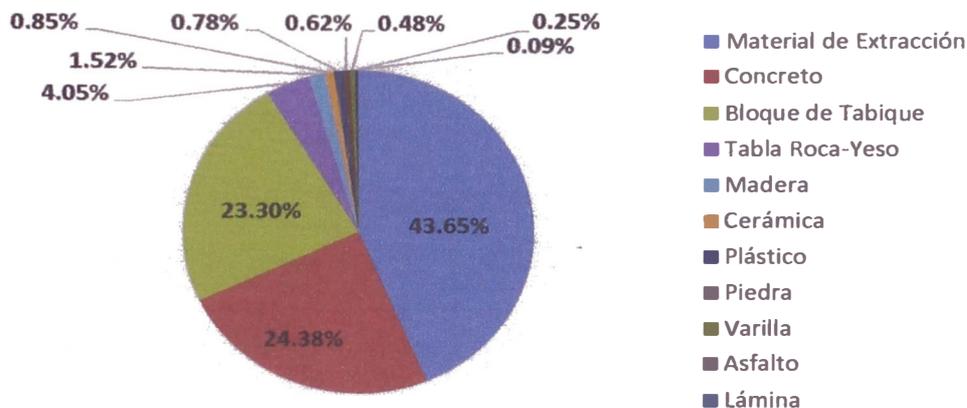


Figura N°2.3: Composición de los RCD en el Estado de México

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente – Estado de México (2007)

El cuadro N°2.5 presenta la composición de RCD de Chile, de acuerdo a la Comisión Nacional de Medio Ambiente de Chile en el 2010, donde destaca los restos de áridos y cemento con 79% y 11.20% del total de escombros.

Cuadro N°2.5. Composición de los RCD en Chile

MATERIAL	COMPOSICIÓN (%)	MATERIAL	COMPOSICIÓN (%)
Áridos	79.00	Cerámica muro	0.06
Cemento	11.20	Pizarreño	0.05
Ladrillo	5.36	Baldosa	0.05
Revestimientos plásticos	2.38	Tubo de fierro	0.04
Madera	0.45	Flexit	0.04
Yeso	0.39	Fierro PE	0.03
Fierro redondo	0.32	Plancha zinc	0.02
Cañerías de cobre	0.21	Azulejos	0.02
Masisa	0.18	Tubos PVC	0.01
Parquet	0.13	Fierro PL	0.01
Teja arcilla	0.13	Bloques	0.01
Cerámica pisos	0.10	Teja piz	0.01
Clavos y tornillos	0.08	Alfombra	0.01
Alambre	0.06	-	-

Fuente: CONAMA (2007)

En el caso del Perú, el país aún no se dispone de datos cuantitativos confiables respecto a la composición de los RCD; debido a que es manejado todavía como residuo sólido, en conjunto con los restos urbanos de las municipalidades.

En el cuadro N°2.6 se observa la composición de los residuos sólidos en el Perú, se aprecia que están incluidos los escombros e inertes que son parte de los RCD,

Cuadro N°2.6. Composición de los Residuos Sólidos en el Perú

TIPO DE RESIDUO	2010	2011	2012	2013
	%			
Materia Orgánica	50.19	48.90	50.90	50.43
Plástico	8.07	9.90	10.10	6.11
Residuos Peligrosos	7.88	6.60	8.50	7.44
Escombros e Inertes	5.74	4.70	7.10	8.07
Otros	3.30	1.10	4.90	4.41
Papel	3.95	5.20	4.80	3.96
Madera y restos de jardín	2.08	2.90	3.40	2.97
Cartón	3.77	3.80	3.30	3.48
Vidrio	3.10	3.90	3.20	3.05
Metales	2.59	3.20	2.80	2.64
Telas y Textiles	1.32	1.50	1.80	1.61
Cuero, Caucho y Jebe	1.12	0.90	1.60	1.25
Huesos	1.78	1.80	0.80	S/D
Tetrapack	0.73	0.50	0.60	0.78
Residuos de Aparatos Electrónicos	1.64	S/D	0.40	0.47

Fuente: Ministerio del Ambiente 2014

2.1.3 GESTIÓN DE LOS RCD

Es el conjunto de acciones para un eficiente manejo de los residuos desde el punto que se generan hasta su vertido final, para ello se define una jerarquía de procesos o prioridades por los cuales se pueda obtener el máximo reaprovechamiento de los RCD.

En la figura N°2.4 muestra la jerarquización planteada por la Agencia Europea del Medio Ambiente, el cual presenta en orden decreciente los procesos para la gestión de los RCD de prevenir, reutilizar, reciclar, valorizar y eliminar; los cuales serán detallados.

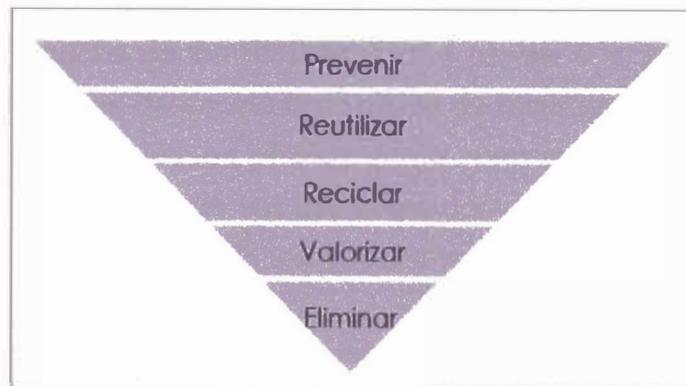


Figura N°2.4: Jerarquización de Procesos para la Gestión de los RCD

Fuente: Agencia Europea del Medio Ambiente 2009

a) PREVENIR

Son las acciones encaminadas a la generación mínima de desperdicios en el lugar de origen, está vinculadas al concepto de uso óptimo de los recursos en el proceso de construcción. Para alcanzar ello se aplican estrategias que permiten que el proceso de construcción sea eficiente, como son la metodología de Lean Construction que se enfoca en la reducción de desperdicios y el incremento de la productividad, también se tiene el Modelado de la Información de la Edificación BIM por sus siglas en inglés Building Information Modeling que permite tener control sobre todo el proyecto de construcción desde el diseño hasta la operación, permitiendo así el uso eficiente de recursos, disminuyendo así los posibles desperdicios, pues se dispone de información suficiente para la construcción.

b) REUTILIZAR

Es la actividad que permitirá el uso de los RCD con las mínimas transformaciones posibles, es decir, es la recuperación del material dándole la máxima utilidad, lo que permite que disminuya la cantidad de residuos.

Durante la construcción se tiene varios materiales o elementos que son reutilizables como son los encofrados de madera y metálicos, los envases, las varillas de acero, entre muchos otros.

c) RECICLAR

Es la actividad que mediante un proceso de transformación permite la recuperación de algunos de los RCD en forma parcial o total. La naturaleza de los materiales residuales determinará su grado de reciclaje, así como también su grado de limpieza. Los residuos pétreos como concreto, ladrillo y cerámico son altamente reciclables y pueden ser utilizados como material de relleno o como agregados reciclados, después de ser debidamente triturados y tamizados.

d) VALORAR

Implica valorizar energéticamente el residuo. El objetivo es eliminar la toxicidad del residuo y a la vez recuperar el contenido en él. No obstante, ello se deben controlar las emisiones tóxicas o contaminantes al aire de la combustión.¹³

2.1.3.1 Gestión de RCD en el Perú

En el Perú el tema de gestión de los RCD, no se encuentra muy difundido, por lo que la jerarquización del tratamiento de los residuos no se da adecuadamente por diversos factores principalmente por la informalidad en el sector; sin embargo, los residuos de las empresas que se encuentran dentro de la formalidad en la mayoría de los casos terminan en vertederos controlados o escombreras eludiendo los procesos de reutilización, reciclaje y valoración.

Sin embargo, es necesario difundir que existe en el Perú la empresa Cajas Ecológicas, cuyo modelo de negocio se encarga de la recolección, transporte, clasificación, reciclaje y disposición final de los RCD de las obras civiles en la ciudad, que además cuenta con los permisos ambientales necesarios.

La recolección de los RCD se lleva a cabo mediante cajas o tolvas de 8.5 metros cúbicos de capacidad, que son colocados al pie de obra, al ser totalmente llenadas son transportadas hacia una planta de transferencia donde se separa según tipo o capacidad de reaprovechamiento, para luego ser reutilizados o reciclados, dejando así una cantidad muchísimo menor para el vertido final.

Cabe resaltar también el trabajo de reciclaje que están haciendo con los residuos de concreto, que mediante un proceso de trituración generan agregados reciclados que después es usado en la construcción de pistas, veredas y lozas deportivas en coordinación con diferentes municipalidades.

En las figuras N°2.5, N°2.6, N°2.7 y N°2.8; se observa el proceso de tratamiento de los RCD, la recolección en obra, el transporte en un vehículo adecuado, la clasificación en la planta de transferencia y el reciclado de los residuos de concreto como material de relleno en vías.



Figura N°2.5 y N°2.6: Recolección y Transporte de los RCD en las Cajas Ecológicas.

Fuente: Página Web de Cajas Ecológicas.



Figura N°2.7 y N°2.8: Clasificación de los RCD y Reciclaje del concreto utilizado en vías.

Fuente: Página Web de Cajas Ecológicas.

2.1.3.2 Economía Circular

La economía circular es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad, y cuyo objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, y que se reduzca al mínimo la generación de residuos. Se trata de implementar una nueva economía, circular no lineal, basada en el principio de “cerrar el ciclo de vida” de los productos, los servicios, los residuos, los materiales.¹¹

La economía circular va a presentar las siguientes características fundamentales:

- La interrelación entre factores económicos y ambientales.
- Su objetivo es la eficiencia del uso de los recursos.
- Es generadora de empleo, pues abre un nicho de mercado en la gestión de residuos.
- Provoca que los residuos de unos sea los recursos de otros y propone que el producto sea diseñado para ser deconstruido.

La economía circular presenta los siguientes principios:

- La eco-concepción; valora los impactos ambientales desde del nacimiento del producto y a través del transcurso de su vida integrándolos.
- La ecología industrial y territorial considera la gestión en el más alto nivel de procesos y flujos de servicios y bienes.
- La economía de la funcionalidad; considera que es mejor el uso de un producto que la posesión, además refiere que es mejor un servicio a un bien
- El segundo uso; se busca satisfacer nuevas necesidades con los productos que ya retribuyeron un requerimiento inicial.

- La reutilización; reutilizar algunos residuos que aún pueden ayudar a fabricar otro producto.
- La reparación; restablece los productos fallados.
- El reciclaje; obtiene nuevos productos de los restos.
- La valorización; convierte en energía todo aquello que ya no es apto al reciclaje.

El reciclado de los residuos de construcción y demolición forman parte de este concepto como un principio fundamental, pues busca alternativas para su aprovechamiento el mayor tiempo posible y cerrar el ciclo de los recursos naturales como son la arena, la piedra, la arcilla y otros, además de los artificiales como el cemento, asfalto, aditivos, etc.

En la figura N°2.9 se muestran las fases de la economía circular que comienza con el eco diseño, siguiendo con la producción-reelaboración, la distribución, el consumo, la reparación - reutilización y el reciclado; además de que el vertido de residuos debe ser el mínimo posible.

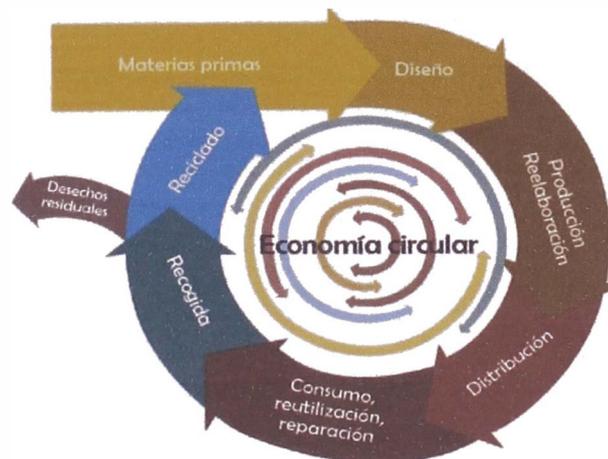


Figura N°2.9: La Economía Circular.

Fuente: La economía circular en la UE, un plan de acción para Europa.

2.2 RECICLADO DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

2.2.1 RECICLADO DE RCD

Es la actividad necesaria en la gestión de residuos dentro del sector construcción, que va a permitir un mejor aprovechamiento del material antes de su disposición final en el vertedero.

Gran parte de los residuos de construcción y demolición se reciclan por motivos económicos, pero el reciclaje de materiales como el hormigón, el vidrio, los paneles de yeso y las tejas de asfalto conlleva a beneficios más allá de los financieros; se traduce en una mayor creación de empleo, un uso reducido de materias primas y una disminución de la descarga en vertederos. Evitar la descarga de residuos en vertederos también apoya la protección del medio ambiente, un uso más inteligente de los recursos naturales, el ahorro energético, un descenso neto de las emisiones de gases de efecto invernadero y evita las excavaciones en (o la explotación de) las zonas rurales o forestales.¹⁰

En el cuadro N°2.7 se enuncia los principales tipos materiales de los RCD y algunas de las posibilidades de reciclaje que brinda para el mejor aprovechamiento de la materia prima.

Cuadro N°2.7. Posibilidades de Valorización de los RCD para su Reciclado

RESIDUO	VALORIZACIÓN
Ladrillos	Ladrillos pueden ser triturados y utilizados como agregado.
Madera	Molido y utilizado para compost.
	Combustible.
	Nuevos proyectos de construcción.
	Conglomerado.
Hormigón (Concreto)	Triturado usado como agregado.
	Para base de caminos.
	Para material de relleno.
Asfalto	Para producción de asfalto nuevo.
	Para agregado.
Cartón y papel	Separado y vendido para reciclaje.
Metales	Introducido al proceso como materia prima (reciclado).
Vidrio	Introducido al proceso como materia prima (reciclado).

Fuente: Caracterización de los Residuos de Construcción - Mercante (2007)

El reciclado de los RCD se puede dar tanto en una planta de reciclaje como en el mismo lugar donde se generan, depende generalmente del tipo de material y el grado de mezcla con otros materiales; además, que se hace necesario promoverlas en las zonas de gran densidad poblacional, debido a que productivamente las condiciones (transporte, cantidad, tecnología entre otros) favorece el reciclado.

En el cuadro N°2.8 presenta a los países europeos con su ratio de los RCD reciclado o reutilizados no peligrosos, del total de escombros generados en los años 2010, 2012, 2014 y 2016; también se observa que la mayoría de los países poseen un porcentaje de reciclaje que sobrepasa el 50% de los RCD totales generados.

Cuadro N°2.8. Porcentaje de Reciclado o reutilización de RCD en Países Europeos

PAÍS	2010	2012	2014	2016
Alemania	95	94	: (C)	: (C)
Austria	92	92	94	88
Bélgica	17	18	32	95
Bulgaria	62	12	96	90
Chipre	0	60	38	57
Dinamarca	:	91	92	90
Eslovaquia	:	:	54	54
Eslovenia	94	92	98	98
España	65	84	70	79
Estonia	96	96	98	97
Finlandia	5	12	83	87
Francia	66	66	71	71 (e)
Hungría	61	75	86	99
Irlanda	97	100	100	96
Islandia	75	100	86 (b)	99
Italia	97	97	97	98
Lituania	73	88	92	97
Luxemburgo	98	99	98	100
Malta	16	100	100	100
Noruega	44	75	77	70
Países Bajos	100	100	100	100
Polonia	93	92	96	91
Portugal	58	84	95	97
Reino Unido	96	96	96	96
República Checa	91	91	90	92
Rumania	47	67	65	85
Suecia	78	81	55	61

: = no disponible, c = confidencial e = estimado b = interrupción en series de tiempo

Fuente: Tasa de recuperación de residuos de construcción y demolición. - EUROSTAT 2018

2.2.2. RECICLADO DE RCD DE ORIGEN PÉTREO

El reciclado de los residuos de construcción y demolición de origen pétreo como son concreto, arcilla, cerámico, arena, piedra, fragmentos de roca entre otros; a diferencia de otros materiales presentes también en los RCD como: el plástico, acero, madera y vidrio; no poseen una industria del reciclaje, como si lo tienen estos últimos, en el Perú; sin embargo, en países europeos y algunos latinoamericanos si existe una industria desarrollada, gracias a sus políticas medioambientales y un progreso sustentable.

El reciclado de concreto puro es el más investigado, debido a sus propiedades y que es uno de los materiales más consumidos a nivel mundial por lo que posee alto potencial para su reaprovechamiento; el reciclado concreto generalmente se da como “agregado reciclado” para elaborar nuevos concretos desde los de menor resistencia a la compresión axial hasta los estructurales que requieren altas resistencias para lo cual se mezclan con agregados naturales, se emplea aditivos y se usa métodos de diseño sofisticados, todos ellos con alto control de calidad en todos los materiales y procesos.

En la figura N°2.10 muestra parte de la estructura que se elaboró con concreto reciclado gracias a que la planta de reciclado quedaba cerca de la obra, lo mejor de todo fue que el volquete que transportaba los residuos a la planta regresabas con el material reciclado para elaborar el concreto.



Figura N°2.10: Línea 12 del Metro – Línea Dorada - México.

Fuente: Página Web de Concreto Reciclados - México.

El reciclado del concreto mezclado con ladrillo, mortero, cerámico y otros se da a partir de su trituración conjunta, para la elaboración de material de estabilización de suelos, rellenos, conformación de terrenos filtrantes, subbase de caminos y concretos de baja resistencia. Presenta estudios diversos, aunque en menor dimensión que el concreto puro.

En la figura N°2.11 se muestra los agregados reciclados obtenidos de la trituración de concreto, ladrillo, cerámico principalmente en Italia por parte de la Asociación Nacional de Productores de Agregado Reciclado (ANPAR).



Figura N°2.11: Agregados Reciclado

Fuente: ANPAR - Italia.

El reciclado de RCD de origen pétreo en el Perú se encuentra en un estado naciente, pues aún la gestión y manejo es incipiente debido a la informalidad, sin embargo, la industria de la construcción crece y genera residuos continuamente; por ello su introducción del reciclado de RCD es necesaria y debe ser lo más práctico y simple posible, evitando procesos sofisticados que encarecen el producto final, por ende, su adquisición.

CAPÍTULO III. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

La importancia que posee el determinar las propiedades de los agregados radica fundamentalmente en estimar el comportamiento del concreto, debido a su participación masiva en la composición de la mezcla. Esta estimación se dará mediante la comparación con características de agregados provenientes de otras fuentes u origen, además que la caracterización ayudará en los procesos para la elaboración del concreto.

El presente trabajo sustituye de manera parcial los agregados naturales de origen pétreo por agregados procedentes del reciclado de los residuos de construcciones y demoliciones (RCD) para fabricar concreto, por ello, se hace necesario identificarlos al agregado natural como agregado patrón y al agregado procedente de los RCD como agregado reciclado para poder analizarlos y compararlos posteriormente.

La determinación de las propiedades de los agregados se realizó en las instalaciones del Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales (LEM) de la Universidad Nacional de Ingeniería y conforme a lo indicado en la Norma Técnica Peruana (NTP) concerniente a ensayos para agregados.

3.1 AGREGADO PATRÓN:

El agregado patrón tanto fino como grueso proceden de canteras locales y reconocidas por proveer de este material al sector construcción. En el cuadro 3.1 se detalla la procedencia.

Cuadro N°3.1. Procedencia del Agregado Patrón

TIPO DE AGREGADO	PROCEDENCIA
Agregado Patrón Fino	Cantera de Trapiche, Lima
Agregado Patrón Grueso	Cantera UNICON

Fuente: Elaboración Propia

Los agregados adquiridos no presentan material orgánico o impurezas resaltantes, se almacenaron por separado en las tolvas del LEM para protegerlos de la intemperie, además de evitar el contacto con otros materiales.

3.1.1. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO PATRÓN

En los cuadros N°3.2 y N°3.3 se detallan los resultados obtenidos tras realizar el ensayo granulométrico a las muestras del agregado patrón fino y grueso respectivamente.

Cuadro N°3.2. Ensayo de la Granulometría en el Agregado Grueso Patrón

MALLA	PESO DE MUESTRA RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	22.55	1.50	1.50	98.50
N°8	171.52	11.43	12.94	87.06
N°16	338.15	22.54	35.48	64.52
N°30	393.73	26.25	61.73	38.27
N°50	288.35	19.22	80.95	19.05
N°100	164.42	10.96	91.92	8.08
FONDO	121.27	8.08	100.00	0.00
TOTAL	1500.00	100.00	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N°3.3. Ensayo de Granulometría en el Agregado Fino Patrón

MALLA	PESO DE MUESTRA RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)
1 ½"	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	1678.62	5.60	5.60	94.40
¾"	9747.59	32.49	38.09	61.91
½"	13688.69	45.63	83.72	16.28
3/8"	3388.50	11.30	95.01	4.99
N°4	1400.80	4.67	99.68	0.32
FONDO	95.79	0.32	100.00	0.00
TOTAL	30000.00	100.00	-	-

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO PATRÓN

Se detallan los resultados obtenidos luego de realizar al material natural adquirido los ensayos según la NTP para las propiedades físicas más importantes del agregado patrón fino y grueso respectivamente en el cuadro N°3.4.

Cuadro N°3.4. Propiedades Físicas del Agregado Patrón

ENSAYOS		AGREGADO PATRÓN		UNIDAD
		FINO	GRUESO	
Módulo de Finura	M.F.	2.85	7.33	-
Peso Unitario Suelto	P.U.S.	1505	1451	kg/m ³
Peso Unitario Compactado	P.U.C.	1732	1602	kg/m ³
Peso Específico de Masa	P.E.	2.55	2.77	g/cm ³
P.E. Saturado Superficialmente Seco	P.E.sss	2.60	2.80	g/cm ³
Peso Específico Aparente	P.E.a	2.68	2.84	g/cm ³
Porcentaje de Absorción	%Abs.	1.94	0.85	%
Contenido de Humedad	%H	4.12	0.60	%
Tamaño Máximo	T.M.	-	1 ½"	in
Tamaño Nominal Máximo	T.N.M.	-	1"	in
Superficie Específica	S.E.	32.41	1.32	cm ² /g
Material que pasa la Malla N°200		9.75	-	%
Participación en el Agregado Global		53	47	%
Máximo P.U.C. del Agregado Global		2077		Kg/m ³
Módulo de Finura Agregado Global		4.96		-

Fuente: Elaboración Propia

3.2 AGREGADO RECICLADO

Los materiales que conforman los residuos de construcción y demolición RCD son variados, sin embargo, para la presente tesis se utilizó sólo aquellos que tienen origen pétreo tales como concreto, mortero, arcilla cocida y cerámico.

El agregado reciclado que forma parte de la investigación proviene de la trituración manual de los residuos de probetas de concreto, muretes y pilas de albañilería, ladrillos de arcilla, bloques de concreto, cerámicos y morteros; todos estos restos de materiales los encontramos comúnmente en la zona de desmonte del LEM. (Ver Anexo)

El tamaño nominal máximo del agregado reciclado se determinó como una pulgada, debido a las dimensiones del molde de las probetas de concreto, por ello el proceso de trituración fue condicionado por esta medida.

Sólo para determinar las propiedades del agregado reciclado se procedió a separar el material obtenido de la trituración mediante un proceso de tamizado, teniendo como agregado grueso reciclado todo el material retenido en la malla 3/8" y agregado fino reciclado aquel que pasa la malla 3/8".

El almacenamiento se hizo en las tolvas del LEM para evitar su contaminación con otros materiales.

3.2.1 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO RECICLADO

En los cuadros N°3.5 y N°3.6 se detallan los resultados obtenidos tras realizar el ensayo granulométrico a las muestras del agregado reciclado fino y grueso respectivamente.

Cuadro N°3.5. Ensayo de Granulometría en el Agregado Fino Reciclado

MALLA	PESO DE MUESTRA RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	437.13	29.14	29.14	70.86
N°8	353.83	23.59	52.73	47.27
N°16	256.67	17.11	69.84	30.16
N°30	178.41	11.89	81.74	18.26
N°50	118.94	7.93	89.66	10.34
N°100	71.27	4.75	94.42	5.58
FONDO	83.76	5.58	100.00	0.00
TOTAL	1500.00	100.00	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N°3.6. Ensayo de Granulometría en el Agregado Grueso Reciclado

MALLA	PESO DE MUESTRA RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	9257.93	30.86	30.86	69.14
3/4"	6689.48	22.30	53.16	46.84
1/2"	9029.15	30.10	83.26	16.74
3/8"	2955.87	9.85	93.11	6.89
N°4	1218.95	4.06	97.17	2.83
FONDO	848.62	2.83	100.00	0.00
TOTAL	30000.00	100.00	-	-

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO RECICLADO

Se presentan a continuación en el cuadro N°3.7, los resultados obtenidos luego de realizar al material reciclado, los ensayos según la NTP para las propiedades físicas más importantes del agregado reciclado fino y grueso respectivamente.

Cuadro N°3.7. Propiedades Físicas del Agregado Reciclado

ENSAYOS		AGREGADO PATRÓN		UNIDAD
		FINO	GRUESO	
Módulo de Finura	M.F.	4.18	7.46	-
Peso Unitario Suelto	P.U.S.	1288	1149	kg/m ³
Peso Unitario Compactado	P.U.C.	1545	1319	kg/m ³
Peso Específico de Masa	P.E.	2.07	2.13	g/cm ³
P.E. Saturado Superficialmente Seco	P.E.sss	2.29	2.33	g/cm ³
Peso Específico Aparente	P.E.a	2.64	2.65	g/cm ³
Porcentaje de Absorción	%Abs.	10.54	9.26	%
Contenido de Humedad	%H	3.82	2.82	%
Tamaño Máximo	T.M.	-	1 1/2"	in
Tamaño Nominal Máximo	T.N.M.	-	1"	in
Superficie Específica	S.E.	21.06	1.48	cm ² /g
Material que pasa la Malla N°200		5.88	-	%
Participación en el Agregado Global		30	60	%
Máximo P.U.C. del Agregado Global		1553		Kg/m ³
Módulo de Finura Agregado Global		5.73		-

Fuente: Elaboración Propia

Cabe resaltar que el porcentaje de Participación en el Agregado Global Patrón Reciclado es el que deriva de pesar el agregado fino y grueso después del tamizado, es decir que esa relación fue la combinación natural que resultó después del triturado manual.

CAPITULO IV: DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO

4.1 GENERALIDADES

El diseño de mezcla del concreto es determinar la combinación de óptima de sus componentes para que en conjunto brinden un servicio adecuado, requerido por las condiciones técnica, económica y práctica.

Las condiciones técnicas son principalmente la trabajabilidad para el estado fresco del concreto mientras en estado endurecido son la resistencia a la compresión axial y la durabilidad.

La condición económica está determinada por el aprovechamiento eficiente del cemento, esto principalmente se logra con una buena calidad y la mejor combinación de agregados, debido a que con ello reducimos el consumo de cemento.

La condición práctica está relacionada con el entorno, pues como es conocido la calidad de agregados, cemento y agua varía según la región donde se encuentren, además así mismo se observa el tema de construcciones sostenibles aquellas que aprovechan al máximo a los recursos que se extraen de la naturaleza por ende también aprovechan los RCD que se generan.

Si bien existe varios métodos de diseño de mezcla como los más conocidos se encuentran el método del comité 211 ACI, de Walker, del Módulo de Finura y Agregado Global entre otros; sin embargo, el método idóneo es aquel que se ajuste a nuestras condiciones locales, además que deben ser comprobadas mediante ensayos de laboratorio para su posterior uso en obra.

En el presente trabajo para la elección del diseño de mezcla se hizo énfasis en aprovechar los RCD de origen pétreo por ello el diseño debe ser simple debido a la aleatoriedad de las propiedades de los agregados reciclados, sin embargo, rescatando su mejor combinación mediante el ensayo de Máxima Compacidad del Agregado Global. Es así que se planteó la siguiente metodología de diseño:

1° Determinar el porcentaje de participación en peso del agregado fino y grueso respectivamente mediante el ensayo de Máxima Compacidad del Agregado Global.

2° Proponer la relación de cemento y agregado global en peso, de acuerdo a una resistencia requerida aproximada.

3° Dosificar la cantidad de agua experimentalmente de acuerdo al asentamiento requerido.

4° Diseñar para las variaciones de más 5% y menos 5% del porcentaje de participación hallados en el primer paso, manteniendo constante la relación de cemento y agregados, también el asentamiento requerido.

5° Reajustar el porcentaje de participación de agregados mediante ensayos de resistencia a la compresión a los diseños realizados.

6° Diseñar finalmente con el porcentaje óptimo de agregados obtenido.

Para la presente tesis se elaboró con la metodología previamente mencionada el diseño de mezcla patrón y el diseño de mezcla combinado.

4.2 DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRÓN

La elaboración del concreto patrón se realizó con los agregados patrones grueso y fino, obteniendo así el agregado global patrón mediante el ensayo de máxima compacidad.

En el cuadro N°4.1 se presenta los resultados obtenidos de realizar el ensayo de peso unitario compactado al agregado global para variaciones de 5% en peso del agregado fino patrón entre el 40% y el 60%, para este caso, la Máxima Compacidad del Agregado Global Patrón se encuentra dentro de este intervalo.

Cuadro N°4.1: Determinación de la Máxima Compacidad del Agregado Global Patrón

% A. FINO	P.U.C. (kg/cm ³)
40	2010.39
45	2057.97
50	2071.01
55	2073.48
60	2041.05

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°4.1 se observa la tendencia del P.U.C. para cada variación del porcentaje del agregado fino patrón, además se indica el máximo peso unitario compactado de 2076.69 kg/cm³ obtenido para el cual las proporciones son de 52.9% para agregado fino y 47.1% para agregado grueso. Estas proporciones nos brinda la Máxima Compacidad del Agregado Global Patrón, es decir el mejor acomodo de agregados con el mínimo volumen de vacíos lo que es ideal para alcanzar mejores resistencias.

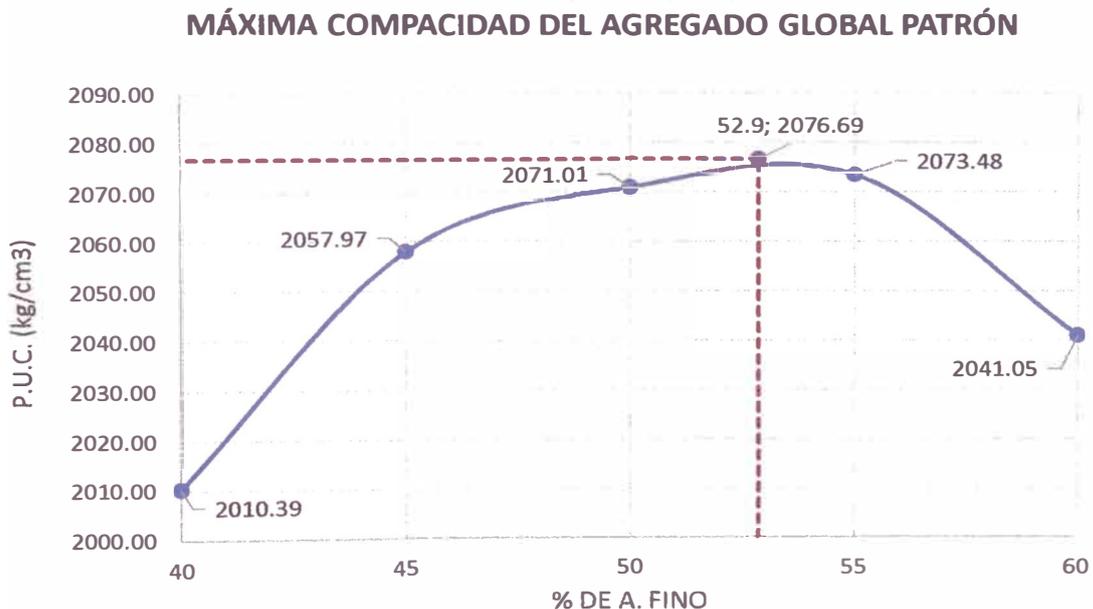


Figura N°4.1: Máxima Compacidad del Agregado Global Patrón

Fuente: Elaboración Propia

Continuando con la metodología propuesta se hace un reajuste a las proporciones de los agregados obtenidos en la figura N°4.1, debido a que existe un nuevo reacomodo de partículas debido a la pasta de cemento, para ello se procedió a elaborar diseños manteniendo constante la relación cemento agregados y el asentamiento de 3" a 4", sólo variando el porcentaje del agregado

fino en 3%, es decir se hizo muestras para 49.2%, 52.9% y 55.9%. En el Cuadro N°4.2 se presenta los resultados a la edad de 7 días luego de realizar los ensayos de resistencia a la compresión axial a las probetas para cada diseño respectivamente.

Cuadro N°4.2. Resistencia a la Compresión Axial del Concreto Patrón variando el % A.F.P.

% A. FINO PATRÓN	Resistencia a la Compresión Axial (kg/cm ²)
49.90	169.83
52.90	191.04
55.90	167.41

Fuente: Elaboración Propia

En el Figura N°4.2 se observa la superposición de las curvas de Peso Unitario Compactado y Resistencia a la Compresión Axial respecto a la variación del porcentaje del árido fino patrón y se indica el Porcentaje Óptimo de Agregado Fino Patrón de 53% respecto del Agregado Global Patrón.

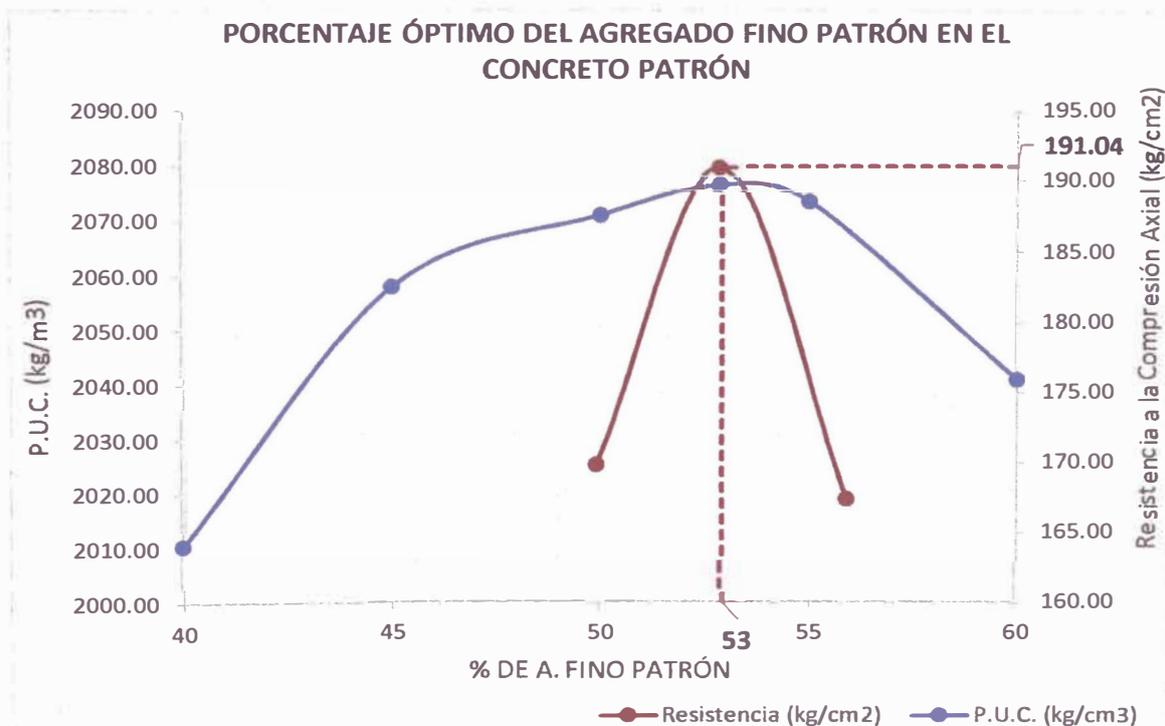


Figura N°4.2: Porcentaje Óptimo del Agregado Fino Patrón en el Concreto Patrón

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, el Agregado Global Patrón está conformado por 53% de agregado fino patrón y 47% de agregado grueso patrón, luego se propone y realiza el diseño de mezcla para las relaciones de Cemento y Agregado de 1:3, 1:4 y 1:5 en peso. El cálculo de la cantidad de agua se hace experimentalmente para que la mezcla presente un asentamiento entre 3 y 4 pulgadas.

En los Cuadros N°4.3, N°4.4 y N°4.5 se presentan los diseños para las relaciones de 1:3, 1:4 y 1:5 respectivamente; se considera el diseño húmedo pues los agregados presentan su propio contenido de agua.

Cuadro N°4.3 Diseño de Concreto Patrón para la Relación 1:3

RELACIÓN	COMPONENTE	DISEÑO HÚMEDO	
		Peso (kg)	D. Unitario
1	CEMENTO	42.50	1.00
	Experimental para Slump 3"-4"	AGUA	19.50
3	A. FINO PATRÓN	67.58	1.59
	A. GRUESO PATRÓN	59.93	1.41

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N°4.4 Diseño de Concreto Patrón para la Relación 1:4

RELACIÓN	COMPONENTE	DISEÑO HÚMEDO	
		Peso (kg)	D. Unitario
1	CEMENTO	42.50	1.00
	Experimental para Slump 3"-4"	AGUA	22.00
4	A. FINO PATRÓN	90.10	2.12
	A. GRUESO PATRÓN	79.90	1.88

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N°4.5 Diseño de Concreto Patrón para la Relación 1:5

RELACIÓN	COMPONENTE	DISEÑO HÚMEDO	
		Peso (kg)	D. Unitario
1	CEMENTO	42.50	1.00
Experimental para Slump 3"-4"	AGUA	26.00	0.61
5	A. FINO PATRÓN	112.63	2.65
	A. GRUESO PATRÓN	99.88	2.35

Fuente: Elaboración Propia

4.3 DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO COMBINADO

Para la elaboración de concreto con agregados de residuos de construcción y demolición (RCD) reciclados se consideró la participación de restos de origen pétreo es decir de concreto, arcilla cocida, mortero, cerámico entre otros, además se consideró la adición de agregado fino patrón para minimizar los vacíos y en general para mejorar las propiedades del agregado procedentes de escombros.

El porcentaje de participación del agregado reciclado y el agregado fino patrón se hizo mediante el ensayo de compacidad y como resultado se obtuvo "Agregado Global Combinado", el cual compone el Concreto Combinado.

En el Cuadro N°4.6 se observa los resultados obtenido luego de realizar el ensayo de peso unitario compactado a la combinación de agregado reciclado y agregado fino patrón en diferentes proporciones.

Cuadro N°4.6: P.U.C. del Agregado Global Combinado variando el % A.F.P.

% A. FINO PATRÓN	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Peso Unitario Compactado (kg/cm ³)	1552.9	1654.4	1751.3	1795.4	1835.6	1841.6	1853.5	1851.4	1814.4

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°4.3 se observa la curva generada por los P.U.C. del agregado global combinado para diferentes proporciones del agregado fino patrón, además se indica que al combinar el 64.4% de este árido con al agregado reciclado se alcanza la máxima compacidad del agregado global.

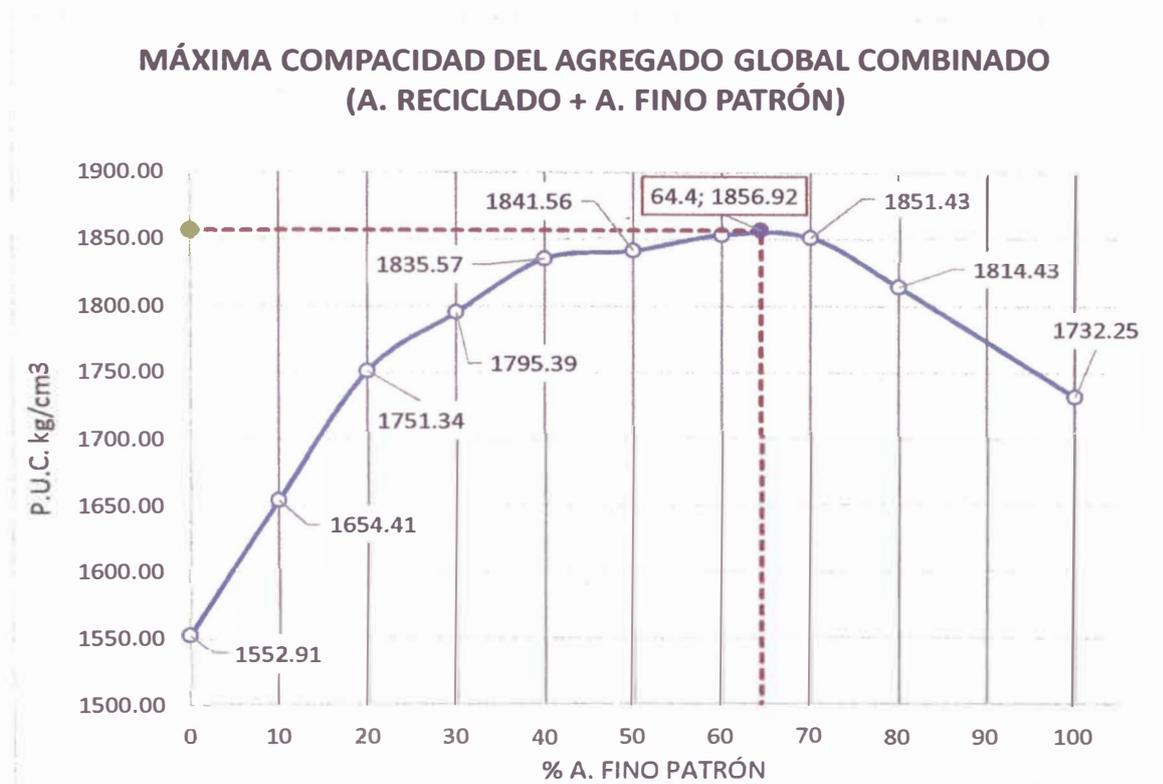


Figura N°4.3: Contenido Óptimo de Agregado Fino Patrón

Fuente: Elaboración Propia

Se procede con el reajuste de las proporciones de agregados para ello se realizó ensayos de resistencia a la compresión axial a los 7 días de probetas elaboradas con diseños que varían +/- 5% al porcentaje de máxima compacidad de la figura N°4.3 para una relación cemento y agregado constante y un asentamiento entre 3" a 4", por lo que cada diseño tuvo 59.4%, 64.4% y 69.4% de agregado fino patrón respectivamente. Adicionalmente se hizo diseños de 40% y 50% de árido fino.

En el cuadro N°4.7 se presenta los resultados obtenidos al realizar el ensayo de resistencia a la compresión axial a las muestras de concreto combinado resultante de los diferentes diseños de mezcla que variaron el porcentaje del agregado fino patrón.

Cuadro N°4.7: Resistencia a la Compresión Axial del Concreto Combinado variando el % A.F.P.

% A. Fino Patrón	Resistencia a la Compresión Axial (kg/cm ²)
40.00	199.47
50.00	200.00
59.40	205.70
64.40	206.04
69.40	202.05

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°4.4 se observa la superposición de curvas del peso unitario compactado del agregado global combinado y de la resistencia a la compresión axial de concreto patrón para diferentes porcentajes de agregado fino patrón, además se indica el Porcentaje Óptimo para obtener una mayor resistencia.

Con el contenido óptimo de 62% de agregado fino patrón y por ende 38% de agregado reciclado para obtener el agregado global combinado, se procede al diseño de Concreto Combinado con las relaciones de cemento y agregado que se usó para el Concreto Patrón, es decir 1:3, 1:4 y 1:5. Para hallar el contenido de agua óptimo se realizaron tandas de pruebas hasta obtener un asentamiento constante entre 3 y 4 pulgadas para cada relación.

En los Cuadros N°4.8, N°4.9 y N°4.10 se presentan los diseños para las relaciones de 1:3, 1:4 y 1:5 del Concreto Combinado respectivamente con la cantidad de agua óptima hallada para el asentamiento requerido.

Cuadro N°4.8: Diseño de Concreto Combinado para la Relación 1:3

RELACIÓN	COMPONENTE	DISEÑO HÚMEDO	
		Peso (kg)	D. Unitario
1	CEMENTO	42.50	1.00
	Experimental para Slump 3"-4"	AGUA	22.00
3	A. GLOBAL RECICLADO	48.45	1.14
	A. FINO PATRÓN	79.05	1.86

Fuente: Elaboración Propia

PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO FINO PATRÓN EN EL CONCRETO COMBINADO

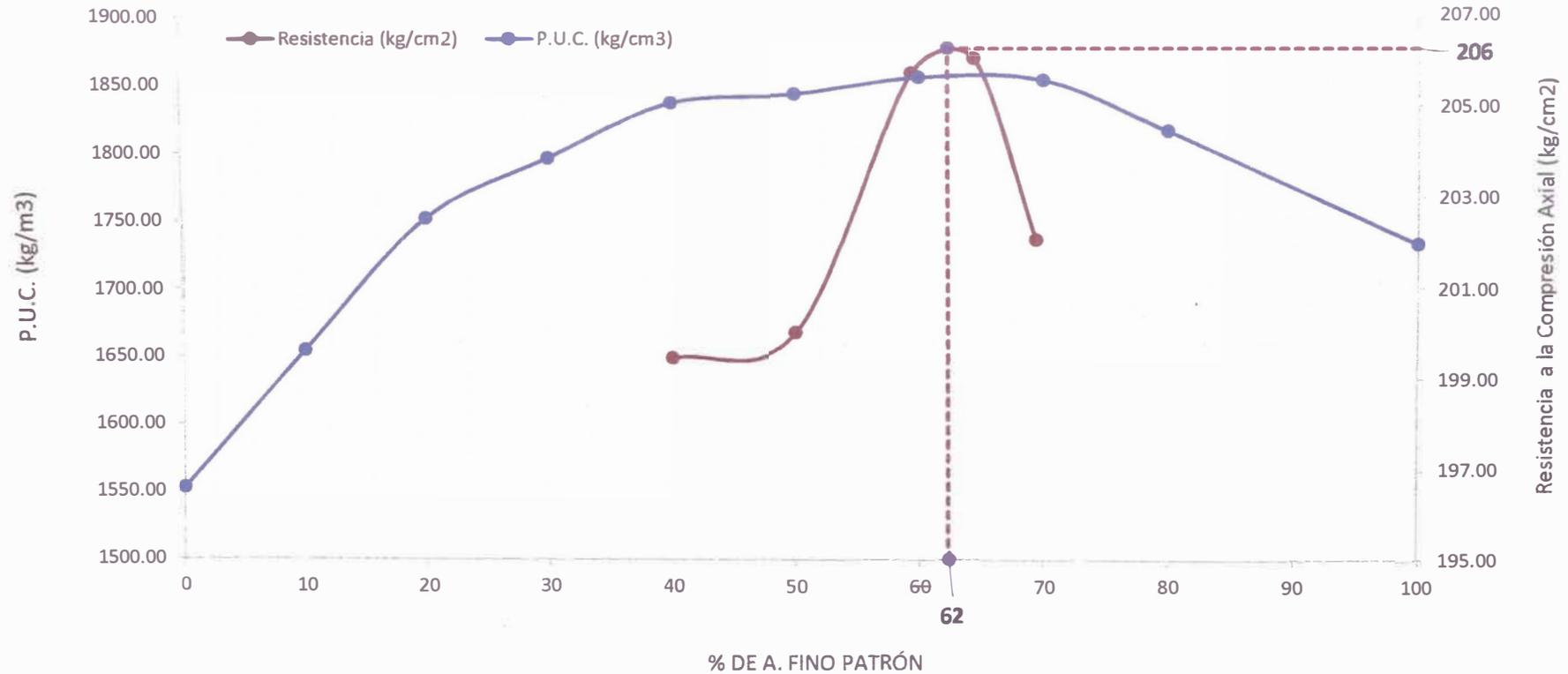


Figura N°4.4: Porcentaje Óptimo de Agregado Fino Patrón en el Concreto Combinado

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N°4.9: Diseño de Concreto Combinado para la Relación 1:4

RELACIÓN	COMPONENTE	DISEÑO HÚMEDO	
		Peso (kg)	D. Unitario
1	CEMENTO	42.50	1.00
Experimental para Slump 3"-4"	AGUA	29.00	0.68
4	A. GLOBAL RECICLADO	64.60	1.52
	A. FINO PATRÓN	105.40	2.48

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N°4.10: Diseño de Concreto Combinado para la Relación 1:5

RELACIÓN	COMPONENTE	DISEÑO HÚMEDO	
		Peso (kg)	D. Unitario
1	CEMENTO	42.50	1.00
Experimental para Slump 3"-4"	AGUA	33.00	0.78
5	A. GLOBAL RECICLADO	80.75	1.90
	A. FINO PATRÓN	131.75	3.10

Fuente: Elaboración Propia

4.4 PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO

Para la elaboración de las muestras de concreto tanto Patrón como Combinado se estandarizó pasos a seguir dado la naturaleza muy absorbente de los agregados reciclados se tuvo un procedimiento de mezclado para cada tipo de concreto.

4.4.1 Procedimiento de Mezclado para el Concreto Patrón

- 1° Limpiar y humedecer la mezcladora.
- 2° Introducir el agregado grueso y fino en su totalidad.
- 3° Introducir 2/3 de la dosis de agua.
- 4° Mezclar durante un minuto y medio.
- 5° Introducir el cemento y continuar el mezclado por un minuto.
- 6° Introducir el resto del agua, continuar el mezclado según lo requerido.
- 7° Vaciar en el buggy la mezcla obtenida, (mantener batiendo manualmente).
- 8° Medir al asentamiento antes de pasado los cinco minutos.

4.4.2 Procedimiento de Mezclado para el Concreto Combinado

- 1° Limpiar y humedecer la mezcladora.
- 2° Introducir el agregado global reciclado en su totalidad.
- 3° Introducir 1/3 de la dosis de agua y esperar su absorción durante un minuto.
- 4° Introducir el agregado fino patrón en su totalidad.
- 5° Mezclar durante un minuto.
- 6° Introducir el cemento y continuar el mezclado por un minuto.
- 7° Introducir el resto del agua, continuar el mezclado según lo requerido.
- 8° Vaciar en el buggy la mezcla obtenida, (mantener batiendo manualmente).
- 9° Medir al asentamiento antes de pasado los cinco minutos.

CAPÍTULO V. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

El conocimiento de las propiedades del concreto en estado fresco permite el transporte y la trabajabilidad de este material en obra según las condiciones requeridas. A continuación, se detalla los resultados obtenidos luego de realizar los ensayos al concreto fresco tanto Patrón como Combinado bajo la Norma Técnica Peruana.

5.1 CONSISTENCIA

Determinado en la N.T.P. 339.035, el ensayo mide el asentamiento haciendo uso del Cono de Abrams, este ensayo va a clasificar si el concreto fresco es seco, fluido o muy fluido.

En el cuadro N°5.1 se detalla los resultados obtenidos al realizar el ensayo de asentamiento al concreto patrón y combinado para las diferentes relaciones respectivamente.

Cuadro N°5.1: Asentamiento del Concreto Patrón y Combinado

RELACIÓN CEMENTO:AGREGADO	ASENTAMIENTO (pulg.)	
	CONCRETO PATRÓN	CONCRETO COMBINADO
1:3	3 1/2	3 1/2
1:4	3 1/4	3 3/4
1:5	3 1/2	3 3/4

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°5.1 se representa los resultados gráficamente, donde se observa que ambas líneas se encuentran entre 3" y 4"; debido a que al encontrarse dentro de este intervalo se asegura la trabajabilidad del concreto que se requiere para la investigación.

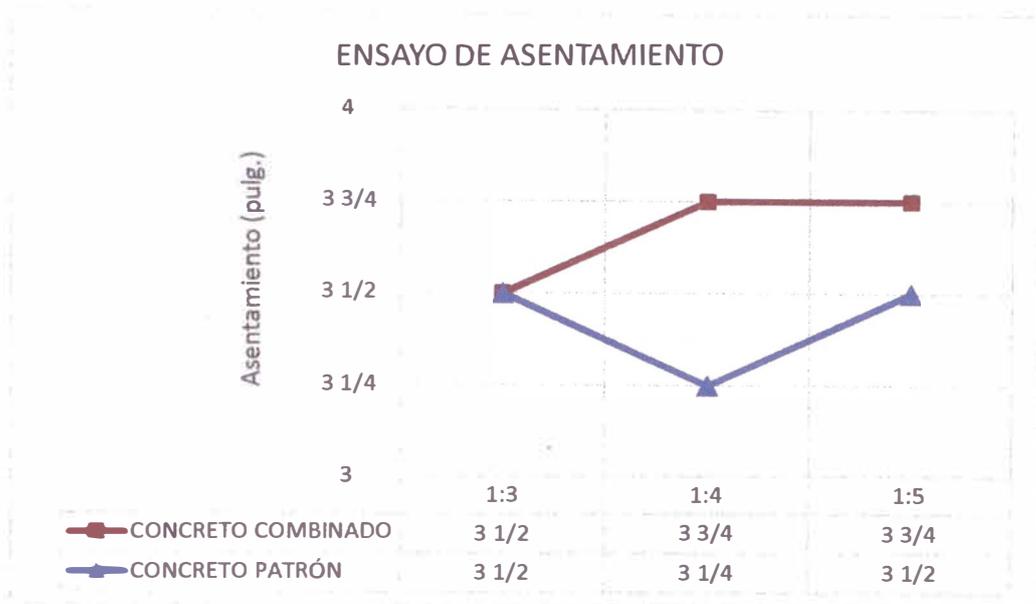


Figura N°5.1: Asentamiento del Concreto Patrón y Combinado

Fuente: Elaboración Propia

5.2 PESO UNITARIO

Normalizado por la N.T.P. 339.046, es el peso del concreto fresco con un grado de compactación por unidad de volumen. Clasifica al concreto fresco como ligero, normal o pesado.

En el cuadro N°5.2 se detalla los resultados obtenidos luego de realizar el ensayo de peso unitario a las muestras de concreto fresco patrón y combinado respectivamente.

Cuadro N°5.2: Peso Unitario del Concreto Patrón y Combinado

RELACIÓN CEMENTO:AGREGADO	PESO UNITARIO (kg/m ³)	
	CONCRETO PATRÓN	CONCRETO COMBINADO
1:3	2370.95	2210.93
1:4	2369.54	2181.68
1:5	2364.60	2171.11

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°5.2 se representa gráficamente los resultados, donde se observa que el peso unitario del concreto patrón es mayor que del combinado en cada una de las tres relaciones.

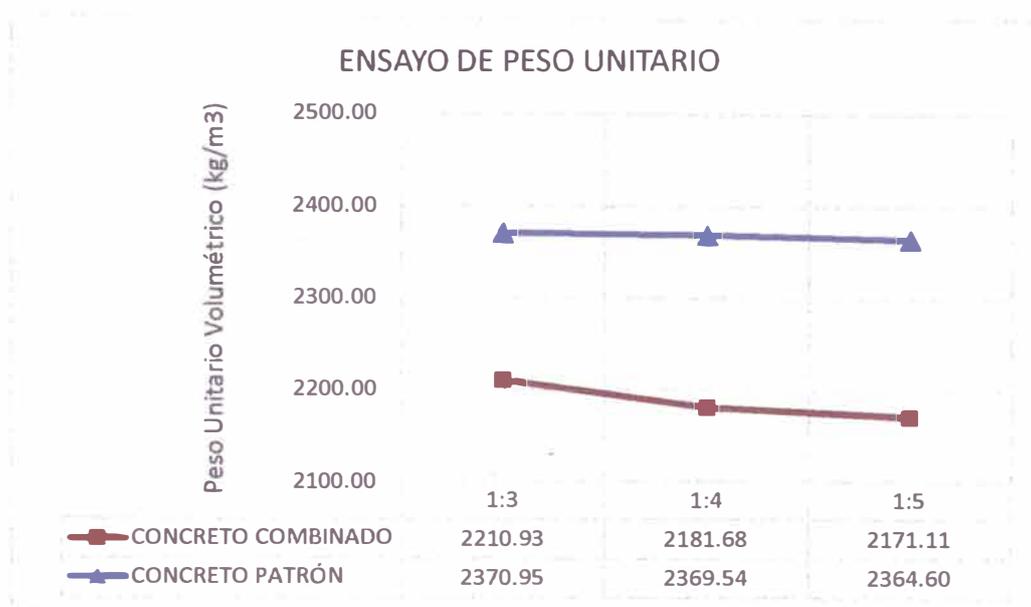


Figura N°5.2: Peso Unitario del Concreto Patrón y Combinado

Fuente: Elaboración Propia

5.3 FLUIDEZ

Descrita en la N.T.P. 339.046, determina el índice de flujo de la consistencia del concreto en estado fresco, así como también la tendencia a la segregación del concreto.

En el cuadro N°5.3 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de fluidez para el concreto en estado fresco de las muestras de concreto patrón y combinado respectivamente.

Cuadro N°5.3: Fluidez del Concreto Patrón y Combinado

RELACIÓN CEMENTO:AGREGADO	FLUIDEZ (%)	
	MUESTRA PATRÓN	MUESTRA COMBINADA
1:3	43%	42%
1:4	46%	44%
1:5	53%	46%

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°5.3 se representa los valores de fluidez, donde se aprecia que la fluidez es mayor para el concreto patrón que para el combinado, además que la fluidez tiene una tendencia a incrementarse a medida que aumenta el contenido de agregado en la relación.

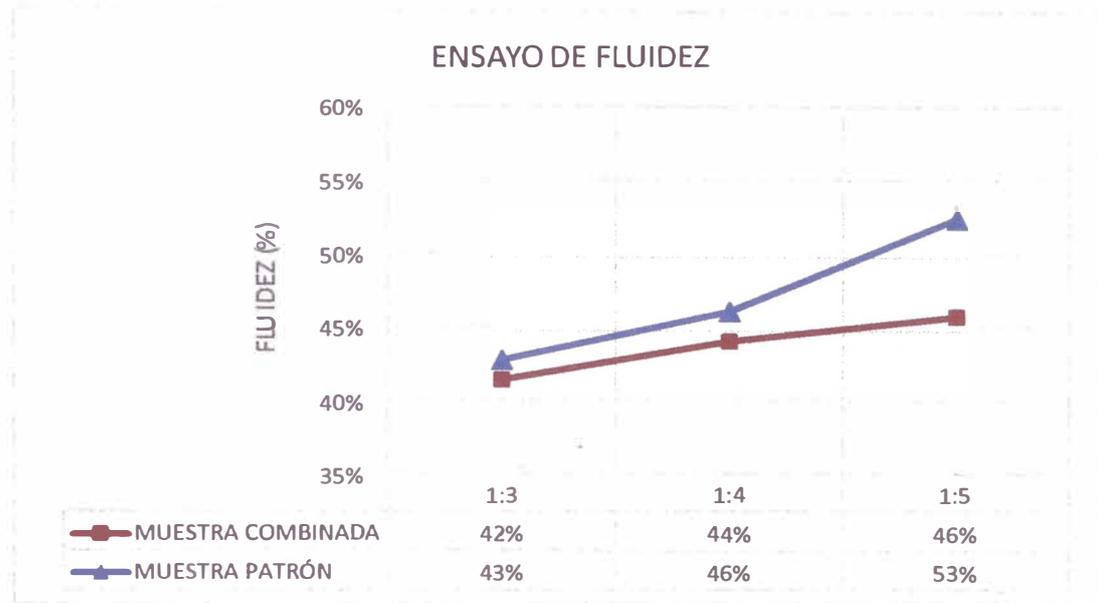


Figura N°5.3: Fluidez del Concreto Patrón y Combinado

Fuente: Elaboración Propia

5.4 TIEMPO DE FRAGUA

Descrita en la N.T.P. 339.082, el tiempo en el que desarrolla el proceso por el cual la mezcla de concreto empieza a perder su plasticidad, se le denomina tiempo de fragua inicial; y cuando ya perdió toda capacidad de deformación es el tiempo de fragua final.

En el cuadro N°5.4 se detallan los resultados obtenidos para el tiempo de fragua inicial y final del concreto en estado fresco patrón y combinado respectivamente.

Cuadro N°5.4: Tiempo de Fragua del Concreto Patrón y Combinado

RELACIÓN CEMENTO:AGREGADO	TIEMPO DE FRAGUA (min)			
	CONCRETO PATRÓN		CONCRETO COMBINADO	
	T.F. INICIAL	T.F. FINAL	T.F. INICIAL	T.F. FINAL
1:3	320.10	439.30	328.62	457.78
1:4	335.24	458.85	352.08	500.85
1:5	374.30	503.73	422.26	620.50

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°5.4 se grafican los valores de los resultados, donde se aprecia que el tiempo de fragua inicial y final del concreto combinado es mayor que del patrón, además que a medida que aumenta la cantidad de agregado en la relación se incrementa el tiempo de fragua inicial y final.

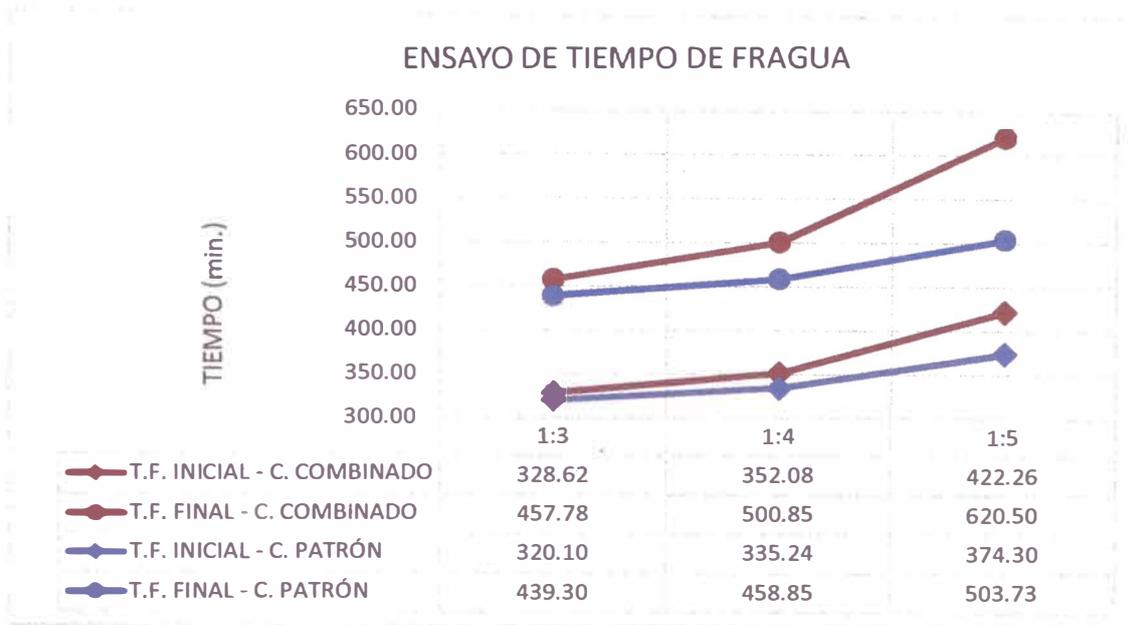


Figura N°5.4: Fluidez del Concreto Patrón y Combinado

Fuente: Elaboración Propia

5.5 EXUDACIÓN

Descrita en la N.T.P. 339.077, la exudación en el estado fresco del concreto es el tipo de segregación por el cual parte del agua de diseño de mezcla asciende a la superficie de concreto recién colocado.

En el cuadro N°5.5 se tienen los resultados del ensayo de exudación del concreto en estado fresco para la muestra patrón y combinada respectivamente.

Cuadro N°5.5: Exudación del Concreto Patrón y Combinado

RELACIÓN CEMENTO:AGREGADO	EXUDACIÓN	
	CONCRETO PATRÓN	CONCRETO COMBINADO
1:3	1.37%	1.61%
1:4	1.52%	2.47%
1:5	2.43%	3.27%

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°5.5 se representa los porcentajes obtenidos, donde la exudación para el concreto combinado es mayor que del patrón, además que el porcentaje de exudación aumenta a medida que se incrementa el contenido de agregado en la relación.

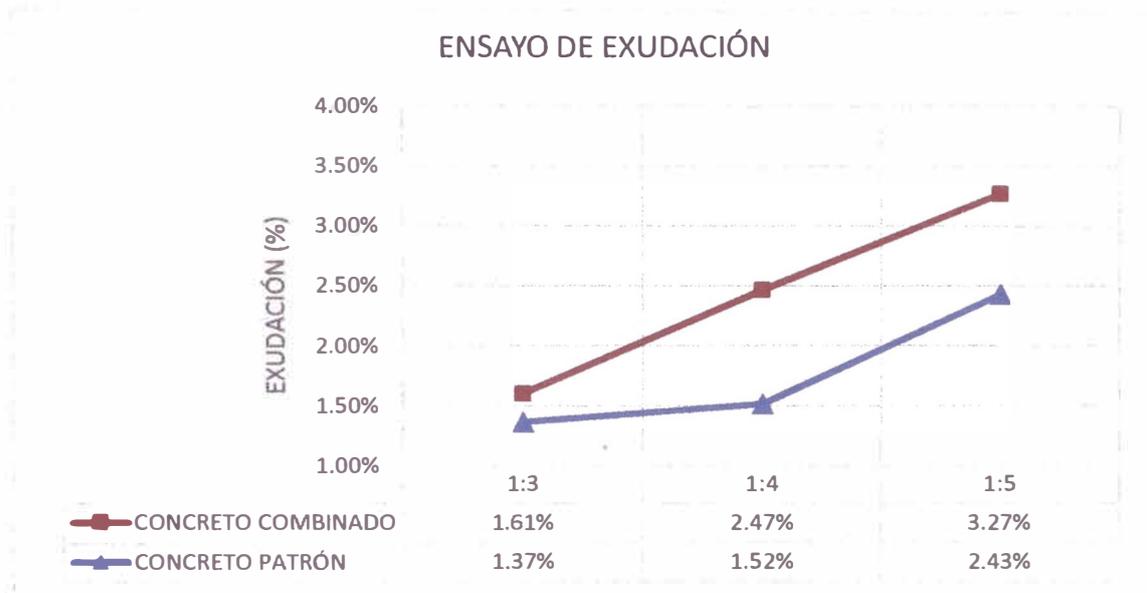


Figura N°5.5: Exudación del Concreto Patrón y Combinado

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO VI. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Es la resistencia a la compresión axial del concreto endurecido la propiedad más difundida y utilizada para el diseño y verificación de las estructuras de concreto; que depende de la resistencia de la pasta endurecida, la resistencia propia de los agregados y la adherencia entre la pasta y los agregados. A continuación, se presenta los resultados al determinar los ensayos de resistencia a la compresión axial, resistencia a la tracción por compresión diametral, módulo elástico estático y absorción.

6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL DEL CONCRETO

Determinado en la norma N.T.P. 339.034, para ello se elaboró testigos de concreto cilíndricos de 4" de diámetro y 8" de altura, los cuales se curaron durante 7 y 28 días para luego ser ensayados.

En los cuadros N°6.1 y N°6.2 se detallan los valores obtenidos luego de los ensayos de resistencia a la compresión de las muestras de concreto patrón y combinado respectivamente.

Cuadro N°6.1: Resistencia a la Compresión Axial – Concreto Patrón

CONCRETO PATRÓN				
RELACIÓN		1:3	1:4	1:5
EDAD PROBETA (días)	7	332.71	315.41	218.57
	28	392.58	359.77	273.64

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N°6.2: Resistencia a la Compresión Axial – Concreto Combinado

CONCRETO COMBINADO				
RELACIÓN		1:3	1:4	1:5
EDAD PROBETA (días)	7	294.20	208.99	153.68
	28	328.38	263.26	249.22

Fuente: Elaboración Propia

En las figuras N°6.1, N°6.2 y N°6.3 se grafican los resultados de resistencia a la compresión axial para las relaciones de cemento y agregado 1:3, 1:4 y 1:5 respectivamente.

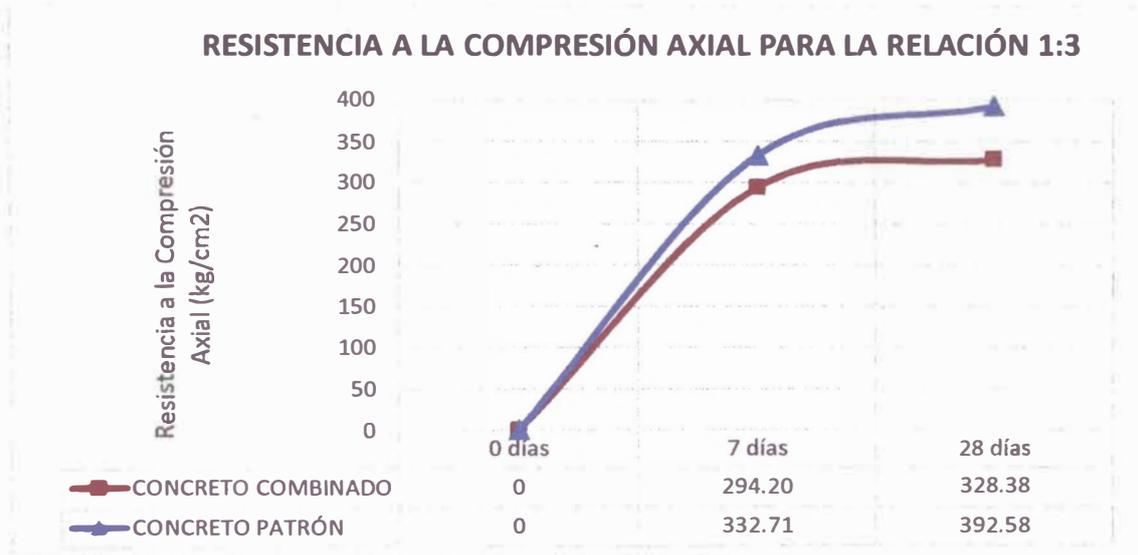


Figura N°6.1: Resistencia a la Compresión Axial para la Relación 1:3

Fuente: Elaboración Propia

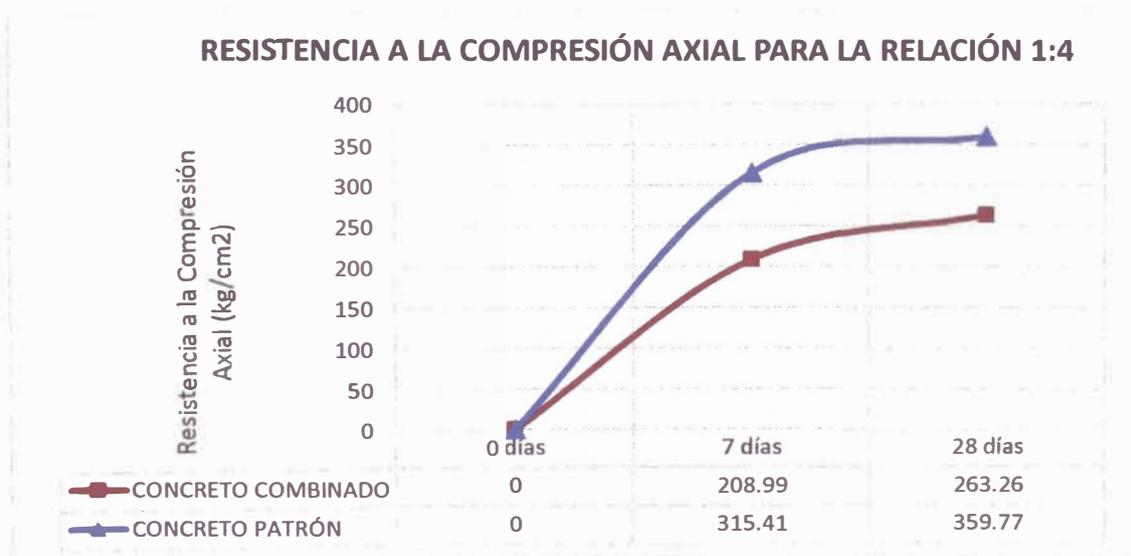


Figura N°6.2: Resistencia a la Compresión Axial para la Relación 1:4

Fuente: Elaboración Propia

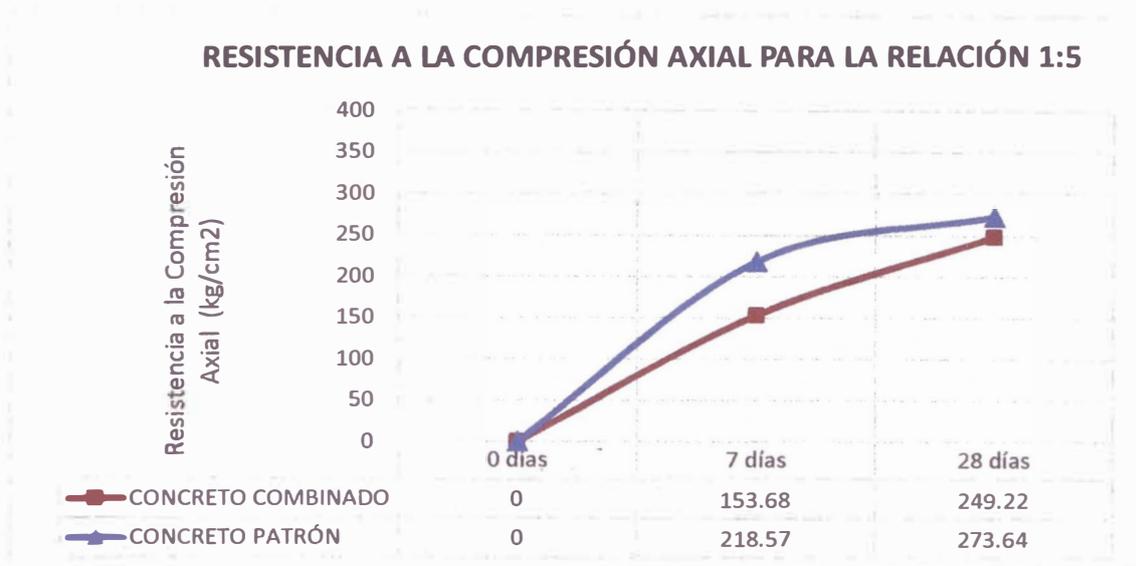


Figura N°6.3: Resistencia a la Compresión Axial para la Relación 1:5

Fuente: Elaboración Propia

En las figuras N°6.4 y N°6.5 se grafican los resultados de resistencia a la compresión axial a los 7 y 28 días respectivamente.

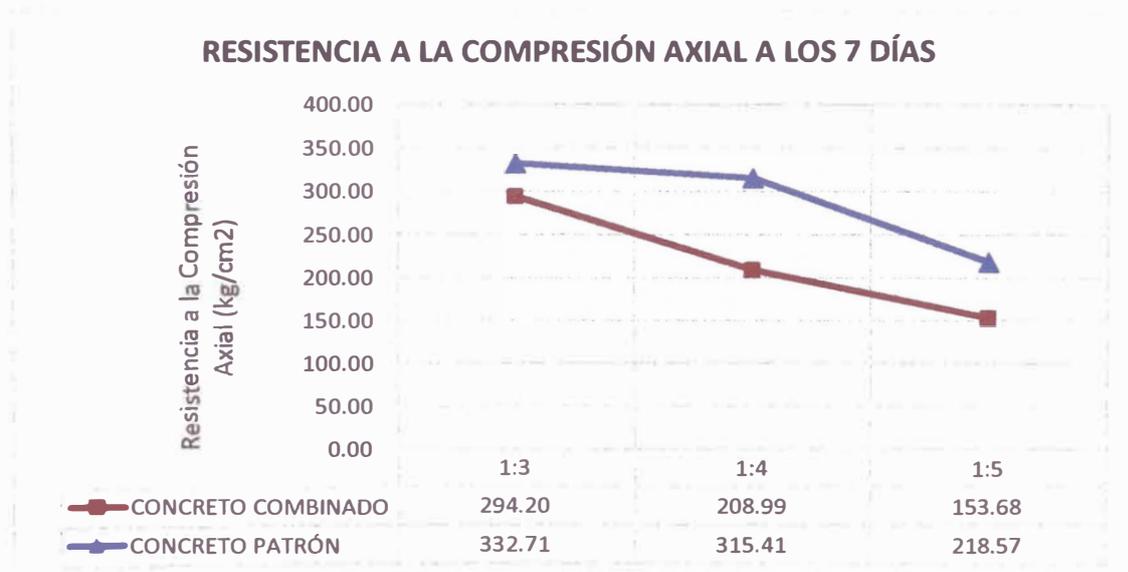


Figura N°6.4: Resistencia a la Compresión Axial a los 7 días

Fuente: Elaboración Propia

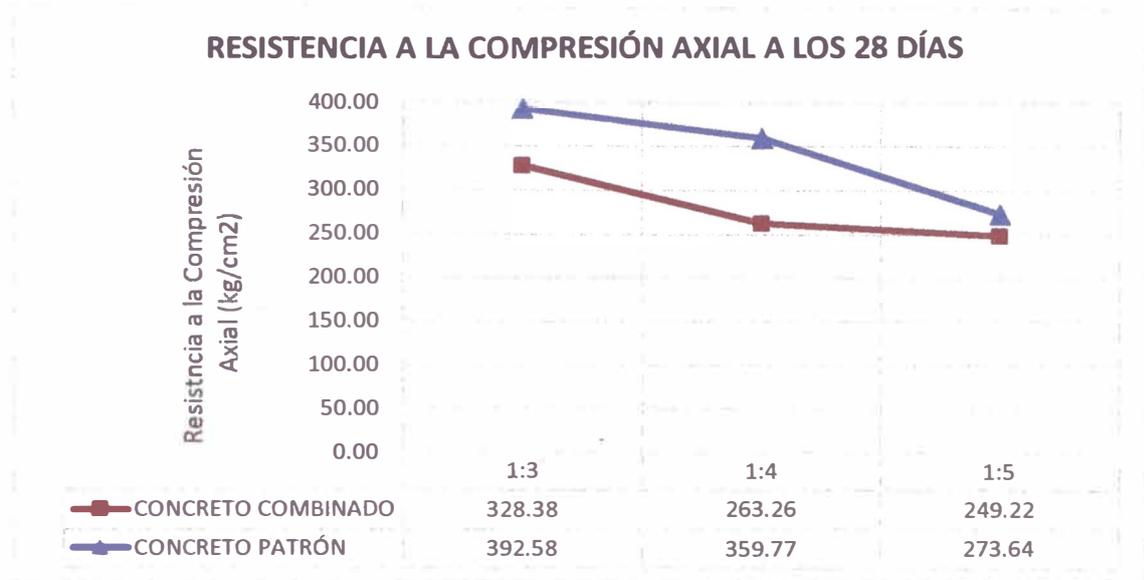


Figura N°6.5: Resistencia a la Compresión Axial a los 28 días

Fuente: Elaboración Propia

6.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

Detallada en la norma N.T.P. 339.084, interviene testigos similares a los usados en el ensayo de resistencia a la compresión axial, sin embargo, estos son cargados en forma horizontal y centrados entre dos platos de la prensa de compresión.

En los cuadros N°.63 y N°.6.3 se presentan los valores obtenidos tras realizar el ensayo mencionado a las probetas de concreto patrón y combinado.

Cuadro N°6.3: Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral – Concreto Patrón

CONCRETO PATRÓN			
RELACIÓN	1:3	1:4	1:5
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL (kg/cm ²)	37.86	36.59	33.98

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N°6.4: Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral – Concreto Combinado

CONCRETO COMBINADO			
RELACIÓN	1:3	1:4	1:5
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL (kg/cm ²)	30.24	26.24	25.47

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°6.6 se grafica los resultados obtenidos al ensayar a tracción las muestras tras 28 días a las tres relaciones de cemento y agregado del concreto patrón y combinado respectivamente.

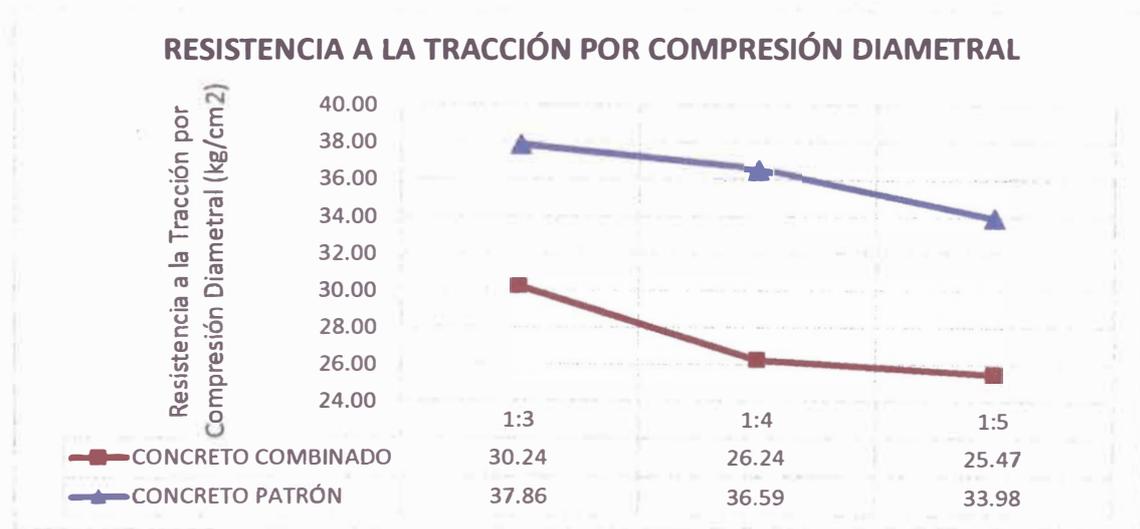


Figura N°6.6: Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral

Fuente: Elaboración Propia

6.3 MÓDULO ELÁSTICO ESTÁTICO

Para este ensayo intervienen probetas cilíndricas de concreto con dimensiones de 6" de diámetro y 12" de altura, las cuales son ensayadas tras 28 días de curado en la maquina de compresión y con la ayuda de un deformímetro.

En los cuadros N°6.5 y N°6.5 se presentan los resultados del ensayo de módulo elástico para las tres relaciones de concreto patrón y combinado respectivamente, demás se presenta el módulo elástico teórico ACI.

Cuadro N°6.5: Módulo Elástico – Concreto Patrón

CONCRETO PATRÓN		
RELACIÓN	MÓDULO ELÁSTICO DE ENSAYO (kg/cm ²)	MÓDULO ELÁSTICO TEÓRICO ACI (kg/cm ²)
1:3	212060.49	286380.25
1:4	200539.65	274027.04
1:5	183050.51	234927.87

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N°6.6: Módulo Elástico – Concreto Combinado

CONCRETO COMBINADO		
RELACIÓN	MÓDULO ELASTICO DE ENSAYO (kg/cm ²)	MÓDULO ELÁSTICO TEÓRICO ACI (kg/cm ²)
1:3	158728.63	262095.70
1:4	156307.24	258385.83
1:5	155535.47	247352.72

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 6.7 se grafica los valores del módulo elástico estático obtenidos tras ensayar las probetas de concreto.

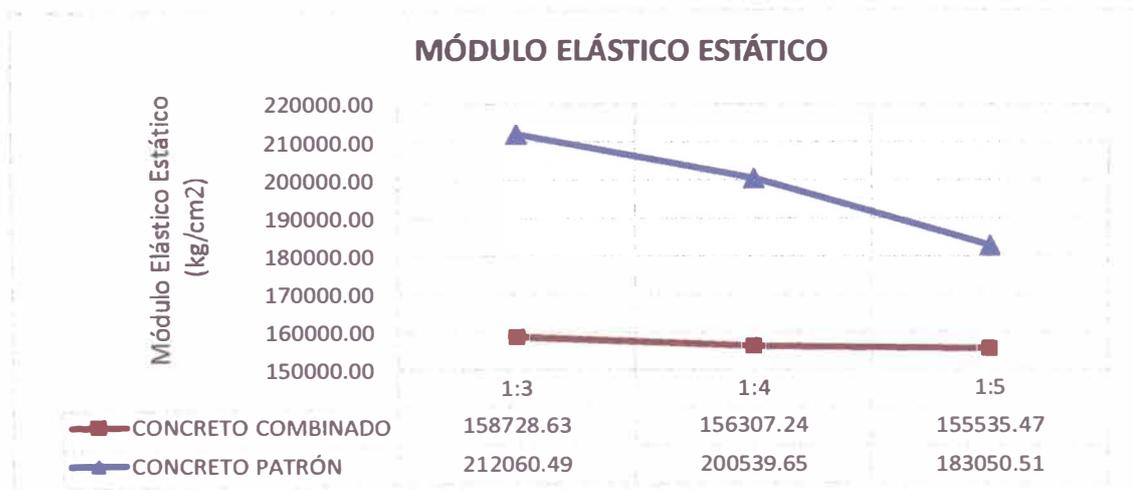


Figura N°6.7: Módulo Elástico Estático de Ensayo del Concreto

Fuente: Elaboración Propia

6.4 ABSORCIÓN

El procedimiento lo indica la norma N.T.P. 339.187, esta propiedad para el concreto endurecido por el cual absorbe agua dentro de los poros que lo permiten. Tanto la pasta como los agregados presentan porosidad.

En el cuadro N°6.7 se muestra el porcentaje de absorción de agua de las muestras de concreto endurecido patrón y combinado para cada relación respectivamente.

Cuadro N°6.7: Absorción de Agua en el Concreto Endurecido

ABSORCIÓN DE AGUA (%)		
RELACIÓN	CONCRETO PATRÓN	CONCRETO COMBINADO
1:3	5.71%	4.92%
1:4	8.21%	6.47%
1:5	9.14%	6.78%

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°6.8 se grafica los valores de absorción obtenidos tras realizar los ensayos respectivos.

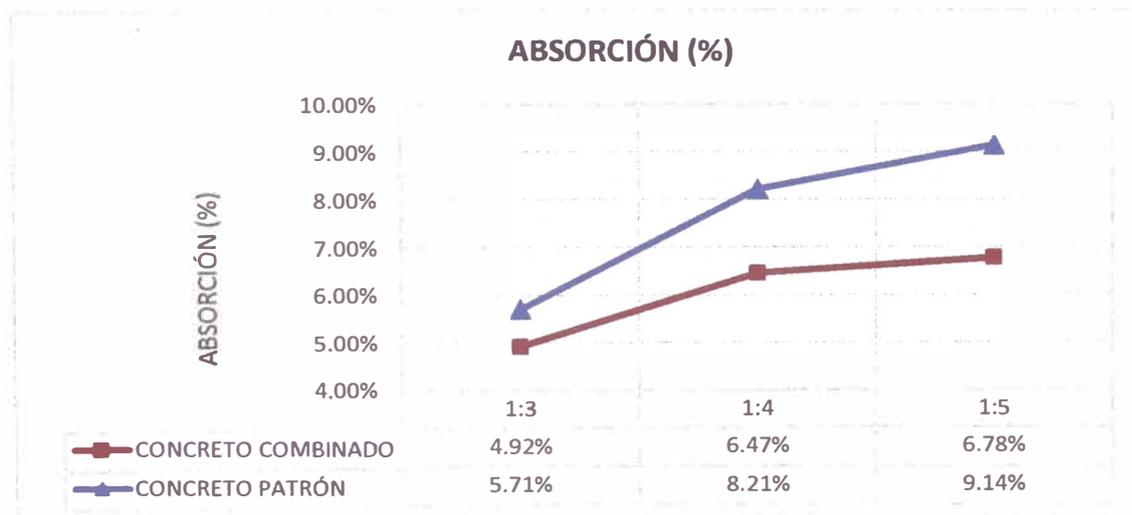


Figura N°6.8: Módulo Elástico Estático de Ensayo del Concreto

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se analizarán los resultados obtenidos en los diversos ensayos realizados en los capítulos anteriores, para lo cual se compararán el agregado patrón y reciclado como también el concreto patrón y combinado.

7.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

7.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

7.1.1.1 Agregado Fino

La procedencia del agregado fino patrón es de la cantera Trapiche, Lima, en tanto que la obtención del agregado fino reciclado fue por trituración manual de los RCD de origen pétreo y pasante por el tamiz de 3/8"; ambos materiales fueron sometidos al ensayo de granulometría, resultando las curvas de la figura N°7.1.

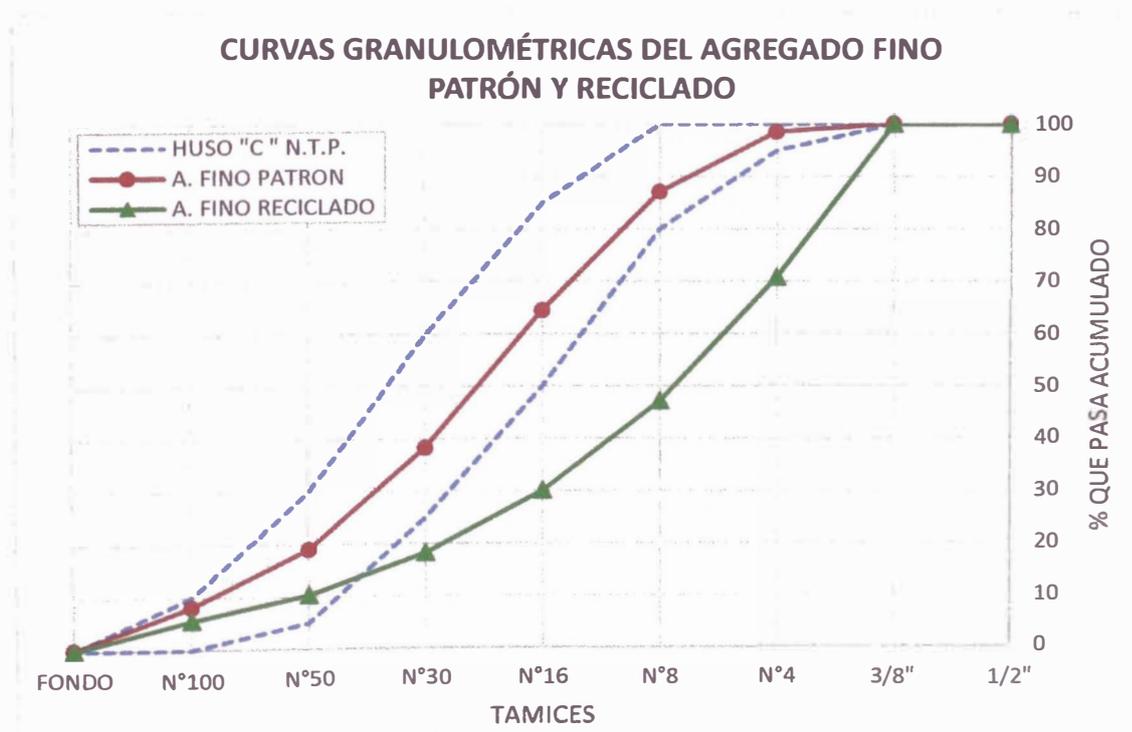


Figura N°7.1: Curvas Granulométricas del Agregado Fino Patrón y Reciclado

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°7.1 se tiene que el agregado fino patrón está dentro de los límites del huso “C” que recomienda la N.T.P. 400.037, por lo que posee una buena distribución de partículas según tamaño; además se observa que el material fino reciclado tiene un alto porcentaje de fracciones gruesas en su distribución es decir tiene mayor presencia de material de los tamaños N°4, N°8 y N°16, por tanto su curva granulométrica se encuentra fuera de los límites establecidos, por lo que se debe hacer pruebas que demuestren que se puede elaborar concreto con la resistencia requerida debido a que su distribución no es la recomendable.

7.1.1.2 Agregado Grueso

El agregado grueso patrón es de la cantera UNICON, Lima, en tanto que la obtención del agregado fino reciclado fue por trituración manual de los RCD de origen pétreo, retenido por el tamiz de 3/8” y tamaño máximo nominal de 1”; ambos materiales fueron sometidos a ensayos, resultando las curvas granulométricas de la figura N°7.2.

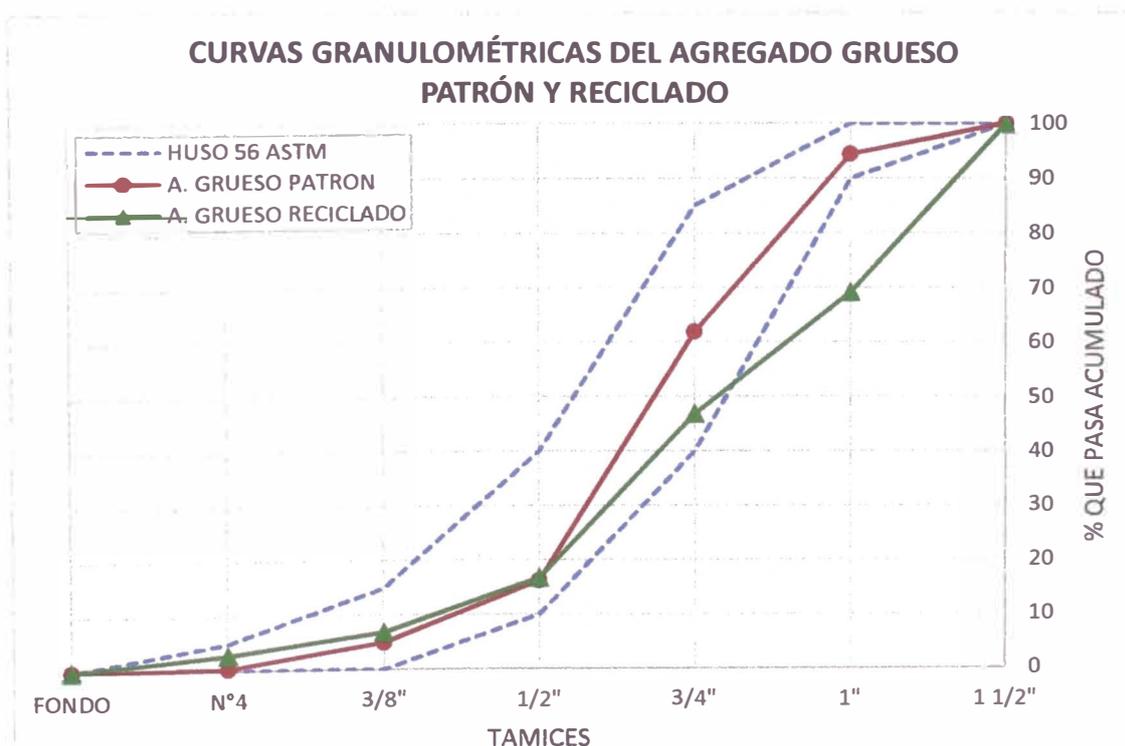


Figura N°7.2: Curvas Granulométricas del Agregado Grueso Patrón y Reciclado

Fuente: Elaboración Propia

Se observa en la figura N°7.2 que el agregado grueso patrón posee una distribución de partículas que se encuentra dentro el huso ASTM 56 establecido en la N.T.P. 400.037 por lo que el árido tiene una buena granulometría para la elaboración de concreto; en tanto la curva granulométrica del agregado grueso reciclado presenta mayor porcentaje de material de los tamaños de 3/4" y 1" que el árido patrón.

Debido a su alta friabilidad, el agregado grueso reciclado va a variar su granulometría si es sometido a más procesos de manipulación, por lo que tiene tendencia a aumentar su cantidad de material fino.

7.1.1.3 Agregado Global

En la Figura N°7.3 se aprecia que curva granulométrica del agregado global patrón se encuentra en gran porcentaje dentro del huso I y II DIN 1045, mientras que el material global reciclado se encuentra fuera del huso de comparación, finalmente se observa que el árido procedente de combinar agregado fino patrón y reciclado se encuentra entre el huso II y III DIN 1045.

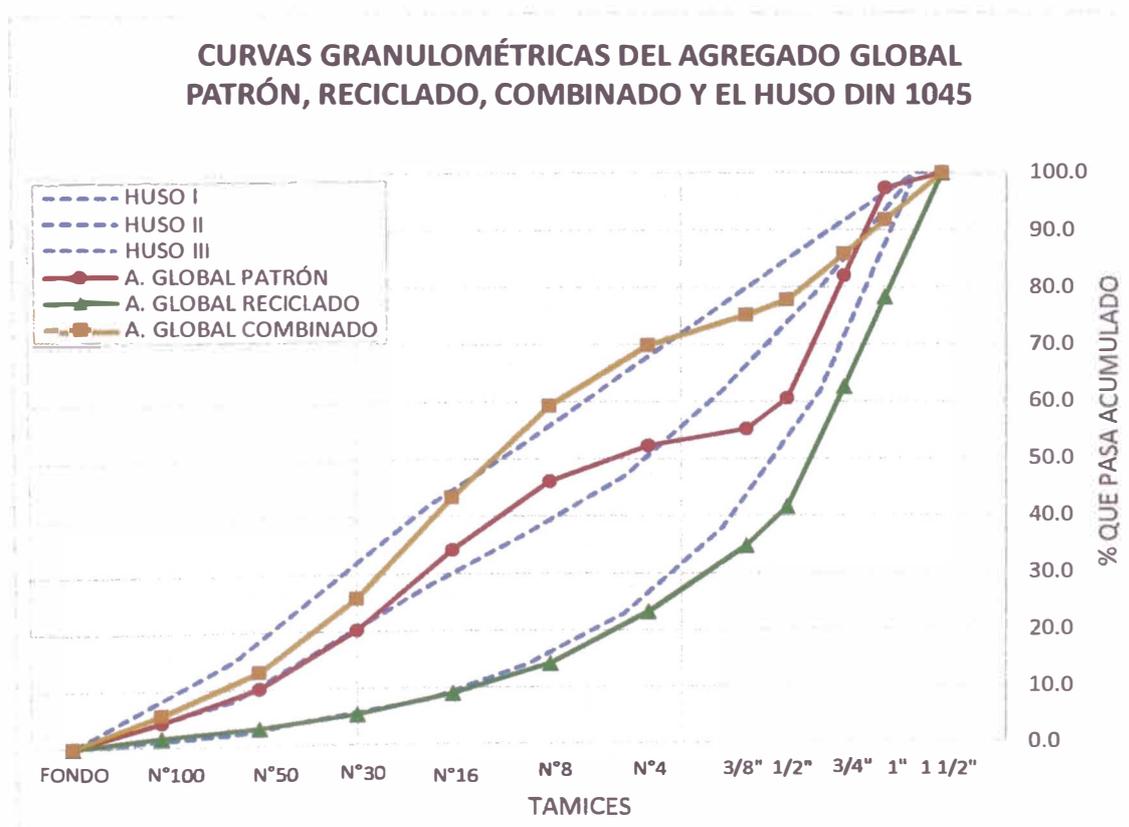


Figura N°7.3: Curvas Granulométricas de los Agregados Globales y el Huso DIN 1045.

Fuente: Elaboración Propia

También se hizo la comparación de los agregados globales con el huso propuesto por la N.T.P. 400.037 que se muestran en la figura N°7.4, en el cual la curva del agregado global patrón tiene gran parte dentro de los límites establecidos pero posee mayor porcentaje de material de 1/2" y 3/4", el agregado global reciclado se encuentra fuera de las curvas límites, además que se denota como un material muy grueso, por último aproximadamente la mitad del agregado global combinado se encuentra fuera del huso especialmente que posee menor porcentaje de material N°8, N°4 y 3/4" que lo establecidos por que se considera como un material con alto grado de fracción fina.

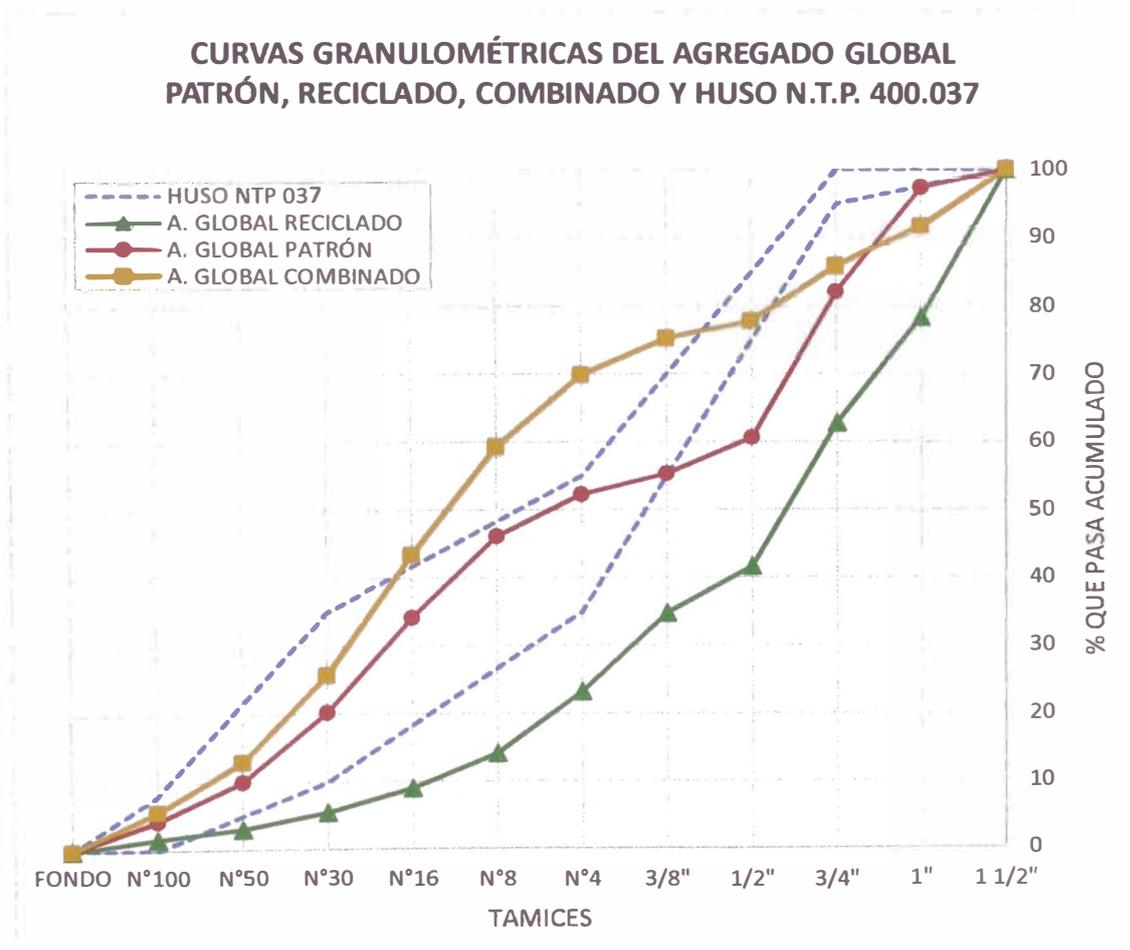


Figura N°7.4: Curvas Granulométrica de los Agregados Globales y el Huso NTP 400.037

Fuente: Elaboración Propia

7.1.2 MÓDULO DE FINURA

Los valores del módulo de finura del agregado fino patrón y reciclado son 2.85 y 4.18 respectivamente, en tanto que los valores recomendables se encuentran entre 2.3 y 3.1, por lo que se deduce que el árido fino patrón es apropiado, mientras que en la figura N°7.5 se observa que el valor del material reciclado es 147% del patrón, esto significa mayor porcentaje de partículas gruesas que la muestra patrón.

En el caso del agregado grueso se tiene un módulo de finura de 7.33 y 7.46 para el árido patrón y reciclado respectivamente, de lo que deriva un leve porcentaje mayor de material grueso en la muestra reciclada, según la figura N°8.5 el módulo de finura del agregado patrón es 2% mayor respecto que el patrón.

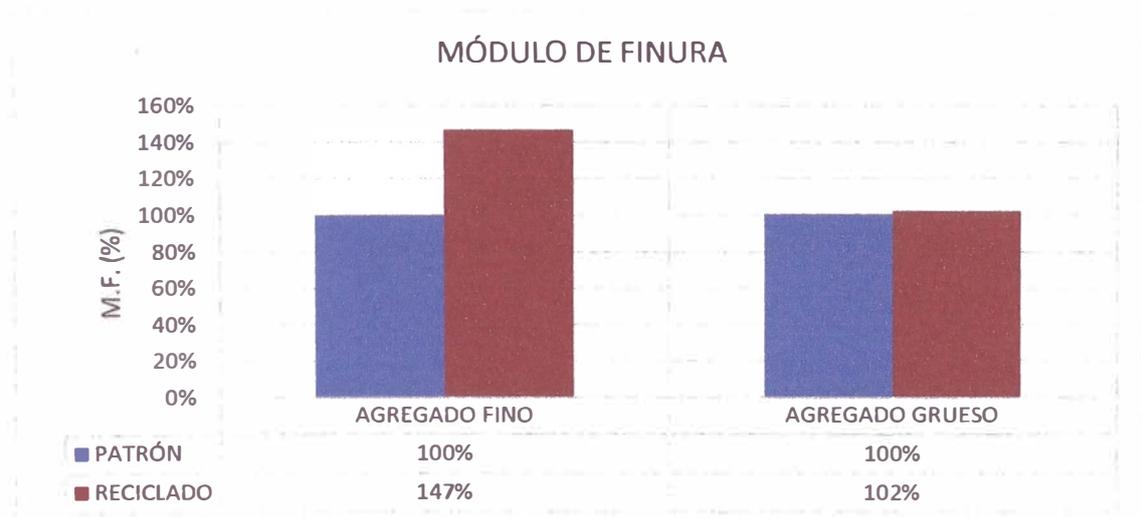


Figura N°7.5: Comparación del Módulo de Finura de los Agregados Fino y Grueso

Fuente: Elaboración Propia

Para el agregado global resultante se hizo la comparación el cual se presenta en la figura N°7.6. Los valores del módulo de finura del agregado global patrón, reciclado y combinado son 5.48, 6.69 y 4.92 respectivamente, porcentualmente el árido global reciclado en 22% mayor respecto que el patrón, lo que indica mayor cantidad de partículas gruesas conformando el material; en el caso del agregado global combinado posee un valor de 10% menor que el patrón, lo que indica mayor cantidad de partículas finas en el árido.

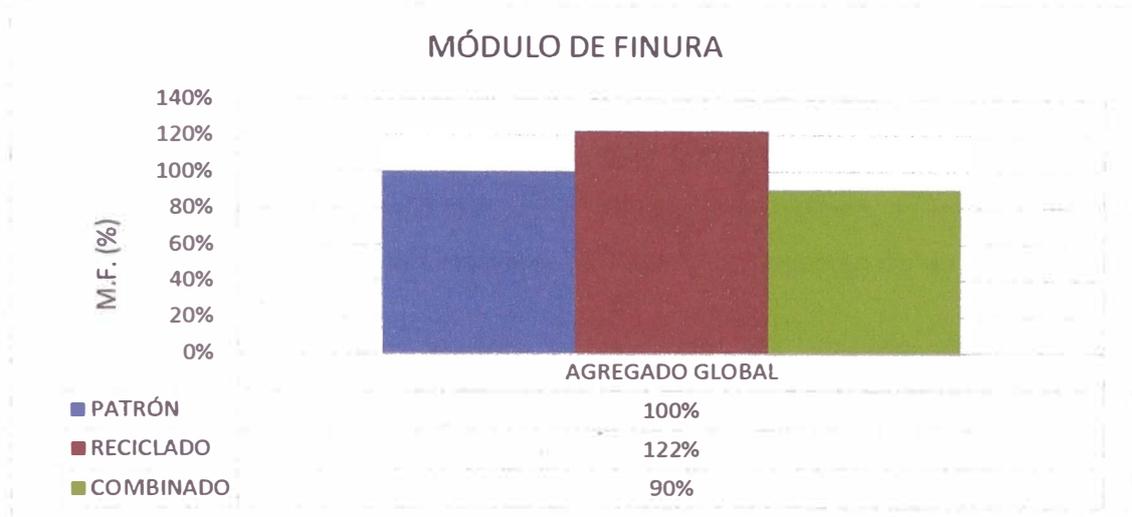


Figura N°7.6: Comparación del Módulo de Finura de los Agregados Globales

Fuente: Elaboración Propia

7.1.3 SUPERFICIE ESPECÍFICA

La superficie específica para el agregado fino patrón es de 32.41 gr/cm² y para el reciclado es de 21.06 gr/cm², comparándolos según la figura N°7.7 se tiene que es 35% menor en el árido fino reciclado respecto del material fino patrón, lo que indica una mayor cantidad de aglomerante para unir sus partículas que del material reciclado.

Para el agregado grueso patrón y reciclado se tiene 1.32 gr/cm² y 1.48 gr/cm² respectivamente es decir un 12% más de superficie del reciclado respecto que el patrón según lo indicado en la figura N°7.7.

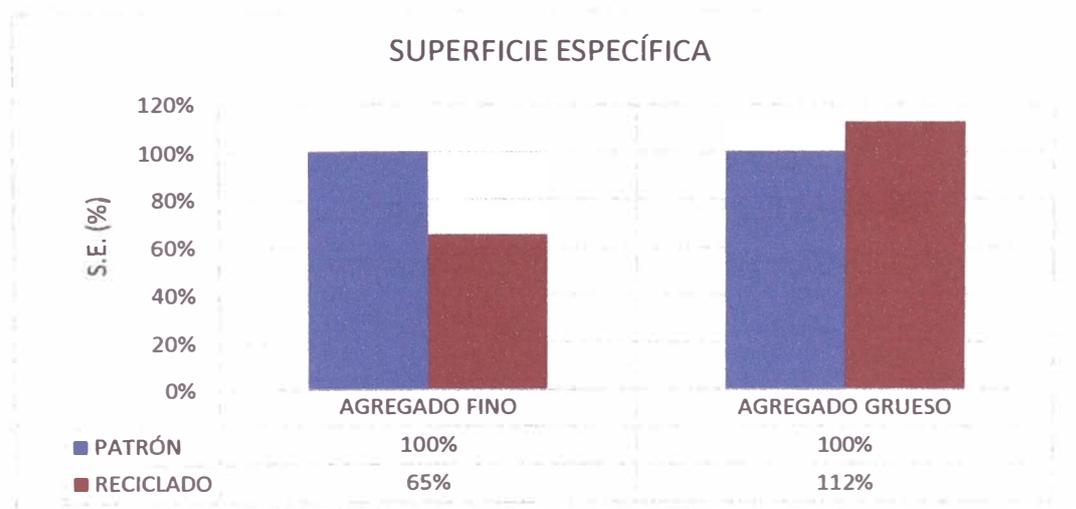


Figura N°7.7: Comparación de la Superficie Específica de los Agregados

Fuente: Elaboración Propia

7.1.4 PESO UNITARIO SUELTO

Los valores del peso unitario suelto del árido fino patrón y reciclado son 1504.81kg/m³ y 1288.00kg/m³, de la figura N°7.8 se observa una variación porcentual de 14% menor del reciclado respecto del patrón, lo que indica una mayor presencia de vacíos en el agregado reciclado, además de su menor peso.

Para el agregado grueso patrón y reciclado los valores del PUS son 1451.40kg/m³ y 1149.00kg/m³ respectivamente; la diferencia porcentual entre ambos es de 21% menor para el material reciclado indicado en la figura N°7.8, lo que significa una mayor cantidad de vacíos y menor peso del agregado reciclado.

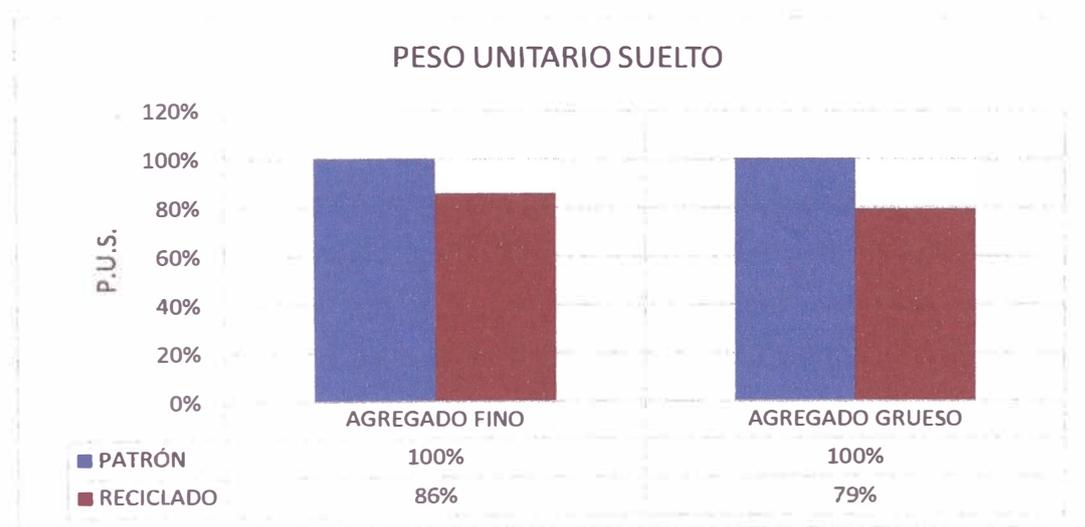


Figura N°7.8: Comparación del Peso Unitario Suelto de los Agregados

Fuente: Elaboración Propia

7.1.5 PESO UNITARIO COMPACTADO

El P.U.C. del agregado fino patrón es de 1732.25kg/m³ y del reciclado 1544.99kg/m³, de la figura N°7.9 la variación porcentual es de 11% menor para el agregado fino reciclado, indicando un mejor acomodo de partículas para el material fino patrón.

En lo que respecta al P.U.C. del agregado grueso patrón y reciclado son de 1601.90kg/m³ y 1319.23kg/m³ respectivamente, la diferencia en porcentaje se indica en la figura N°7.9 y es de 18% por lo que también el agregado grueso patrón tiene un mejor acomodo de sus partículas.

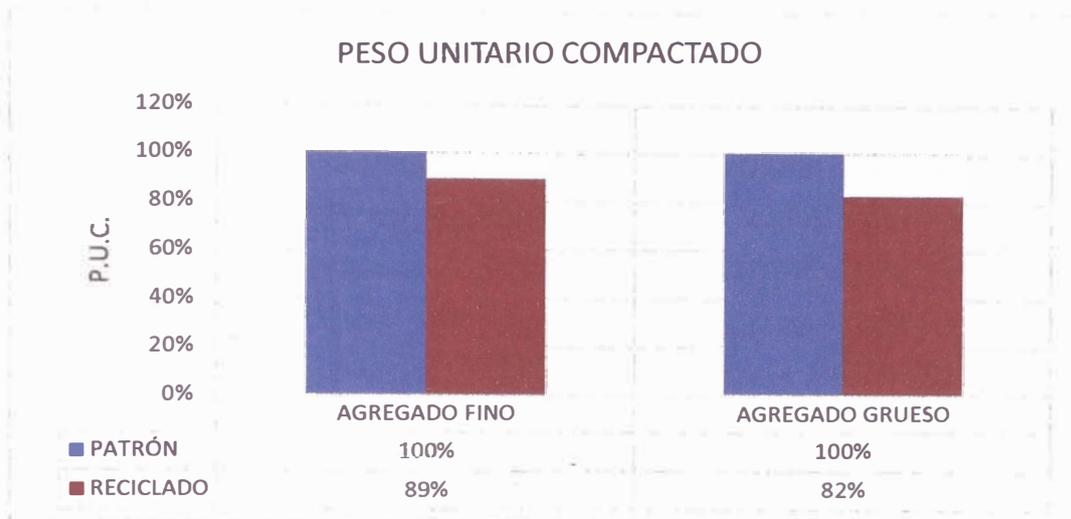


Figura N°7.9: Comparación del Peso Unitario Compactado de los Agregados

Fuente: Elaboración Propia

7.1.6 PESO ESPECÍFICO

En la figura N°7.10 se tiene la variación porcentual de 19% menor para el agregado fino reciclado respecto del patrón del peso específico, esto indica que el material reciclado es más ligero que el patrón; el árido fino patrón tiene como peso específico 2.55g/cm³ y el reciclado 2.07g/cm³. Además, se tiene la diferencia porcentual de 23% menor de peso específico del agregado grueso reciclado (2.13g/cm³) comparado con el patrón (2.77g/cm³), consecuentemente el agregado reciclado grueso también es más ligero que el patrón.

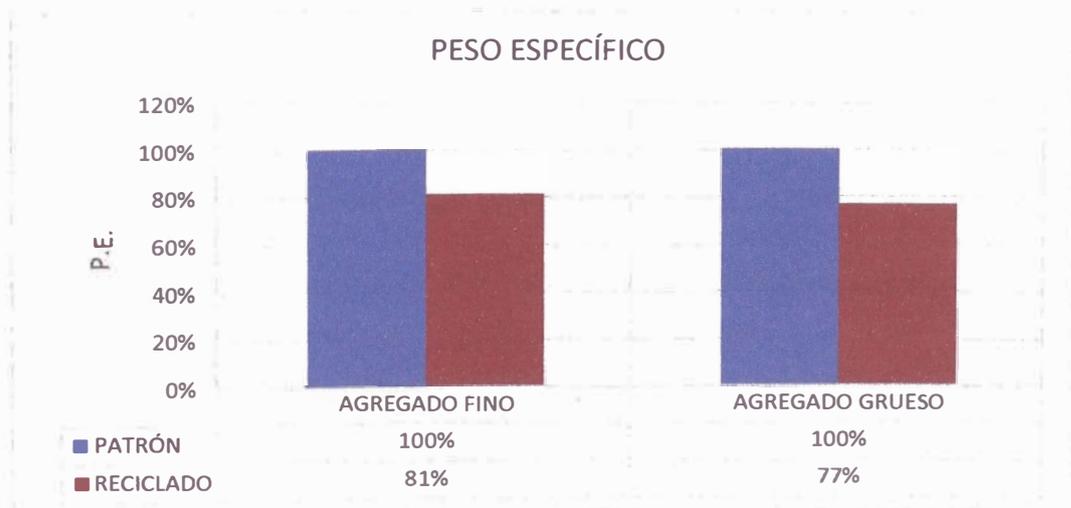


Figura N°7.10: Comparación del Peso Específico de los Agregados

Fuente: Elaboración Propia

7.1.7 ABSORCIÓN

De la figura N°7.11 se tiene una variación porcentual de 442% mayor para el agregado fino reciclado respecto del agregado fino patrón y 993% mayor para el agregado grueso reciclado respecto del árido grueso patrón. Como resultado del ensayo de absorción se obtuvo el 1.94% y 10.54% para el agregado fino patrón y reciclado respectivamente, mientras que para el agregado grueso patrón el resultado fue 0.85% y para el reciclado 9.26%; estos porcentajes altos del material de provenientes de los escombros se debe a que se consideró material con alto grado de porosidad como la arcilla cocida y el mortero ambos presentes en los residuos de muros de albañilería.

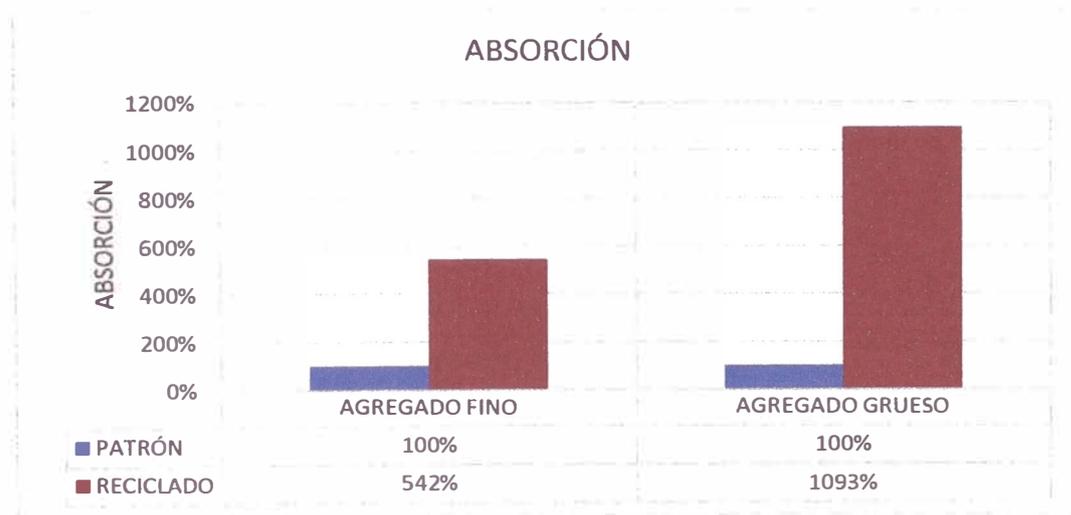


Figura N°7.11: Comparación de la Absorción de los Agregados

Fuente: Elaboración Propia

7.1.8 MATERIAL FINO QUE PASA LA MALLA N°200

Los resultados de este ensayo fueron de 9.75% y 5.88% para el árido fino patrón y reciclado respectivamente, realizando una comparación entre ambos en material patrón contiene 40% más de partículas finas que pasan la malla N°200 que el reciclado.

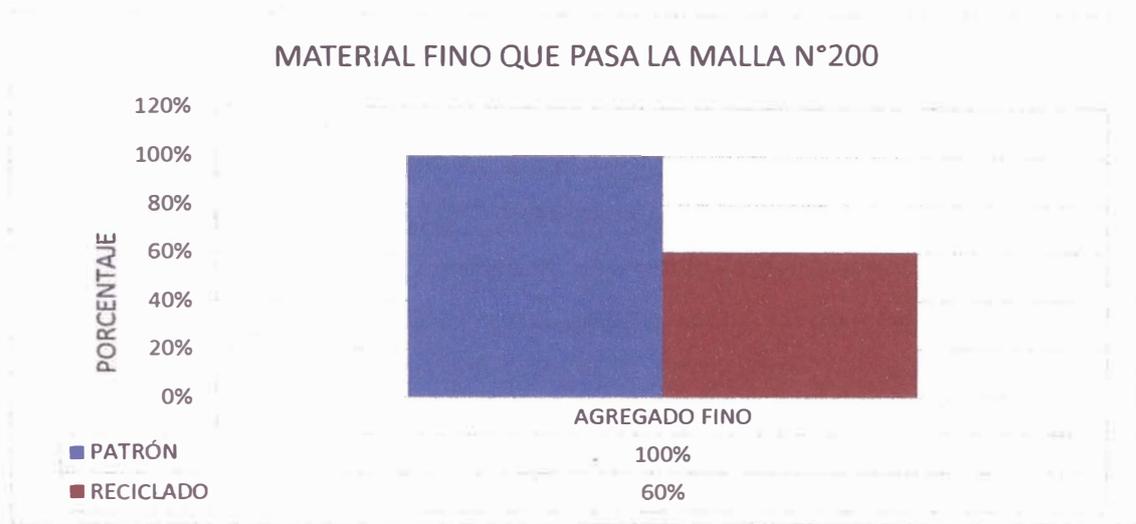


Figura N°7.12: Comparación del Material Fino que Pasa la Malla N°200 del Agregado Fino
Fuente: Elaboración Propia

7.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CONCRETO EN EL ESTADO FRESCO

7.2.1 CONSISTENCIA

En la figura N°7.13 se observa los asentamientos para el concreto patrón de 3 1/2", 3 1/4" y 3 1/2" y para el concreto combinado de 3 1/2", 3 3/4" y 3 3/4" para la muestra combinada, para las relaciones de cemento: agregados de 1:3, 1:4 y 1:5 respectivamente. Todos ellos se encuentran entre 3" a 4" de asentamiento que es el que se propuso.

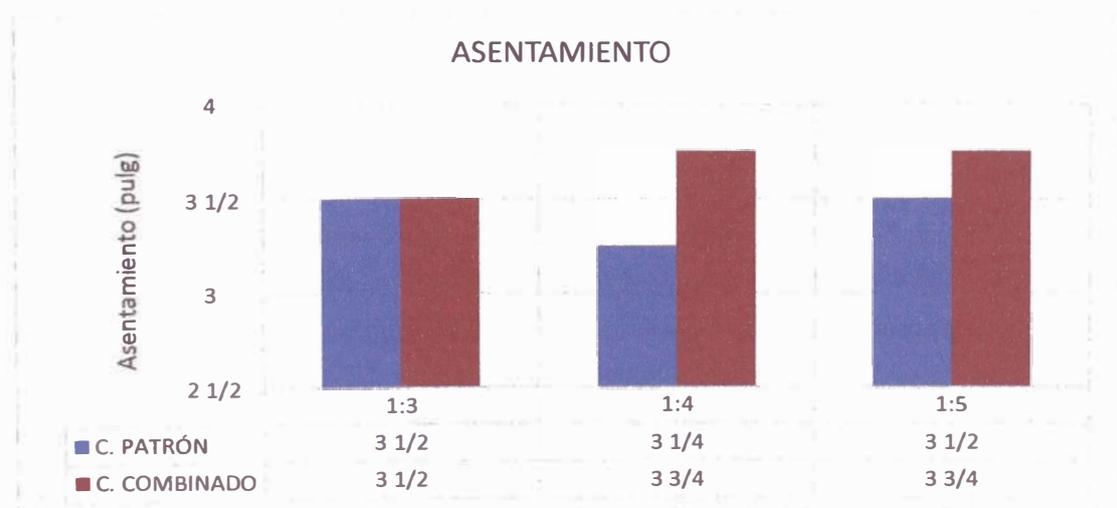


Figura N°7.13: Comparación del Asentamiento del Concreto en el Estado Fresco
Fuente: Elaboración Propia

7.2.2 PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO

Los valores del peso unitario volumétrico en estado fresco del concreto patrón son de 2370.95 kg/m³, 2369.54 kg/m³ y 2364.60 kg/m³ y para el concreto combinado de 2210.93 kg/m³, 2181.68 kg/m³ y 2171.11 kg/m³ para las relaciones 1:3, 1:4 y 1:5, de cemento y agregado respectivamente. Comparando en la figura N°8.14 los concretos para cada relación se observó que la muestra combinada es el 93.25%, 92.07% y 91.82% del patrón, para las relaciones 1:3, 1:4 y 1:5 respectivamente. En síntesis, la variación porcentual del peso unitario de la muestra combinada es 7.5% menor que el patrón; esto debido a los vacíos que tienen los agregados reciclados y que en el proceso de mezcla se saturan de agua cuyo peso específico es menor que los agregados.

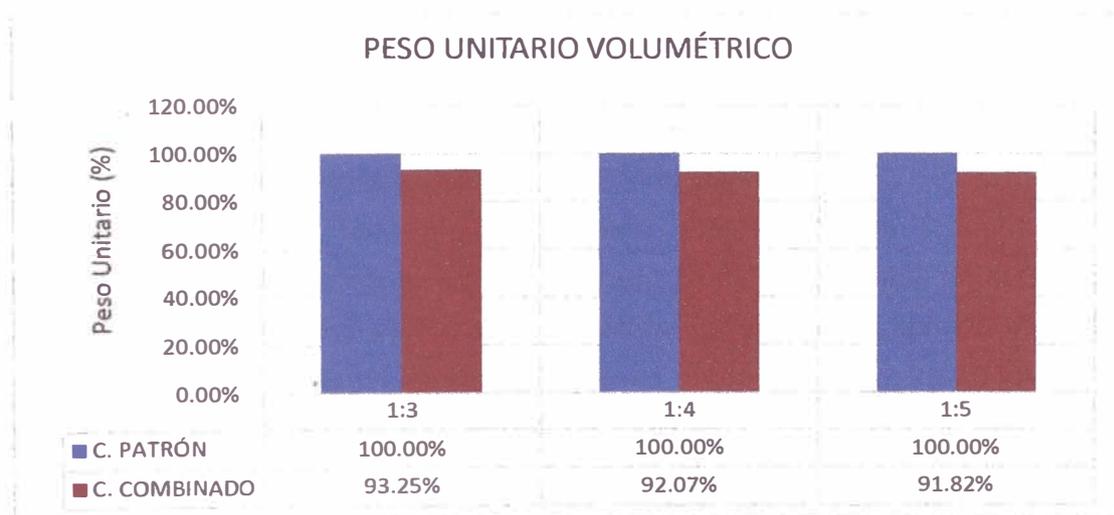


Figura N°7.14: Comparación del Peso Unitario Volumétrico del Concreto en el Estado Fresco

Fuente: Elaboración Propia

7.2.3 FLUIDEZ

La fluidez para las relaciones 1:3, 1:4 y 1:5 son 43%, 46% y 53% para el concreto patrón, en tanto que para el concreto combinado son 42%, 44% y 46% respectivamente. En la figura N°7.15 se comparan porcentualmente obteniendo que el concreto combinado resulta ser el 96.90%, 95.68% y 87.34% del concreto patrón para las relaciones 1:3, 1:4 y 1:5 respectivamente, en promedio un 7% menor que el patrón, esto es debido que a pesar que se encuentran dentro del mismo intervalo de asentamiento entre 3" a 4", la mezcla combinada por la naturaleza de sus agregados más angulados y rugosas presenta menor fluidez que el patrón.

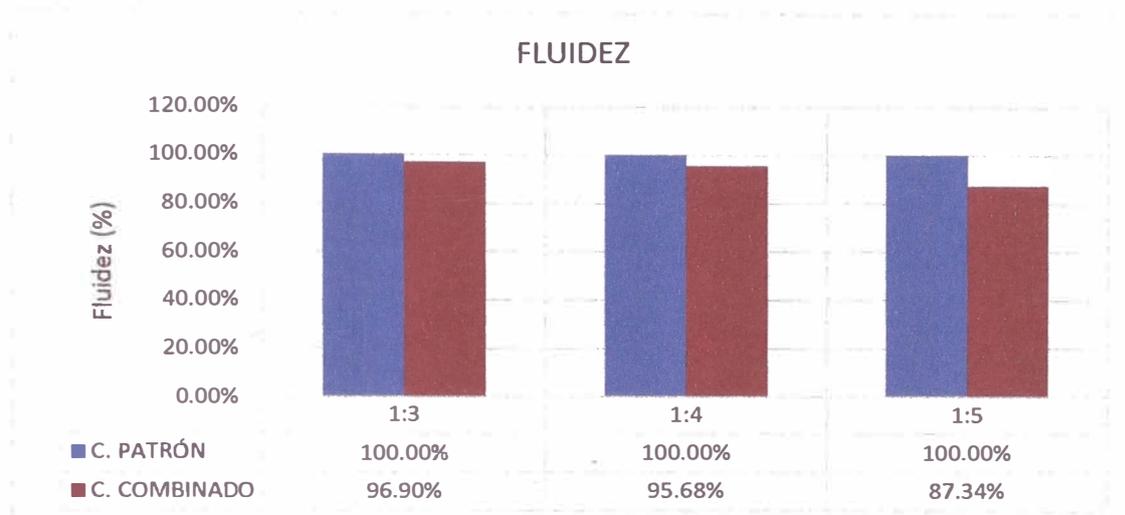


Figura N°7.15: Comparación de la Fluidéz del Concreto en el Estado Fresco

Fuente: Elaboración Propia

7.2.4 TIEMPO DE FRAGUA

El tiempo de fragua inicial para el concreto patrón es de 5h:20min, 5h:35min y 6h:14min, en tanto que el concreto combinado presenta 5h:28min, 5h:52min y 7h:02min, para las relaciones de cemento y agregado de 1:3, 1:4 y 1:5 respectivamente. En la figura N°7.16 se presenta la comparación de la muestra combinada respecto del patrón en porcentaje dando los valores de 102.66%, 105.2% y 112.81% para las mismas relaciones. Es en promedio 7% el tiempo de fragua que se incrementa en el concreto combinado.

El tiempo de fragua final para el concreto patrón es de 7h:19min, 7h:38min y 8h:23min, en tanto que para la muestra combinada presenta los resultados de 7h:37min, 8h:20min y 10h:20min, para las relaciones de 1:3, 1:4 y 1:5. La figura N°7.16 indica los porcentajes respecto al concreto patrón de la muestra combinada cuyos valores son 104.21%, 109.15% y 123.18% para las relaciones ya mencionadas. En promedio el tiempo de fragua final de la mezcla combinada aumenta en 12% teniendo en cuenta al patrón.

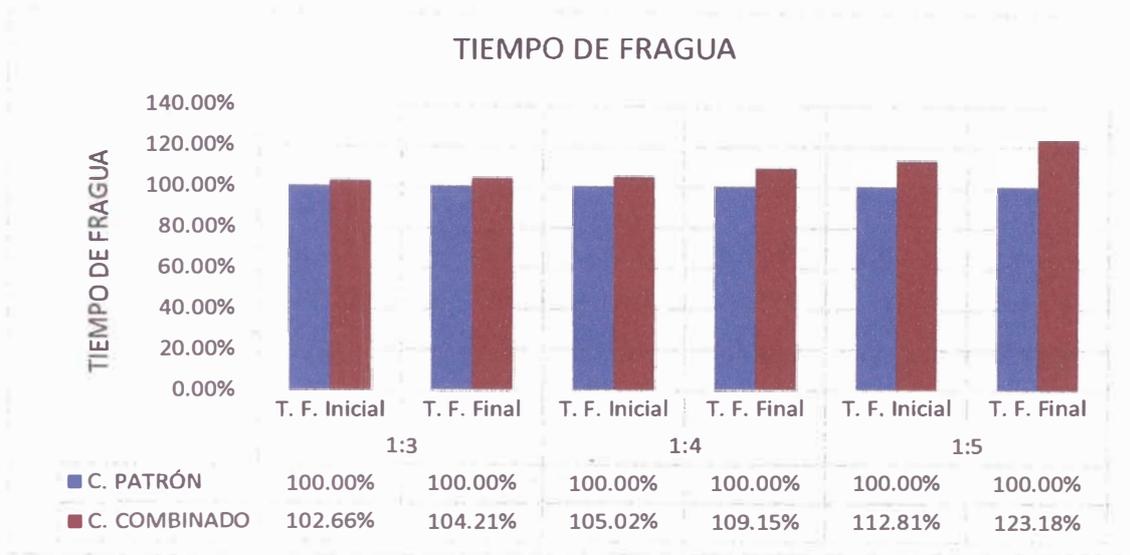


Figura N°7.16: Comparación del Tiempo de Fragua del Concreto en el Estado Fresco

Fuente: Elaboración Propia

7.2.5 EXUDACIÓN

Para el ensayo de exudación para el concreto patrón se obtuvo los valores de 1.37%, 1.52% y 2.43% y para el concreto combinado 1.61%, 2.47% y 3.27% para las relaciones de 1:3, 1:4 y 1:5 respectivamente. En la figura N°7.17 se muestra los porcentajes del concreto combinado de 117.52%, 162.78% y 134.60% teniendo como referencia al patrón. Este aumento en promedio es de 38%, debido a la mayor cantidad de agua en el diseño que necesita la muestra combinada por la alta absorción de sus agregados y que por ende no llegan a formar la pasta en conjunto con el cemento.

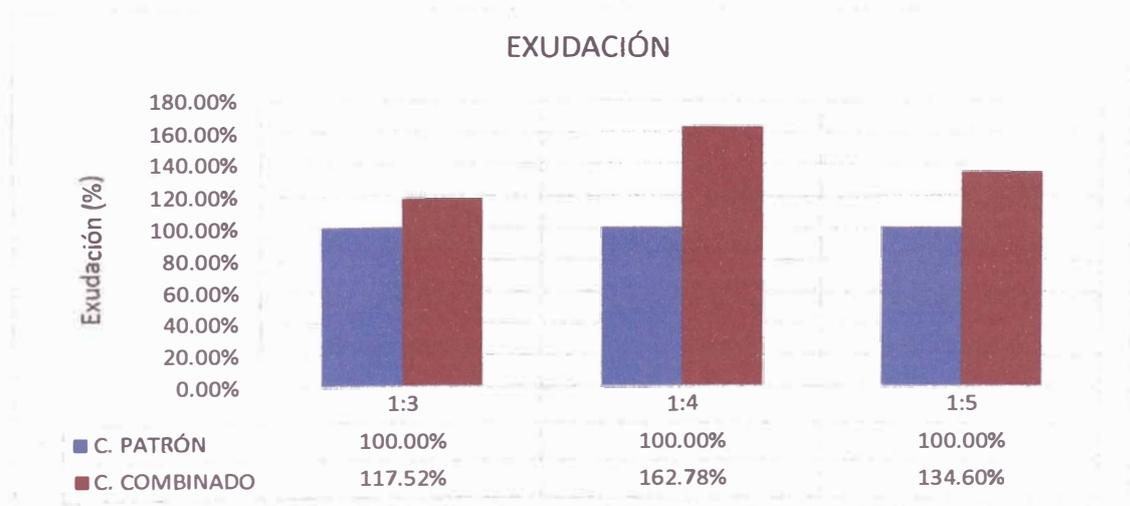


Figura N°7.17: Comparación de la Exudación del Concreto en el Estado Fresco

Fuente: Elaboración Propia

7.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CONCRETO EN EL ESTADO ENDURECIDO

7.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL

Para la relación 1 de cemento con 3 de agregados a las edades de 7 y 28 días del concreto endurecido, la muestra patrón presenta la resistencia de compresión axial de 332.71 kg/cm² y 392.58 kg/cm², para la muestra combinada presenta 294.20 kg/cm² y 328.38 kg/cm². Se presenta en la figura N°7.18 comparación porcentual del concreto combinado respecto del patrón, dando como resultado 88.43% y 83.65% para las edades de 7 y 28 días respectivamente. La disminución de la resistencia es en promedio 14% para la relación 1:3.

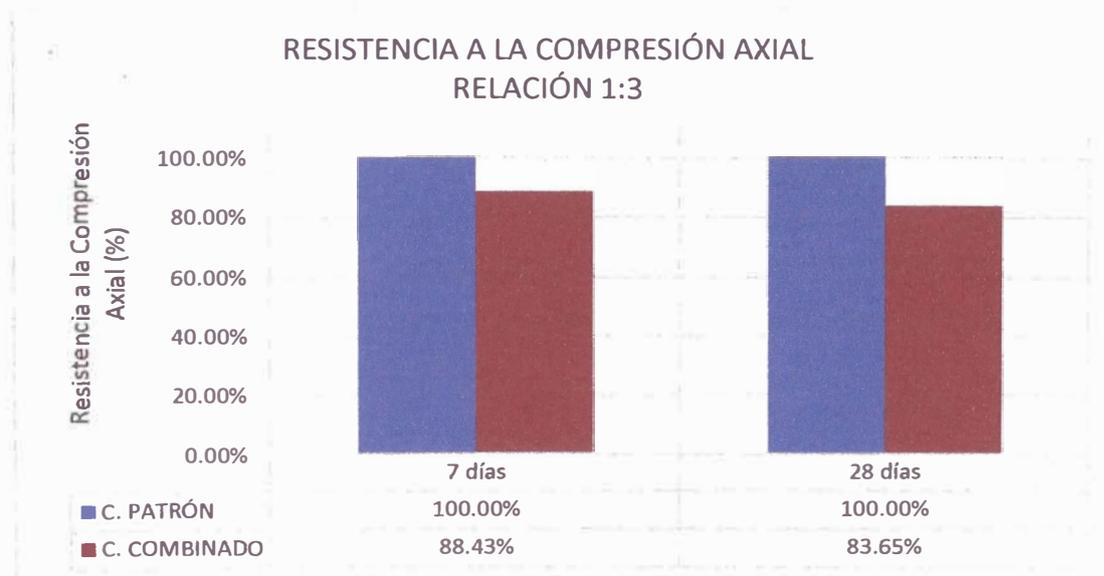


Figura N°7.18: Comparación de la Resistencia a la Compresión Axial Relación 1:3

Fuente: Elaboración Propia

También se tiene que para la relación de 1:4 la resistencia de compresión axial obtenida para el concreto patrón es de 315.41 kg/cm² y 359.77 kg/cm² y para el concreto combinado es de 208.99 kg/cm² y 263.26 kg/cm² para las edades de 7 y 28 días respectivamente. En la figura N°7.19 se compara las resistencias para las edades mencionadas y dando como resultado que la muestra combinada es 66.26% y 73.17% respecto del patrón. Por lo que en promedio la resistencia del concreto combinado es 30% menor que el patrón.

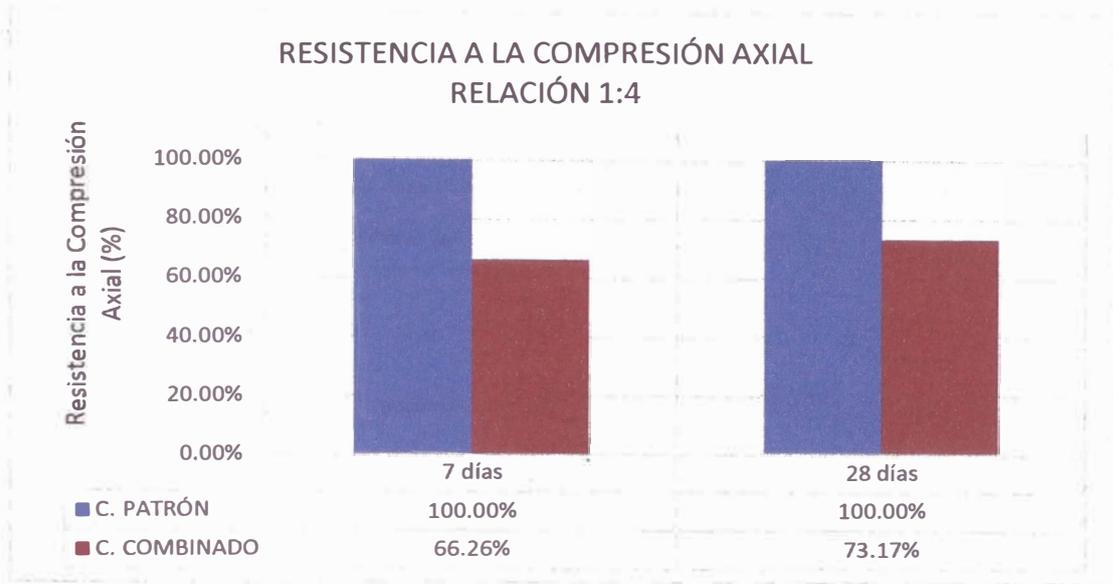


Figura N°7.19: Comparación de la Resistencia a la Compresión Axial Relación 1:4

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente se tiene que para la relación 1:5 la resistencia a la compresión axial en las edades de 7 y 28 días del concreto patrón es de 218.57 kg/cm² y 273.64 kg/cm², mientras que para el concreto combinado es de 153.68 kg/cm² y 249.22kg/cm² respectivamente. En la figura N°7.20 las barras comparativas muestran que el concreto combinado representa el 70.31% y 91.08% del patrón para las edades de 7 y 28 días. Por tanto, en promedio la muestra reciclada viene a ser 20% menor que el patrón.

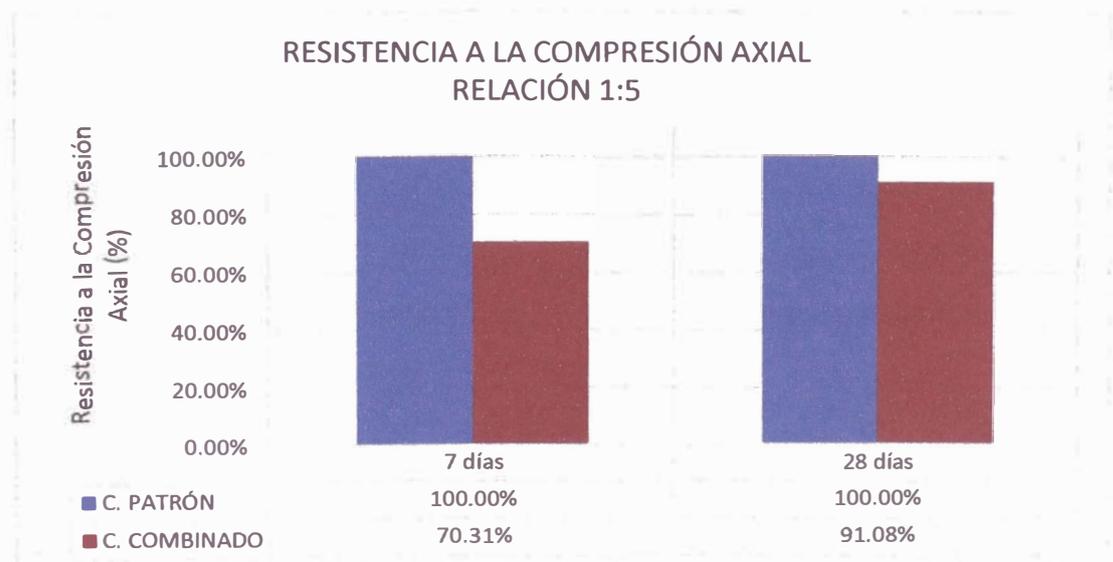


Figura N°7.20: Comparación de la Resistencia a la Compresión Axial Relación 1:5

Fuente: Elaboración Propia

Dada las relaciones 1:3, 1:4 y 1:5, a los 28 días se observa que al incrementarse el contenido de agregados no presenta una proporcionalidad definida con la diferencia de resistencia a la compresión axial entre el concreto patrón y combinado; esto se hace notable por la aleatoriedad de la procedencia y los diferentes tipos de materiales de los agregados reciclados.

7.3.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

Para las relaciones 1:3, 1:4 y 1:5, los valores de este ensayo para el concreto patrón son 37.86 kg/cm², 36.59 kg/cm² y 33.98 kg/cm², y para el concreto combinado son 30.24kg/cm², 26.24kg/cm² y 25.47kg/cm² respectivamente. La figura N°7.21 compara porcentualmente la muestra combinada obteniendo los valores de 79.87%, 71.71% y 74.95% respecto del patrón. En promedio la muestra combinada es 24% menor que el patrón.

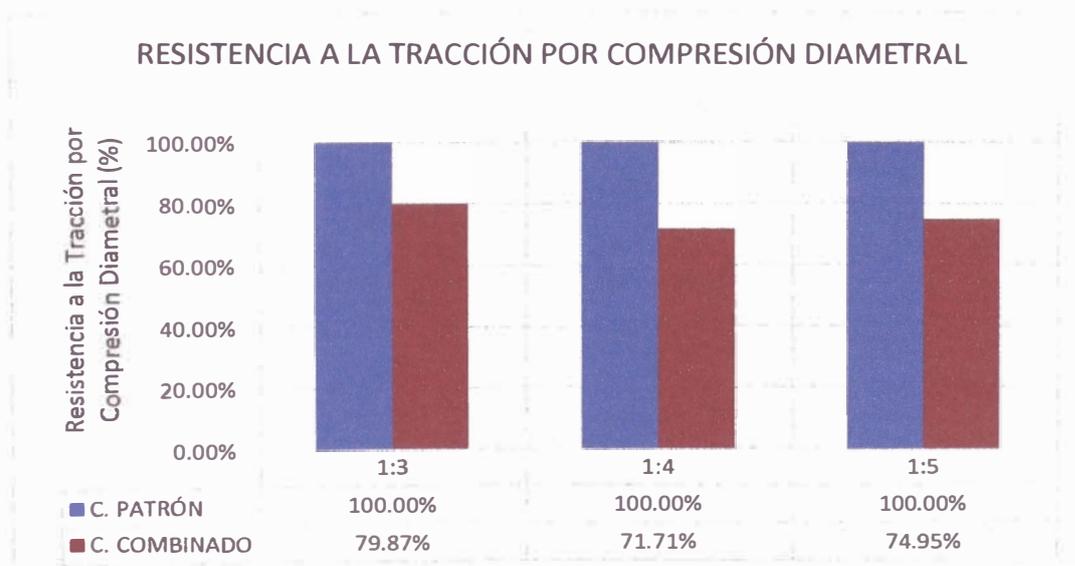


Figura N°7.21: Comparación de la Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral

Fuente: Elaboración Propia

7.3.3 ABSORCIÓN

Los valores obtenidos de absorción de agua para el concreto patrón son 5.71%, 8.21% y 9.14%, en tanto que para la muestra combinada resultó 4.92%, 6.47% y 6.78%, para las relaciones de 1:3, 1:4 y 1:5 respectivamente. En la figura N°7.22 se observa que el concreto combinado representa el 86.25%, 78.75% y 74.13% del concreto patrón, esto se dio debido al 62% de agregado fino patrón que se utilizó para elaborar la mezcla combinada, lo que produjo una menor cantidad de vacíos y un mejor acabado en el concreto endurecido resultante.

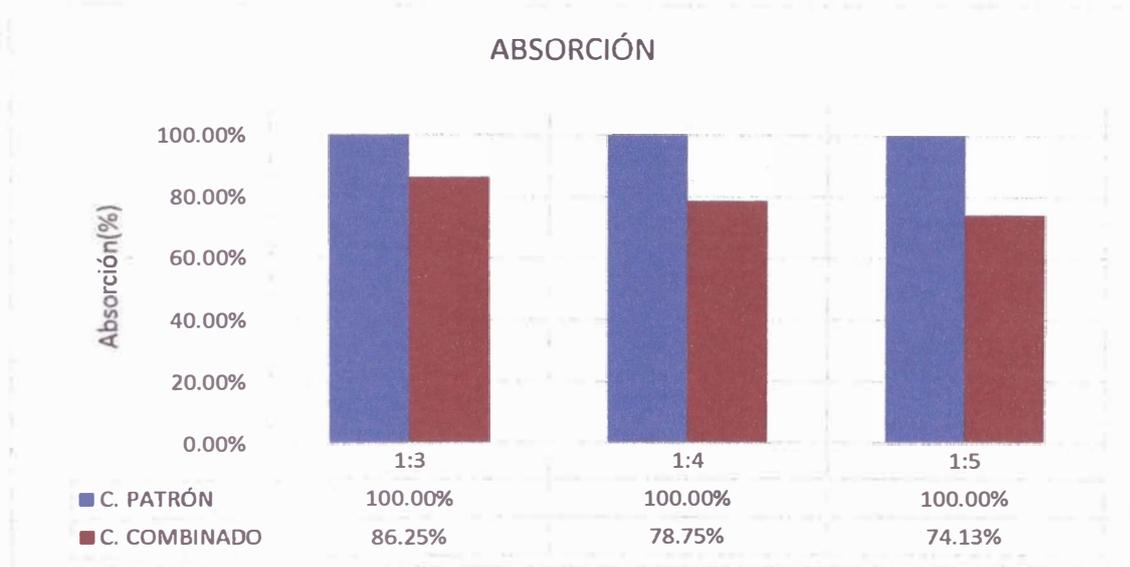


Figura N°7.22: Comparación de la Absorción en el Concreto Endurecido

Fuente: Elaboración Propia

7.3.4 MÓDULO ELÁSTICO ESTÁTICO

El módulo elástico estático obtenido luego del ensayo para el concreto patrón es 212060.49 kg/cm², 200539.65 kg/cm² y 183050.51 kg/cm², en tanto que el concreto combinado es de 158728.63kg/cm², 156307.24 kg/cm² y 155535.47 kg/cm² para las relaciones de 1:3, 1:4 y 1: 5 según corresponde. La figura N°7.23 muestra el porcentaje que representa la muestra combinada de 74.85%, 77.94% y 84.97% respecto del patrón para las relaciones 1:3, 1:4 y 1:5. En promedio se tiene que el módulo elástico estático de la muestra combinada es 20% menor que el patrón.

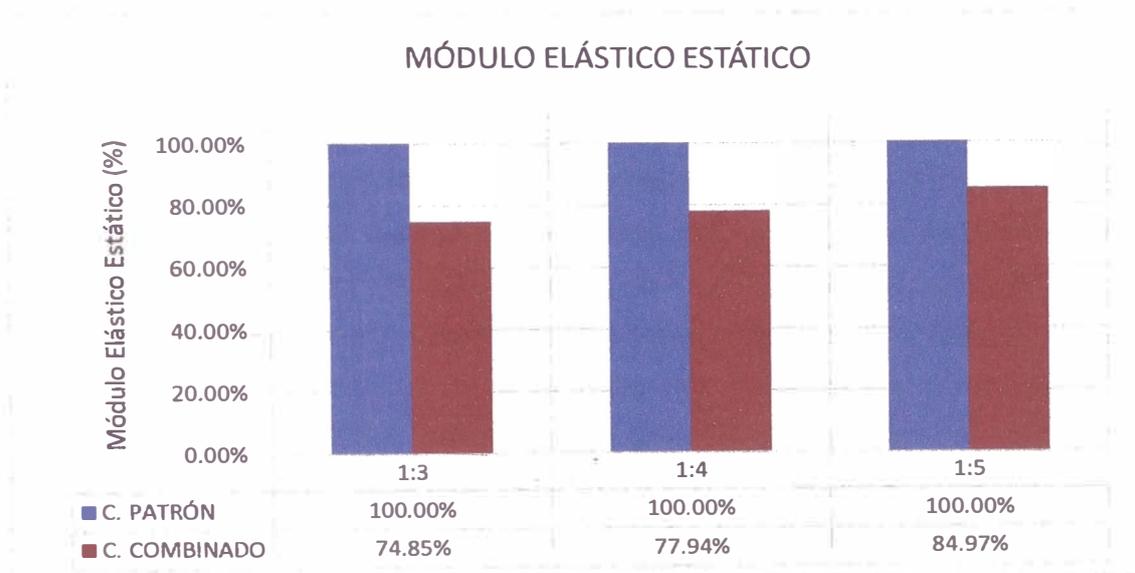


Figura N°7.23: Comparación del Módulo Elástico Estático en el Concreto

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

Se detallan a continuación las conclusiones de la presente tesis donde se elaboró un concreto a partir de agregados obtenidos del reciclado de los residuos de construcción y demolición (RCD) de origen pétreo, más un porcentaje de agregado fino natural, el cual se denominó "Concreto Combinado"; este fue comparado con el "Concreto Patrón" en el cual se utilizó agregados naturales. En ambos casos se realizaron con cemento Sol tipo I y agua de las instalaciones del LEM, así mismo se prepararon en las mismas relaciones de diseño. Como producto de realizar los respectivos ensayos a las muestras de agregados, como también a las muestras de concreto en estado fresco y endurecido y luego del análisis de los resultados obtenidos se formularon las siguientes conclusiones:

- La curva granulométrica del agregado fino reciclado a diferencia del patrón se encuentra en gran parte fuera del huso "C" establecido por la NTP 400.037, debido a que posee altos porcentajes de fracciones de material grueso.
- El agregado grueso reciclado presenta un mayor porcentaje de partículas de 1" de tamaño, en consecuencia, hace que su curva granulométrica se desfase del huso ASTM 36 establecido en la NTP 400.037 en ese tamaño. Por el contrario, el agregado fino patrón se encuentra totalmente dentro del huso mencionado.
- El módulo de finura del agregado fino reciclado es 47% mayor que el patrón lo que indica una menor cantidad de partículas finas. En el caso del agregado grueso reciclado es 2% mayor respecto que el agregado reciclado.
- Para el agregado fino reciclado se concluye que posee 35% menos de superficie específica, 14% menos de peso unitario suelto, 11% menos de peso unitario compactado, 19% menos de peso específico, 442% más de absorción y 40% menos de material fino que pasa la malla N°200; que el agregado fino patrón.

- Para el agregado grueso reciclado se concluye que posee 12% más de superficie específica, 21% menos de peso unitario suelto, 18% menos de peso unitario compactado, 23% menos de peso específico y 993% más de absorción; que el agregado grueso patrón.
- El porcentaje óptimo de agregados para la elaboración del concreto patrón es de 53% de agregado fino patrón y 47% de agregado grueso patrón, la curva granulométrica del agregado global patrón resultante se encuentra dentro del huso DIN 1045, mientras que en el intervalo de 1/2" a 3/4" se encuentra fuera del huso establecido en la NTP 400.037.
- La curva granulométrica del agregado global reciclado procedente directamente de la trituración manual y el tamizado para que tenga un tamaño máximo nominal de 1", se encuentra fuera del huso DIN 1045 y del huso de la NTP 400.037, es debido a que posee poco material fino en su composición.
- El agregado global combinado conformado por un porcentaje óptimo determinado por el ensayo de máxima compacidad contiene 62% de agregado fino patrón y 38% de agregado global reciclado, además presenta una curva granulométrica que se encuentra parcialmente dentro del huso DIN 1045 y mayormente fuera del huso de la NTP 400.037.
- Para el mismo rango de asentamiento de 3" a 4", la cantidad de agua requerida para el diseño es mayor en la mezcla combinada que en la del patrón.
- Para el concreto combinado en estado fresco presenta en promedio 7.5% menos de peso unitario volumétrico, 7% menos de fluidez, un incremento de 7% en el tiempo de fragua inicial, un aumento de 12% en el tiempo de fragua final y 38% más de exudación; que el concreto patrón.
- Para el concreto combinado con la relación 1:3 entre cemento y agregado, la resistencia a la compresión axial disminuye un 12% y 14% respecto del concreto patrón para las edades de 7 y 28 días respectivamente.

- Para el concreto combinado con la relación 1:4 entre cemento y agregado, la resistencia a la compresión axial disminuye un 34% y 27% respecto del patrón para las edades de 7 y 28 días respectivamente.
- Para el concreto combinado con la relación 1:5 entre cemento y agregado, la resistencia a la compresión axial disminuye un 30% y 9% respecto del patrón para las edades de 7 y 28 días respectivamente.
- La resistencia de la tracción por compresión diametral del concreto combinado disminuye en 20%, 28% y 25% respecto del concreto patrón para las relaciones 1:3, 1:4 y 1:5 respectivamente, todo ello a una edad del concreto de 28 días.
- La absorción que presenta el concreto combinado en estado endurecido disminuye en 14%, 21% y 26% respecto del concreto patrón para las relaciones 1:3, 1:4 y 1:5 respectivamente.
- El módulo elástico estático del concreto combinado disminuye en 25%, 22% y 15% con respecto del concreto patrón, para las relaciones 1:3, 1:4 y 1:5 respectivamente.

RECOMENDACIONES

- Promover la implementación de plantas de recolección de los residuos de construcción y demolición (RCD) en el Perú, encargadas también de la clasificación de los escombros según su origen para su posterior reutilización o reciclaje.
- Promover la implementación de plantas dedicadas a la industria del reciclaje de los residuos de construcción y demolición (RCD) de origen pétreo, encargadas de su transformación como agregados o material de relleno adecuado para el sector construcción.
- Se sugiere la investigar el uso de agregados procedentes de los RCD reciclados en la elaboración de concreto seco vibro compactados para elementos prefabricados como bloques, adoquines, ladrillos, cercos decorativos, block Grass, sardineles entre otros.
- Debido a un alto porcentaje de partículas gruesas que presenta el agregado reciclado procedente de la trituración de los RCD de origen pétreo, se recomienda su combinación con agregado fino natural para mejorar su distribución granulométrica.
- Se recomienda saturar parcialmente los agregados reciclados antes de ser mezclados con el cemento, para disminuir el tiempo de mezclado y mejorar las propiedades del concreto en estado fresco.
- Se recomienda la metodología de diseño de mezcla descrita en la presente tesis, para la elaboración del concreto combinado usado en obras provisionales o no estructurales como falsos pisos y veredas, como también para muros de gravedad, bloques contra impacto, muros anti deslumbramiento entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alaejos P., Domingo A. y Monleón S., "Puente reciclado sobre el río Turia en Manises (Valencia). En III Congreso de ACHE de puentes y estructuras. Zaragoza, España 2005.
2. Alarcón S, José L. "Estudio del Concreto de Mediana a Alta Resistencia, Variando el tamaño máximo del agregado grueso de tipo angular con Cemento Portland Tipo I". Tesis para Optar el Título Profesional UNI-FIC, Lima 2001.
3. American Concrete Institute (2004), ACI 555R-04 Report, Removal and Reuse of Hardened Concrete, ACI, Michigan, USA, 2004.
4. Asociación Colombiana de Productores de Cemento - ASOCRETO - Instituto del Concreto, "Colección Básica del Concreto 1 - Tecnología y Propiedades". Colombia 1997.
5. Autores varios, "Manual de demoliciones, reciclaje y manipulación de materiales", Primera Edición, Fueyo Editores, Madrid 2008.
6. Bazán G., Irwin O., "Caracterización de los residuos de construcción de Lima y Callao (Estudio Caso)". Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil PUCP, Lima 2018.
7. Bedoya M., Carlos. "El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles". Tesis de Maestría Universidad Nacional de Colombia, Medellín 2003.
8. Burgos, D. "Guía para la gestión y tratamiento de residuos y desperdicios de proyectos de construcción y demolición" Universidad Austral de Chile, Chile 2010.
9. Carbajal S., Marcia A., "Situación de la gestión y manejo de los residuos sólidos de las actividades de construcción civil del sector vivienda en la ciudad de Lima y Callao". Trabajo monográfico para optar el título de Ingeniero Ambiental UNALM, Lima 2018

10. Comisión Europea, "Protocolo de gestión de los residuos de construcción y demolición en la UE". Europa 2016.
11. Fundación para la Economía Circular, "Economía circular, Apoyar el cambio hacia una economía eficiente en el uso de los recursos". https://economiecircualar.org/wp/?page_id=62, Madrid, Recuperado el 24 de Enero del 2019.
12. Gonzáles A., Eduardo. "Nuevo método de dosificación sostenible para hormigones con áridos reciclados". Tesina de Especialidad. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona 2012.
13. Mercante, Irma. "Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación de los índices de generación a la gestión ambiental" UCES Revista Científica Vol. XI N°2. Primavera 2007.
14. Morales C., Miller R. "Estudio del comportamiento del concreto incorporando PET reciclado". Tesis para Optar el Título Profesional UNI.FIC, Lima 2016.
15. Neville, A.M., "Tecnología del Concreto" Editorial Trillas, México D.F. 1998.
16. Ponce P. Cesar P. "Estudio del Concreto Reciclado de Mediana a Baja Resistencia, Utilizando Cemento Portland Tipo I". Tesis para Optar el Título Profesional UNI.FIC, Lima 2014.
17. Reglamento Nacional de Edificaciones "Norma E-060 Concreto Armado", Lima 2016
18. Rivva L., Enrique. "Naturaleza y materiales de concreto". Primera Edición, Lima 2000.
19. Sumari R. Jean C. "Estudio del Concreto de Mediana a Alta Resistencia Elaborado con Residuos de Concreto y Cemento Portland Tipo I". Tesis para Optar el Título Profesional UNI.FIC, Lima 2016.

ANEXO A: ENSAYO DE AGREGADOS**A.1 ENSAYO GRANULOMÉTRICO****A.1.1 MUESTRA DE AGREGADO FINO PATRÓN**

MALLA	PESO DE MUESTRA RETENIDO (g)				% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
	MUESTRA			TOTAL			
	N°01	N°02	N°03				
3/8"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	6.68	8.97	6.90	22.55	1.50	1.50	98.50
N°8	58.40	58.31	54.81	171.52	11.43	12.94	87.06
N°16	112.32	111.21	114.62	338.15	22.54	35.48	64.52
N°30	134.94	129.87	128.93	393.73	26.25	61.73	38.27
N°50	96.47	92.56	99.32	288.35	19.22	80.95	19.05
N°100	53.12	57.49	53.81	164.42	10.96	91.92	8.08
FONDO	38.07	41.59	41.61	121.27	8.08	100.00	0.00
TOTAL	500.00	500.00	500.00	1500.00	100.00	MF=	2.85

A.1.2 MUESTRA DE AGREGADO GRUESO PATRÓN

MALLA	PESO DE MUESTRA RETENIDO (g)				% RET.	% RET. ACUM.	% QUE PASA ACUM.
	MUESTRA			TOTAL			
	N°01	N°02	N°03				
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	609.18	641.93	427.52	1678.62	5.60	5.60	94.40
3/4"	3028.16	3189.57	3529.86	9747.59	32.49	38.09	61.91
1/2"	4629.39	4563.69	4495.61	13688.69	45.63	83.72	16.28
3/8"	1206.94	1103.31	1078.26	3388.50	11.30	95.01	4.99
N°4	501.49	461.38	437.93	1400.80	4.67	99.68	0.32
FONDO	24.84	40.12	30.83	95.79	0.32	100.00	0.00
TOTAL	10000.00	10000.00	10000.00	30000.00	100.00	MF=	7.33

A.1.3 MUESTRA DE AGREGADO GLOBAL PATRÓN

MALLA	PORCENTAJE RETENIDO (%)		AGREGADO GLOBAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
	A. GRUESO 47%	A. FINO 53%			
1 1/2"	0.00		0.00	0.00	100.00
1"	5.60		2.63	2.63	97.37
3/4"	32.49		15.27	17.90	82.10
1/2"	45.63		21.45	39.35	60.65
3/8"	11.30		5.31	44.66	55.34
N°4	4.67	1.50	2.99	47.65	52.35
N°8	0.32	11.43	6.21	53.86	46.14
N°16		22.54	11.95	65.81	34.19
N°30		26.25	13.91	79.72	20.28
N°50		19.22	10.19	89.91	10.09
N°100		10.96	5.81	95.72	4.28
FONDO		8.08	4.28	100.00	0.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00	MF=	5.48

A.1.4 MUESTRA DE AGREGADO FINO RECICLADO

MALLA	PESO DE MUESTRA RETENIDO (g)				% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
	MUESTRA			TOTAL			
	N°01	N°02	N°03				
3/8"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	115.46	163.77	157.90	437.13	29.14	29.14	70.86
N°8	125.95	110.18	117.70	353.83	23.59	52.73	47.27
N°16	96.98	78.08	81.60	256.67	17.11	69.84	30.16
N°30	66.62	57.29	54.50	178.41	11.89	81.74	18.26
N°50	41.15	39.59	38.20	118.94	7.93	89.66	10.34
N°100	24.87	23.80	22.60	71.27	4.75	94.42	5.58
FONDO	28.97	27.29	27.50	83.76	5.58	100.00	0.00
TOTAL	500.00	500.00	500.00	1500.00	100.00	MF=	4.18

A.1.5 MUESTRA DE AGREGADO GRUESO RECICLADO

MALLA	PESO DE MUESTRA RETENIDO (g)				% RET.	% RET. ACUM.	% QUE PASA ACUM.
	MUESTRA			TOTAL			
	N°01	N°02	N°03				
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	3036.20	2898.95	3322.77	9257.93	30.86	30.86	69.14
3/4"	2376.53	2197.25	2115.70	6689.48	22.30	53.16	46.84
1/2"	2925.61	3119.50	2984.04	9029.15	30.10	83.26	16.74
3/8"	993.37	1043.54	918.96	2955.87	9.85	93.11	6.89
N°4	395.70	424.67	398.58	1218.95	4.06	97.17	2.83
FONDO	272.59	316.10	259.94	848.62	2.83	100.00	0.00
TOTAL	10000.00	10000.00	10000.00	30000.00	100.00	MF=	7.46

A.1.6 MUESTRA DE AGREGADO GLOBAL RECICLADO

MALLA	PORCENTAJE RETENIDO (%)		AGREGADO GLOBAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
	A. GRUESO 70%	A. FINO 30%			
1 1/2"	0.00		0.00	0.00	100.00
1"	30.86		21.60	21.60	78.40
3/4"	22.30		15.61	37.21	62.79
1/2"	30.10		21.07	58.28	41.72
3/8"	9.85		6.90	65.18	34.82
N°4	4.06	29.14	11.59	76.76	23.24
N°8	2.83	23.59	9.06	85.82	14.18
N°16		17.11	5.13	90.95	9.05
N°30		11.89	3.57	94.52	5.48
N°50		7.93	2.38	96.90	3.10
N°100		4.75	1.43	98.32	1.68
FONDO		5.58	1.68	100.00	0.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00	MF=	6.69

A.1.7 MUESTRA DE AGREGADO GLOBAL COMBINADO

MALLA	PORCENTAJE RETENIDO (%)		AGREGADO GLOBAL COMBINADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
	A. GLOBAL REICLADO 38%	A. FINO PATRÓN 62%			
1 1/2"	0.00		0.00	0.00	100.00
1"	21.60		8.21	8.21	91.79
3/4"	15.61		5.93	14.14	85.86
1/2"	21.07		8.01	22.15	77.85
3/8"	6.90	0.00	2.62	24.77	75.23
N°4	11.59	1.50	5.34	30.10	69.90
N°8	9.06	11.43	10.53	40.63	59.37
N°16	5.13	22.54	15.93	56.56	43.44
N°30	3.57	26.25	17.63	74.19	25.81
N°50	2.38	19.22	12.82	87.01	12.99
N°100	1.43	10.96	7.34	94.35	5.65
FONDO	1.68	8.08	5.65	100.00	0.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00	MF=	4.92

A.2 ENSAYO DE PESO UNITARIO

A.2.1 PESO UNITARIO SUELTO Y PESO UNITARIO COMPACTADO DE MUESTRA DE AGREGADO FINO PATRÓN

N°	DESCRIPCION	UND.	PESO UNITARIO SUELTO			PESO UNITARIO COMPACTADO		
			MUESTRA			MUESTRA		
			N°01	N°02	N°03	N°01	N°02	N°03
1	W Muestra + Tara	kg	5.8490	5.8412	5.8500	6.4934	6.4613	6.5214
2	W Tara	kg	1.5772	1.5772	1.5772	1.5772	1.5772	1.5772
3	W Muestra (1-2)	kg	4.2718	4.2640	4.2728	4.9162	4.8841	4.9442
4	Volumen de la Tara	m ³	0.00284	0.00284	0.00284	0.00284	0.00284	0.00284
5	Peso Unitario (3/4)	kg/m ³	1505.61	1502.86	1505.96	1732.73	1721.41	1742.60
6	Promedio	kg/m ³	1504.81			1732.25		

A.2.2 PESO UNITARIO SUELTO Y PESO UNITARIO COMPACTADO DE MUESTRA DE AGREGADO GRUESO PATRÓN

N°	DESCRIPCION	UND.	PESO UNITARIO SUELTO			PESO UNITARIO COMPACTADO		
			MUESTRA			MUESTRA		
			N°01	N°02	N°03	N°01	N°02	N°03
1	W Muestra + Tara	kg	18.080 0	18.1400	18.0400	19.4400	19.5100	19.5800
2	W Tara	kg	4.3600	4.3600	4.3600	4.3600	4.3600	4.3600
3	W Muestra (1-2)	kg	13.720 0	13.7800	13.6800	15.0800	15.1500	15.2200
4	Volumen de la Tara	m ³	0.0094 6	0.00946	0.00946	0.00946	0.00946	0.00946
5	Peso Unitario (3/4)	kg/m ³	1450.6 9	1457.04	1446.46	1594.49	1601.90	1609.30
6	Promedio	kg/m ³	1451.40			1601.90		

A.2.3 PESO UNITARIO SUELTO Y PESO UNITARIO COMPACTADO DE MUESTRA DE AGREGADO FINO RECICLADO

N°	DESCRIPCION	UND.	PESO UNITARIO SUELTO			PESO UNITARIO COMPACTADO		
			MUESTRA			MUESTRA		
			N°01	N°02	N°03	N°01	N°02	N°03
1	W Muestra + Tara	kg	5.2017	5.2442	5.2489	5.8565	6.0305	5.9952
2	W Tara	kg	1.5772	1.5772	1.5772	1.5772	1.5772	1.5772
3	W Muestra (1-2)	kg	3.6245	3.6670	3.6717	4.2793	4.4533	4.4180
4	Volumen de la Tara	m ³	0.00284	0.00284	0.00284	0.00284	0.00284	0.00284
5	Peso Unitario (3/4)	kg/m ³	1277.46	1292.44	1294.10	1508.25	1569.58	1557.14
6	Promedio	kg/m ³	1288.00			1544.99		

A.2.4 PESO UNITARIO SUELTO Y PESO UNITARIO COMPACTADO DE MUESTRA DE AGREGADO GRUESO RECICLADO

N°	DESCRIPCION	UND.	PESO UNITARIO SUELTO			PESO UNITARIO COMPACTADO		
			MUESTRA			MUESTRA		
			N°01	N°02	N°03	N°01	N°02	N°03
1	W Muestra + Tara	kg	15.3400	15.1400	15.2000	16.5000	16.8000	17.2100
2	W Tara	kg	4.3600	4.3600	4.3600	4.3600	4.3600	4.3600
3	W Muestra (1-2)	kg	10.9800	10.7800	10.8400	12.1400	12.4400	12.8500
4	Volumen de la Tara	m ³	0.00946	0.00946	0.00946	0.00946	0.00946	0.00946
5	Peso Unitario (3/4)	kg/m ³	1160.98	1139.83	1146.18	1283.63	1315.35	1358.70
6	Promedio	kg/m ³	1149.00			1319.23		

A.3 ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

A.3.1 PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE MUESTRA DE AGREGADO FINO PATRÓN

N°	DESCRIPCION	UND.	MUESTRA A. FINO PATRÓN		
			N°01	N°02	N°03
1	W Muestra SSS	g	500.00	500.00	500.00
2	W Muestra SSS. + W Balón+ W Agua	g	951.00	952.20	944.80
3	W Balón	g	142.00	142.00	142.00
4	W Agua	g	309.00	310.20	302.80
5	W de la Muestra Seca	g	489.70	489.90	491.80
6	Vol. del Balón	cm ³	500.00	500.00	500.00
7	P.E. de Masa	g/cm ³	2.56	2.58	2.49
8	P.E. SSS	g/cm ³	2.62	2.63	2.54
9	P.E. Aparente	g/cm ³	2.71	2.73	2.60
10	% de Absorción	%	2.10	2.06	1.67
11	Promedio P.E. de Masa	g/cm ³	2.55		
12	Promedio P.E. SSS	g/cm ³	2.60		
13	Promedio P.E. Aparente	g/cm ³	2.68		
14	Promedio % de Absorción	%	1.94		

A.3.2 PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE MUESTRA DE AGREGADO GRUESO PATRÓN

N°	DESCRIPCION	UND.	MUESTRA A. GRUESO PATRÓN		
			N°01	N°02	N°03
1	W Muestra SSS	g	4000.00	4000.00	4000.00
2	W de la Muestra Saturada en Agua	g	2567.00	2572.20	2571.50
3	W de la Muestra Seca	g	3965.90	3966.80	3966.50
7	P.E. de Masa	g/cm ³	2.77	2.78	2.78
8	P.E. SSS	g/cm ³	2.79	2.80	2.80
9	P.E. Aparente	g/cm ³	2.84	2.84	2.84
10	% de Absorción	%	0.86	0.84	0.84
11	Promedio P.E. de Masa	g/cm ³	2.77		
12	Promedio P.E. SSS	g/cm ³	2.80		
13	Promedio P.E. Aparente	g/cm ³	2.84		
14	Promedio % de Absorción	%	0.85		

A.3.3 PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE MUESTRA DE AGREGADO FINO RECICLADO

N°	DESCRIPCION	UND.	MUESTRA A. FINO RECICLADO		
			N°01	N°02	N°03
1	W Muestra SSS	g	500.00	500.00	500.00
2	W Muestra SSS. + W Balón+ W Agua	g	923.30	922.90	923.60
3	W Balón	g	142.00	142.00	142.00
4	W Agua	g	281.30	280.90	281.60
5	W de la Muestra Seca	g	452.20	452.30	452.50
6	Vol. del Balón	cm ³	500.00	500.00	500.00
7	P.E. de Masa	g/cm ³	2.07	2.06	2.07
8	P.E. SSS	g/cm ³	2.29	2.28	2.29
9	P.E. Aparente	g/cm ³	2.65	2.64	2.65
10	% de Absorción	%	10.57	10.55	10.50
11	Promedio P.E. de Masa	g/cm ³	2.07		
12	Promedio P.E. SSS	g/cm ³	2.29		
13	Promedio P.E. Aparente	g/cm ³	2.64		
14	Promedio % de Absorción	%	10.54		

A.3.4 PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE MUESTRA DE AGREGADO GRUESO RECICLADO

N°	DESCRIPCION	UND.	MUESTRA A. GRUESO RECICLADO		
			N°01	N°02	N°03
1	W Muestra SSS	g	4000.00	4000.00	4000.00
2	W de la Muestra Saturada en Agua	g	2290.50	2273.70	2278.30
3	W de la Muestra Seca	g	3666.80	3656.60	3659.40
7	P.E. de Masa	g/cm ³	2.14	2.12	2.13
8	P.E. SSS	g/cm ³	2.34	2.32	2.32
9	P.E. Aparente	g/cm ³	2.66	2.64	2.65
10	% de Absorción	%	9.09	9.39	9.31
11	Promedio P.E. de Masa	g/cm ³	2.13		
12	Promedio P.E. SSS	g/cm ³	2.33		
13	Promedio P.E. Aparente	g/cm ³	2.65		
14	Promedio % de Absorción	%	9.26		

A.4 ENSAYO DE SUPERFICIE ESPECÍFICA

A.4.1 SUPERFICIE ESPECÍFICA DE MUESTRA DE AGREGADO FINO PATRÓN

MALLA	ABERTURA (cm)	DIAMETRO PROMEDIO (A)	PORCENTAJE DE PESO RETENIDO (B)	SUPERFICIE ESPECÍFICA POR MALLA (B/A)
3/8"	0.9525			
N°4	0.4763	0.714	1.50	2.10
N°8	0.2381	0.357	11.43	32.01
N°16	0.1191	0.179	22.54	126.22
N°30	0.0595	0.089	26.25	293.94
N°50	0.0298	0.045	19.22	430.53
N°100	0.0149	0.022	10.96	490.45

N°	DESCRIPCIÓN	UND.	A.F.P.
1	Sumatoria de Superficie Especifica por Malla	1/cm	1375.26
2	Peso Específico P.E.	g/cm ³	2.55
3	Superficie Específica	cm ² /g	32.41

A.4.2 SUPERFICIE ESPECÍFICA DE MUESTRA DE AGREGADO GRUESO PATRÓN

MALLA	ABERTURA (cm)	DIAMETRO PROMEDIO (A)	PORCENTAJE DE PESO RETENIDO (B)	SUPERFICIE ESPECÍFICA POR MALLA (B/A)
1 1/2"	3.810			
1"	2.540	3.175	5.60	1.76
3/4"	1.905	2.223	32.49	14.62
1/2"	1.270	1.588	45.63	28.74
3/8"	0.953	1.112	11.30	10.16
1/4"	0.635	0.794	4.67	5.88

N°	DESCRIPCIÓN	UND.	A.G.P.
1	Sumatoria de Superficie Especifica por Malla	1/cm	61.17
2	Peso Específico P.E.	g/cm ³	2.77
3	Superficie Específica	cm ² /g	1.32

A.4.3 SUPERFICIE ESPECÍFICA DE MUESTRA DE AGREGADO FINO RECICLADO

MALLA	ABERTURA (cm)	DIAMETRO PROMEDIO (A)	PORCENTAJE DE PESO RETENIDO (B)	SUPERFICIE ESPECÍFICA POR MALLA (B/A)
3/8"	0.9525			
N°4	0.4763	0.714	29.14	40.79
N°8	0.2381	0.357	23.59	66.04
N°16	0.1191	0.179	17.11	95.81
N°30	0.0595	0.089	11.89	133.19
N°50	0.0298	0.045	7.93	177.59
N°100	0.0149	0.022	4.75	212.57

N°	DESCRIPCIÓN	UND.	A.F.R.
1	Sumatoria de Superficie Específica por Malla	1/cm	725.99
2	Peso Específico P.E.	g/cm ³	2.07
3	Superficie Específica	cm ² /g	21.06

A.4.4 SUPERFICIE ESPECÍFICA DE MUESTRA DE AGREGADO GRUESO RECICLADO

MALLA	ABERTURA (cm)	DIAMETRO PROMEDIO (A)	PORCENTAJE DE PESO RETENIDO (B)	SUPERFICIE ESPECÍFICA POR MALLA (B/A)
1 1/2"	3.810			
1"	2.540	3.175	30.86	9.72
3/4"	1.905	2.223	22.30	10.03
1/2"	1.270	1.588	30.10	18.96
3/8"	0.953	1.112	9.85	8.86
1/4"	0.635	0.794	4.06	5.12

N°	DESCRIPCIÓN	UND.	A.G.R.
1	Sumatoria de Superficie Específica por Malla	1/cm	52.69
2	Peso Específico P.E.	g/cm ³	2.13
3	Superficie Especifica	cm ² /g	1.48

A.5 ENSAYO DE CANTIDAD DE MATERIALES FINOS QUE PASAN LA MALLA N°200

A.5.1 MUESTRA DE AGREGADO FINO PATRÓN

N°	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA A. FINO PATRÓN		
			N°01	N°02	N°03
1	W Muestra Seca Inicial	g	500	500	500
2	W Muestra Seca Final	g	454.5	451.4	447.8
3	Contenido de Finos	%	9.1	9.72	10.44
4	Promedio Contenido de Finos	%	9.75		

A.5.2 MUESTRA DE AGREGADO FINO RECICLADO

N°	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA A. FINO RECICLADO		
			N°01	N°02	N°03
1	W Muestra Seca Inicial	g	500	500	500
2	W Muestra Seca Final	g	482.2	470.3	459.3
3	Contenido de Finos	%	3.56	5.94	8.14
4	Promedio Contenido de Finos	%	5.88		

A.6 ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

A.6.1 MUESTRA DE AGREGADO PATRÓN

N°	DESCRIPCIÓN	UND.	AGREGADO FINO			AGREGADO GRUESO		
			MUESTRA			MUESTRA		
			N°01	N°02	N°03	N°01	N°02	N°03
1	W Muestra Saturado	g	500.00	500.00	500.00	2000.00	1500.00	1500.00
2	W Muestra Seca	g	480.20	480.40	480.00	1989.40	1490.50	1490.50
3	W de Agua	g	19.80	19.60	20.00	10.60	9.50	9.50
4	Contenido de Humedad	%	4.12	4.08	4.17	0.53	0.64	0.64
5	Promedio Contenido de Humedad	%	4.12			0.60		

A.6.2 MUESTRA DE AGREGADO RECICLADO

N°	DESCRIPCIÓN	UND.	AGREGADO FINO			AGREGADO GRUESO		
			MUESTRA			MUESTRA		
			N°01	N°02	N°03	N°01	N°02	N°03
1	W Muestra Saturado	g	500.00	500.00	500.00	4000.00	4000.00	4000.00
2	W Muestra Seca	g	481.90	481.30	481.60	3892.90	3886.20	3891.50
3	W de Agua	g	18.10	18.70	18.40	107.10	113.80	108.50
4	Contenido de Humedad	%	3.76	3.89	3.82	2.75	2.93	2.79
5	Promedio Contenido de Humedad	%	3.82			2.82		

ANEXO B: DISEÑO DE MEZCLA

B.1 ENSAYO DE MÁXIMA COMPACIDAD DEL AGREGADO GLOBAL

B.1.1 MUESTRA DE AGREGADO GLOBAL PATRÓN

PARTICIPACIÓN (%)		W (kg)		W MUESTRA + TARA (kg)			W PROMEDIO (kg)	W DE TARA (kg)	W DE MUESTRA (kg)	VOL. DE TARA (m ³)	P.U.C. (kg/cm ³)
A. FINO	A. GRUESO	A. FINO	A. GRUESO	N°01	N°02	N°03					
40	60	8.00	12.00	23.16	23.53	23.43	23.37	4.36	19.01	0.00946	2010.39
45	55	9.82	12.00	23.94	23.83	23.7	23.82	4.36	19.46	0.00946	2057.97
50	50	12.00	12.00	23.84	24.06	23.94	23.95	4.36	19.59	0.00946	2071.01
55	45	14.67	12.00	24.03	24.00	23.88	23.97	4.36	19.61	0.00946	2073.48
60	40	18.00	12.00	23.75	23.56	23.68	23.66	4.36	19.30	0.00946	2041.05

B.1.2 MUESTRA DE AGREGADO GLOBAL COMBINADO

PARTICIPACIÓN (%)		W (kg)		W MUESTRA + TARA (kg)			W PROMEDIO (kg)	W DE TARA (kg)	W DE MUESTRA (kg)	VOL. DE TARA (m ³)	P.U.C. (kg/cm ³)
A. GLOBAL RECICLADO	A. FINO PATRÓN	A. GLOBAL RECICLADO	A. FINO PATRÓN	N°01	N°02	N°03					
100	0	20.00	0.00	18.95	19.05	19.14	19.05	4.36	14.69	0.00946	1552.91
90	10	20.00	2.22	20.00	20.03	19.99	20.01	4.36	15.65	0.00946	1654.41
80	20	20.00	5.00	20.79	20.74	21.24	20.92	4.36	16.56	0.00946	1751.34
70	30	20.00	8.57	21.36	21.17	21.49	21.34	4.36	16.98	0.00946	1795.39
60	40	20.00	13.33	21.64	21.72	21.80	21.72	4.36	17.36	0.00946	1835.57
50	50	20.00	20.00	21.92	21.75	21.66	21.78	4.36	17.42	0.00946	1841.56
40	60	20.00	30.00	21.91	21.82	21.94	21.89	4.36	17.53	0.00946	1853.55
30	70	20.00	46.67	21.93	21.76	21.92	21.87	4.36	17.51	0.00946	1851.43
20	80	20.00	80.00	21.44	21.50	21.62	21.52	4.36	17.16	0.00946	1814.43

B.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL DE LOS PRE DISEÑOS

B.2.1 CONCRETO PATRÓN

ÍTEM	EDAD (días)	Di (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'cp (kg/cm ²)	D.S. (%)	C.V. (%)
% DE A. FINO PATRÓN = 52.9%	7	9.91	10.02	78.85	14450	183.25	191.04	10.22	5.35
		10.13							
	7	10.13	10.03	79.01	13571	171.76			
		9.93							
	7	10.15	10.055	79.41	15525	195.51			
		9.96							
	7	10.15	10.05	79.33	15291	192.76			
		9.95							
7	10.15	10.065	79.56	15431	193.94				
	9.98								
7	10.11	10.035	79.09	15768	199.36				
	9.96								
7	10.15	10.045	79.25	15905	200.70				
	9.94								
% DE A. FINO PATRÓN = 55.9%	7	10.10	10.125	80.52	12404	154.06	167.41	7.73	4.62
		10.15							
	7	10.15	10.125	80.52	13074	162.38			
		10.10							
	7	10.10	10.1	80.12	13376	166.95			
		10.10							
	7	10.05	10.025	78.93	13380	169.51			
		10.00							
7	10.05	10.05	79.33	13332	168.06				
	10.05								
7	10.10	10.15	80.91	14455	178.65				
	10.20								
7	10.10	10.125	80.52	13870	172.26				
	10.15								
% DE A. FINO PATRÓN = 49.9%	7	10.15	10.15	80.91	13977	172.74	169.83	8.71	5.13
		10.15							
	7	10.15	10.125	80.52	14170	175.99			
		10.10							
	7	10.20	10.175	81.31	12642	155.47			
		10.15							
	7	10.20	10.175	81.31	14174	174.31			
		10.15							
7	10.05	10.075	79.72	14444	181.18				
	10.10								
7	10.15	10.175	81.31	14151	174.03				
	10.20								
7	10.20	10.25	82.52	13508	163.70				
	10.30								
7	10.05	10.075	79.72	12850	161.18				
	10.10								

B.2.1 CONCRETO PATRÓN

ÍTEM	EDAD	Di (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'cp (kg/cm ²)	D.S. (%)	C.V. (%)
% A. FINO PATRÓN = 40%	7	9.97	9.955	77.83	15406	197.93	199.47	13.58	6.81
		9.94							
	7	9.97	9.945	77.68	15863	204.22			
		9.92							
	7	9.94	9.94	77.60	15735	202.77			
		9.94							
	7	9.92	9.94	77.60	16568	213.51			
		9.96							
7	10.06	10.105	80.20	16057	200.22				
	10.15								
7	10.14	10.115	80.36	16617	206.79				
	10.09								
7	10.00	10.475	86.18	14723	170.84				
	10.95								
% A. FINO PATRÓN = 50%	7	10.07	10.08	79.80	15875	198.93	200.00	10.51	5.25
		10.09							
	7	10.16	10.26	82.68	15994	193.45			
		10.36							
	7	10.11	10.105	80.20	16378	204.22			
		10.10							
	7	9.94	9.965	77.99	15230	195.27			
		9.99							
7	10.23	10.23	82.19	15816	192.42				
	10.23								
7	10.23	10.29	83.16	16112	193.75				
	10.35								
7	10.21	10.135	80.67	17905	221.94				
	10.06								
% A. FINO PATRÓN = 59.4%	7	10.12	10.28	83.00	16342	196.89	205.70	12.79	6.22
		10.44							
	7	9.92	9.945	77.68	17116	220.34			
		9.97							
	7	10.20	10.26	82.68	17719	214.31			
		10.32							
	7	9.93	9.93	77.44	16928	218.59			
		9.93							
7	9.97	9.94	77.60	14700	189.43				
	9.91								
7	9.94	9.93	77.44	16112	208.04				
	9.92								
7	9.97	9.955	77.83	14967	192.29				
	9.94								

ÍTEM	EDAD	Di (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)	D.S. (%)	C.V. (%)
%A. FINO PATRÓN = 64.4%	7	9.92	9.945	77.68	17102	220.17	206.04	15.78	7.66
		9.97							
	7	10.09	10.11	80.28	14457	180.09			
		10.13							
	7	9.95	9.97	78.07	15180	194.45			
		9.99							
	7	9.97	9.965	77.99	16313	209.17			
		9.96							
7	9.95	9.965	77.99	15763	202.11				
	9.98								
7	9.99	9.965	77.99	16297	208.97				
	9.94								
7	9.99	9.965	77.99	17728	227.30				
	9.94								
%A. FINO PATRÓN = 69.4%	7	10.12	10.125	80.52	16649	206.78	202.05	9.91	4.90
		10.13							
	7	10.18	10.18	81.39	15492	190.33			
		10.18							
	7	9.92	9.95	77.76	16997	218.60			
		9.98							
	7	10.08	10.095	80.04	16166	201.98			
		10.11							
	7	10.09	10.095	80.04	16611	207.54			
		10.10							
7	10.08	10.09	79.96	15350	191.97				
	10.10								
7	10.10	10.105	80.20	15814	197.19				
	10.11								

B.3 DISEÑOS FINALES

B.3.1 CONCRETO PATRÓN

RELACIÓN	COMPONENTE	DISEÑO HÚMEDO		P. Tanda (kg)
		Peso (kg)	D. Unitario	
1	CEMENTO	42.50	1.00	6.73
Experimental para Slump 3"-4"	AGUA	19.50	0.46	3.09
3	A. PATRÓN FINO	67.58	1.59	10.70
	A. PATRÓN GRUESO	59.93	1.41	9.49
				30.00

RELACIÓN	COMPONENTE	DISEÑO HÚMEDO		P. Tanda (kg)
		Peso (kg)	D. Unitario	
1	CEMENTO	42.50	1.00	5.44
Experimental para Slump 3"-4"	AGUA	22.00	0.52	2.81
4	A. PATRÓN FINO	90.10	2.12	11.53
	A. PATRÓN GRUESO	79.90	1.88	10.22
				30.00

RELACIÓN	COMPONENTE	DISEÑO HÚMEDO		P. Tanda (kg)
		Peso (kg)	D. Unitario	
1	CEMENTO	42.50	1.00	4.54
Experimental para Slump 3"-4"	AGUA	26.00	0.61	2.78
5	A. PATRÓN FINO	112.63	2.65	12.02
	A. PATRÓN GRUESO	99.88	2.35	10.66
				30.00

B.3.1 CONCRETO COMBINADO

RELACIÓN	COMPONENTE	DISEÑO HÚMEDO		P. Tanda (kg)
		Peso (kg)	D. Unitario	
1	CEMENTO	42.50	1.00	6.64
Experimental para Slump 3"-4"	AGUA	22.00	0.52	3.44
3	A. GLOBAL RECICLADO	48.45	1.14	7.57
	A. FINO PATRÓN	79.05	1.86	12.35
				30.00

RELACIÓN	COMPONENTE	DISEÑO HÚMEDO		P. Tanda (kg)
		Peso (kg)	D. Unitario	
1	CEMENTO	42.50	1.00	5.28
Experimental para Slump 3"-4"	AGUA	29.00	0.68	3.60
4	A. GLOBAL RECICLADO	64.60	1.52	8.02
	A. FINO PATRÓN	105.40	2.48	13.09
				30.00

RELACIÓN	COMPONENTE	DISEÑO HÚMEDO		P. Tanda (kg)
		Peso (kg)	D. Unitario	
1	CEMENTO	42.50	1.00	4.43
Experimental para Slump 3"-4"	AGUA	33.00	0.78	3.44
5	A. GLOBAL RECICLADO	80.75	1.90	8.41
	A. FINO PATRÓN	131.75	3.10	13.72
				30.00

ANEXO C: ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

C.1 ENSAYO DE CONSISTENCIA

C:A	N°	CONCRETO PATRÓN			CONCRETO COMBINADO		
		ASENTAMIENTO (in)	CONDICIÓN	Prom.	ASENTAMIENTO (in)	CONDICIÓN	Prom.
1:3	1	3 3/4	Trabajable	3 1/2	3 1/2	Trabajable	3 1/2
	2	3 1/2	Trabajable		3 3/4	Trabajable	
	3	3 1/2	Trabajable		3 1/2	Trabajable	
1:4	1	3 1/4	Trabajable	3 1/4	3 1/2	Trabajable	3 3/4
	2	3 1/2	Trabajable		3 1/4	Trabajable	
	3	3 1/4	Trabajable		4 1/2	Trabajable	
1:5	1	3 1/2	Trabajable	3 1/2	4	Trabajable	3 3/4
	2	3 1/2	Trabajable		3 1/2	Trabajable	
	3	3 1/2	Trabajable		3 3/4	Trabajable	

C.2 ENSAYO DE PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO

CONCRETO PATRÓN						
RELACIÓN CEMENTO : AGREGADO	W TARA + MEZCLA (kg)	W TARA (kg)	W MEZCLA (kg)	VOL. TARA (m ³)	PESO VOLUMETRICO DE LA MUESTRA (kg/m ³)	PROMEDIO (kg/m ³)
1:3	27.170	4.75	22.420	0.00945754	2370.60	2371
	27.190	4.75	22.440	0.00945754	2372.71	
	27.160	4.75	22.410	0.00945754	2369.54	
1:4	27.160	4.75	22.410	0.00945754	2369.54	2370
	27.180	4.75	22.430	0.00945754	2371.65	
	27.140	4.75	22.390	0.00945754	2367.42	
1:5	27.110	4.75	22.360	0.00945754	2364.25	2365
	27.090	4.75	22.340	0.00945754	2362.14	
	27.140	4.75	22.390	0.00945754	2367.42	

CONCRETO COMBINADO						
RELACIÓN CEMENTO : AGREGADOS	W TARA + MEZCLA (kg)	W TARA (kg)	W MEZCLA (kg)	VOL. TARA (m ³)	PESO VOLUMETRICO DE LA MUESTRA (kg/m ³)	PROMEDIO (kg/m ³)
1:3	25.660	4.75	20.910	0.00945754	2210.93	2211
	25.700	4.75	20.950	0.00945754	2215.16	
	25.620	4.75	20.870	0.00945754	2206.70	
1:4	25.370	4.75	20.620	0.00945754	2180.27	2182
	25.360	4.75	20.610	0.00945754	2179.21	
	25.420	4.75	20.670	0.00945754	2185.56	
1:5	25.250	4.75	20.500	0.00945754	2167.58	2171
	25.310	4.75	20.560	0.00945754	2173.93	
	25.290	4.75	20.540	0.00945754	2171.81	

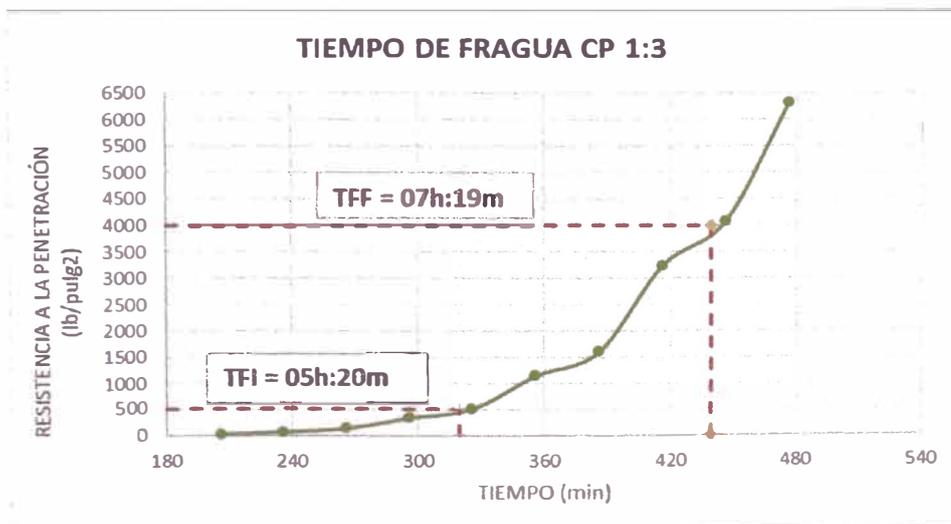
C.3 ENSAYO DE FLUIDEZ

CONCRETO PATRÓN									
RELACIÓN CEMENTO:AGREGADO	CÓDIGO	DIÁMETRO (cm)							FLUIDEZ
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	DP	
1:3	CP13-1	35.5	36.5	36.0	35.5	35.0	36.0	35.75	43%
1:4	CP14-1	36.5	37.0	36.0	37.0	37.0	36.0	36.58	46%
1:5	CP15-1	39.0	38.0	37.0	38.0	38.0	39.0	38.17	53%

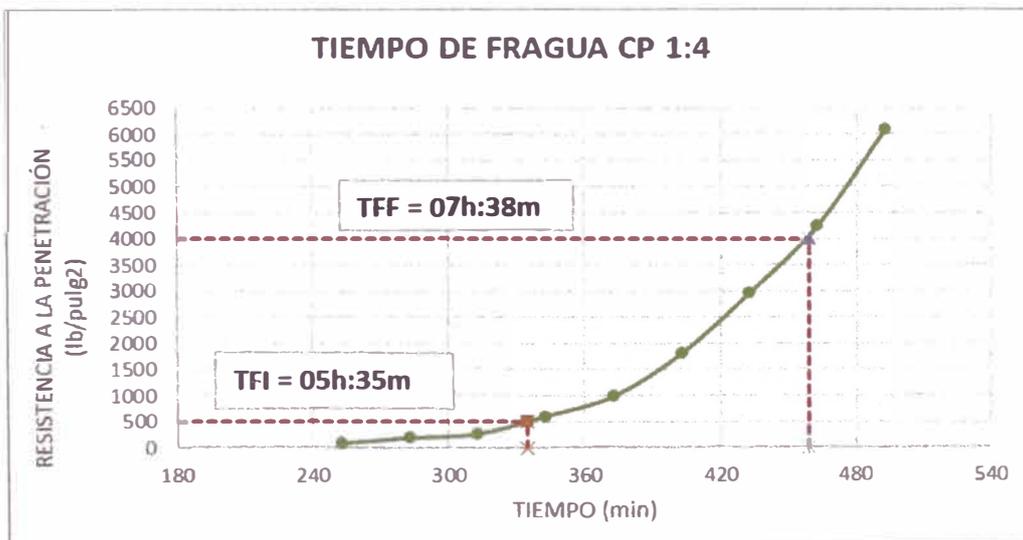
CONCRETO COMBINADO									
RELACIÓN CEMENTO:AGREGADO	CÓDIGO	DIÁMETRO (cm)							FLUIDEZ
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	DP	
1:3	CP13-1	36.0	35.5	35.5	34.0	36.0	35.5	35.42	42%
1:4	CP14-1	36.0	36.0	35.0	36.0	36.5	37.0	36.08	44%
1:5	CP15-1	37.0	36.5	37.0	36.0	35.5	37.0	36.50	46%

C.4 ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA

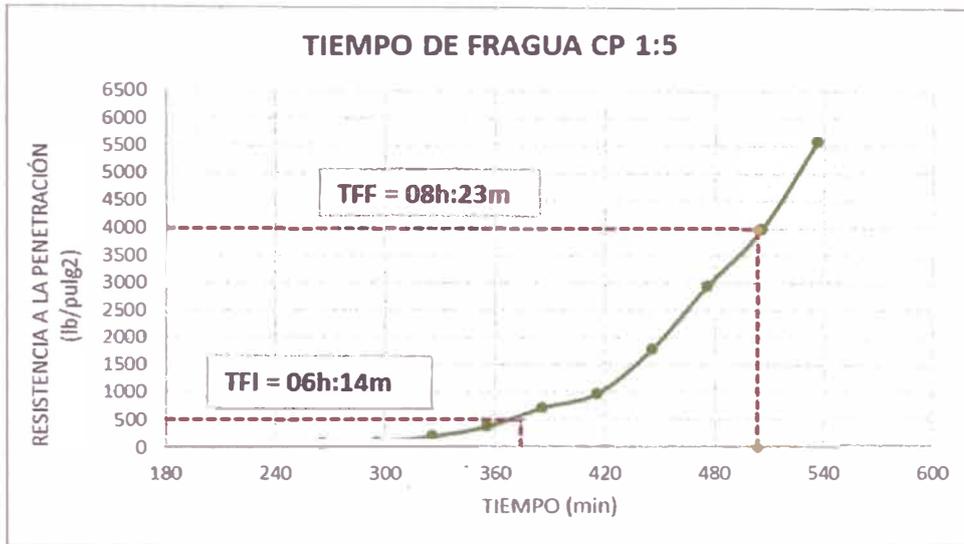
TIEMPO DE FRAGUA				CONCRETO PATRÓN 1:3		
CONTROL		PENETRACIÓN MINUTO ACUM.	AGUJA N°	SUPERFICIE (in ²)	FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA PENETRACIÓN (lb/in ²)
INICIO	08:50:00					
12:16:00		206	1	1	26.0	26
12:46:00		236	1	1	70.0	70
13:16:00		266	1	1	140.0	140
13:46:00		296	2	0.5	170.0	340
14:16:00		326	3	0.25	128.0	512
14:46:00		356	4	0.1	114.0	1140
15:16:00		386	5	0.05	80.0	1600
15:46:00		416	6	0.025	81.0	3240
16:16:00		446	6	0.025	102.0	4080
16:46:00		476	6	0.025	158.0	6320



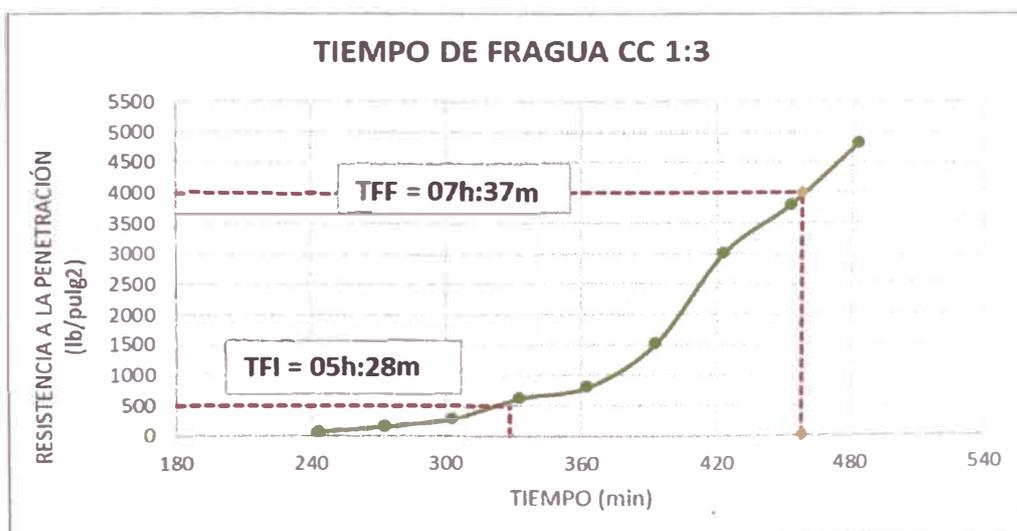
CONTROL		CONCRETO PATRÓN 1:4				
INICIO:	08:50:00	PENETRACIÓN MINUTO ACUM.	AGUJA N°	SUPERFICIE (in ²)	FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA PENETRACIÓN (lb/in ²)
13:03:00		253	1	1	78.0	78
13:33:00		283	1	1	182.0	182
14:03:00		313	2	0.5	130.0	260
14:33:00		343	3	0.25	150.0	600
15:03:00		373	4	0.1	98.0	980
15:33:00		403	5	0.05	90.0	1800
16:03:00		433	6	0.025	74.0	2960
16:33:00		463	6	0.025	106.0	4240
17:03:00		493	6	0.025	152.0	6080



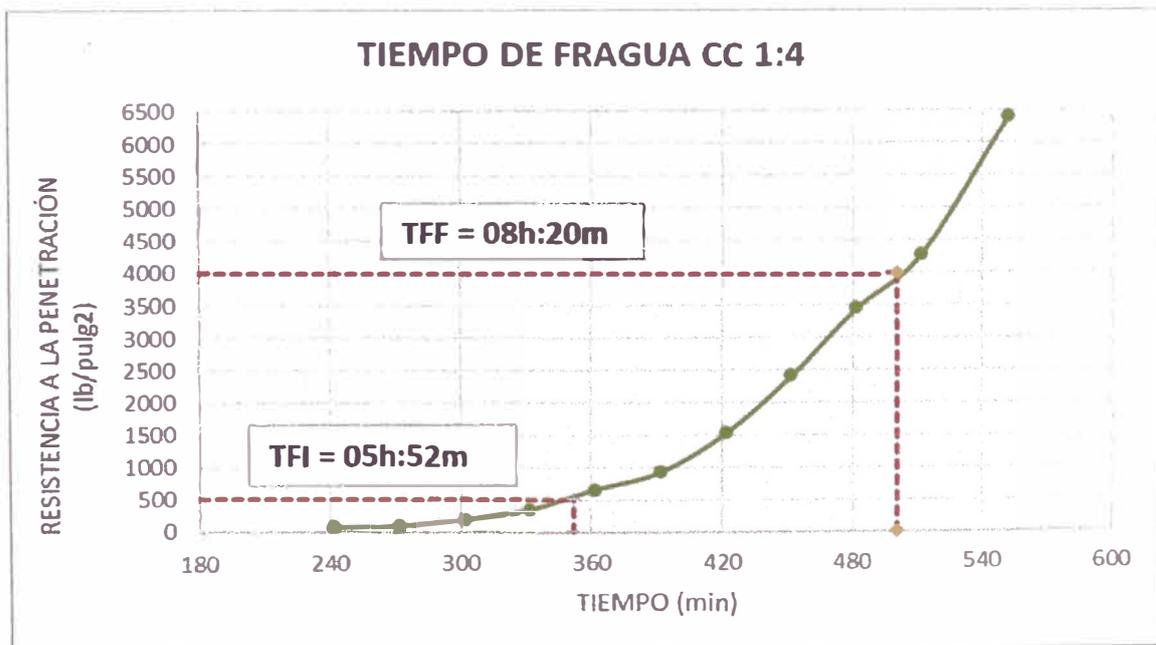
CONTROL		CONCRETO PATRÓN 1:5				
INICIO:	08:36:00	PENETRACIÓN MINUTO ACUM.	AGUJA N°	SUPERFICIE (in ²)	FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA PENETRACIÓN (lb/in ²)
13:02:00		266	1	1	52.0	52
13:32:00		296	1	1	76.0	76
14:02:00		326	1	1	184.0	184
14:32:00		356	2	0.5	184.0	368
15:02:00		386	3	0.25	178.0	712
15:32:00		416	4	0.1	98.0	980
16:02:00		446	5	0.05	90.0	1800
16:32:00		476	6	0.025	74.0	2960
17:02:00		506	6	0.025	100.0	4000
17:32:00		536	6	0.025	140.0	5600



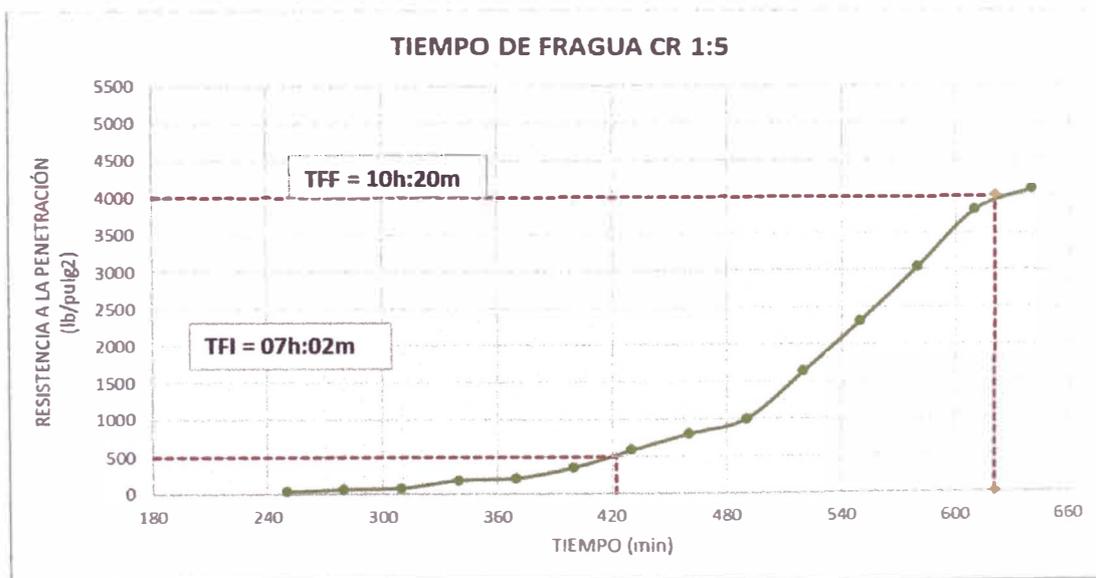
TIEMPO DE FRAGUA		CONCRETO COMBINADO 1:3				
CONTROL	PENETRACIÓN MINUTO ACUM.	AGUJA N°	SUPERFICIE (in²)	FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA PENETRACIÓN (lb/in²)	
INICIO: 08:10:00						
12:13:00	243	1	1	71.0	71	
12:43:00	273	1	1	160.0	160	
13:13:00	303	2	0.5	146.0	292	
13:43:00	333	3	0.25	156.0	624	
14:13:00	363	4	0.1	81.0	810	
14:43:00	393	5	0.05	76.0	1520	
15:13:00	423	6	0.025	75.0	3000	
15:43:00	453	6	0.025	95.0	3800	
16:13:00	483	6	0.025	120.0	4800	



CONTROL		CONCRETO COMBINADO 1:4				
INICIO:	08:25:00	PENETRACIÓN MINUTO ACUM.	AGUJA N°	SUPERFICIE (in ²)	FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA PENETRACIÓN (lb/in ²)
12:27:00		242	1	1	61.0	61
12:57:00		272	1	1	92.0	92
13:27:00		302	1	1	190.0	190
13:57:00		332	2	0.5	174.0	348
14:27:00		362	3	0.25	164.0	656
14:57:00		392	4	0.1	92.0	920
15:27:00		422	5	0.05	76.0	1520
15:57:00		452	6	0.025	60.0	2400
16:27:00		482	6	0.025	86.0	3440
16:57:00		512	6	0.025	107.0	4280
17:37:00		552	6	0.025	160.0	6400



CONTROL		CONCRETO COMBINADO 1:5				
INICIO:	08:55:00	PENETRACIÓN MINUTO ACUM.	AGUJA N°	SUPERFICIE (in ²)	FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA PENETRACIÓN (lb/in ²)
13:05:00		250	1	1	30.0	30
13:35:00		280	1	1	61.0	61
14:05:00		310	1	1	78.0	78
14:35:00		340	1	1	182.0	182
15:05:00		370	2	0.5	104.0	208
15:35:00		400	3	0.25	88.0	352
16:05:00		430	4	0.1	58.0	580
16:35:00		460	4	0.1	80.0	800
17:05:00		490	5	0.05	50.0	1000
17:35:00		520	6	0.025	41.0	1640
18:05:00		550	6	0.025	58.0	2320
18:35:00		580	6	0.025	76.0	3040
19:05:00		610	6	0.025	95.0	3800
19:35:00		640	6	0.025	102.0	4080



C.4 ENSAYO DE EXUDACIÓN

EXUDACIÓN CONCRETO PATRÓN RELACIÓN 1:3			
CONTROL		AGUA EXUDADA (cm ³)	
INICIO:	09:05:00	PARCIAL	ACUMULADO
	09:15:00	0	0.0
	09:25:00	0.8	0.8
	09:35:00	3	3.8
	09:45:00	2	5.8
	10:15:00	4.5	10.3
	10:45:00	5.9	16.2
	11:15:00	4.5	20.7
	11:45:00	3.9	24.6
	12:15:00	0	24.6

W DEL ESPECÍMEN (kg)	W DEL AGUA EN EL DISEÑO (kg)	W DEL DISEÑO (kg)	W DEL AGUA EN EL MOLDE (gr)	VOLUMEN ACUMULADO (ml)	% DE EXUDACION
17.48	4.12	40	1800	24.6	1.37%

EXUDACIÓN CONCRETO PATRÓN RELACIÓN 1:4			
CONTROL		AGUA EXUDADA (cm ³)	
INICIO:	09:28:00	PARCIAL	ACUMULADO
	09:38:00	0	0.0
	09:48:00	1	1.0
	09:58:00	2	3.0
	10:08:00	3	6.0
	10:38:00	5.7	11.7
	11:08:00	6.5	18.2
	11:38:00	5	23.2
	12:08:00	1.9	25.1
	12:38:00	0	25.1

W DEL ESPECÍMEN (kg)	W DEL AGUA EN EL DISEÑO (kg)	W DEL DISEÑO (kg)	W DEL AGUA EN EL MOLDE (gr)	VOLUMEN ACUMULADO (ml)	% DE EXUDACION
17.64	3.75	40	1654	25.1	1.52%

EXUDACIÓN CONCRETO PATRÓN RELACIÓN 1:5			
CONTROL		AGUA EXUDADA (cm ³)	
INICIO:	09:12:00	PARCIAL	ACUMULADO
	09:22:00	0	0.0
	09:32:00	0.6	0.6
	09:42:00	5	5.6
	09:52:00	2.5	8.1
	10:22:00	8.6	16.7
	10:52:00	7.5	24.2
	11:22:00	7.9	32.1
	11:52:00	5.3	37.4
	12:22:00	2.8	40.2
	12:52:00	0	40.2

W DEL ESPECÍMEN (kg)	W DEL AGUA EN EL DISEÑO (kg)	W DEL DISEÑO (kg)	W DEL AGUA EN EL MOLDE (gr)	VOLUMEN ACUMULADO (ml)	% DE EXUDACION
17.88	3.7	40	1654	40.2	2.43%

EXUDACIÓN CONCRETO COMBINADO RELACIÓN 1:3			
CONTROL		AGUA EXUDADA (cm ³)	
INICIO:	09:00:00	PARCIAL	ACUMULADO
	09:10:00	0	0.0
	09:20:00	0.5	0.5
	09:30:00	2.5	3.0
	09:40:00	2.5	5.5
	10:10:00	5	10.5
	10:40:00	6	16.5
	11:10:00	5.8	22.3
	11:40:00	4.8	27.1
	12:10:00	2.5	29.6
	12:40:00	0	29.6

W DEL ESPECÍMEN (kg)	W DEL AGUA EN EL DISEÑO (kg)	W DEL DISEÑO (kg)	W DEL AGUA EN EL MOLDE (gr)	VOLUMEN ACUMULADO (ml)	% DE EXUDACION
16.1	4.58	40	1843	29.6	1.61%

EXUDACIÓN CONCRETO COMBINADO RELACIÓN 1:4			
CONTROL		AGUA EXUDADA (cm ³)	
INICIO:	08:45:00	PARCIAL	ACUMULADO
	08:55:00	0	0.0
	09:05:00	3	3.0
	09:15:00	3.5	6.5
	09:25:00	3	9.5
	09:55:00	9.2	18.7
	10:25:00	9	27.7
	10:55:00	8.1	35.8
	11:25:00	6.7	42.5
	11:55:00	1.2	43.7
	12:25:00	0	43.7

W DEL ESPECÍMEN (kg)	W DEL AGUA EN EL DISEÑO (kg)	W DEL DISEÑO (kg)	W DEL AGUA EN EL MOLDE (gr)	VOLUMEN ACUMULADO (ml)	% DE EXUDACION
14.74	4.8	40	1769	43.7	2.47%

EXUDACIÓN CONCRETO COMBINADO RELACIÓN 1:5			
CONTROL		AGUA EXUDADA (cm ³)	
INICIO:	09:27:00	PARCIAL	ACUMULADO
	09:37:00	0	0.0
	09:47:00	10	10.0
	09:57:00	8	18.0
	10:07:00	4	22.0
	10:37:00	13	35.0
	11:07:00	14	49.0
	11:37:00	7.4	56.4
	12:07:00	0.5	56.9
	12:37:00	0	56.9

W DEL ESPECÍMEN (kg)	W DEL AGUA EN EL DISEÑO (kg)	W DEL DISEÑO (kg)	W DEL AGUA EN EL MOLDE (gr)	VOLUMEN ACUMULADO (ml)	% DE EXUDACION
15.19	4.58	40	1739	56.9	3.27%

ANEXO D: ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

D.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL

D.1.1 CONCRETO PATRÓN 1:3

ITEM	CÓDIGO	EDAD	Di (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f' _c (kg/cm ²)	f' _{cp} (kg/cm ²)	D.S. (%)	C.V. (%)
1	1:3 7D-CP	7	10.11	10.1	80.12	28008	349.58	332.71	18.86	5.67
			10.09							
2		7	10.09	10.09	79.96	29224	365.48			
			10.09							
3		7	10.10	10.105	80.20	26726	333.26			
			10.11							
4		7	10.10	10.11	80.28	26415	329.05			
	10.12									
5	7	10.10	10.09	79.96	25057	313.37				
		10.08								
6	7	10.13	10.12	80.44	25906	322.07				
		10.11								
7	7	10.14	10.13	80.60	25480	316.14				
		10.12								
8	1:3 28 D-CP	28	10.13	10.095	80.04	33712	421.19	392.58	17.23	4.39
			10.06							
9		28	9.99	10.045	79.25	30246	381.66			
			10.10							
10		28	10.05	10.06	79.49	30505	383.78			
			10.07							
11		28	10.06	10.035	79.09	32313	408.56			
			10.01							
12		28	10.04	10.05	79.33	30503	384.52			
			10.06							
13		28	10.05	10.035	79.09	31282	395.52			
			10.02							
14		28	10.05	10.045	79.25	30953	390.59			
			10.04							
15	28	10.01	10.05	79.33	28450	358.64				
		10.09								
16	28	10.02	10.045	79.25	30408	383.71				
		10.07								
17	28	10.02	10.05	79.33	29910	377.04				
		10.08								
18	28	10.04	10.055	79.41	31105	391.72				
		10.07								
19	28	10.08	10.06	79.49	31282	393.56				
		10.04								
20	28	10.04	10.035	79.09	33475	423.25				
		10.03								
21	28	10.05	10.04	79.17	31851	402.32				
		10.03								

D.1.2 CONCRETO PATRÓN 1:4

ITEM	CODIGO	EDAD	Di (cm)	Dp (cm)	AREA (cm ²)	CARGA (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'cp (kg/cm ²)	D.S. (%)	C.V. (%)
1	1:4 7 D-CP	7	10.02	9.975	78.15	25400	325.03	315.41	13.39	4.24
			9.93							
2		7	9.98	9.99	78.38	25414	324.23			
			10.00							
3		7	9.95	9.945	77.68	24190	311.42			
			9.94							
4		7	9.96	9.975	78.15	26147	334.58			
	9.99									
5	7	10.08	10.14	80.75	24096	298.38				
		10.20								
6	7	10.10	10.12	80.44	24153	300.28				
		10.14								
7	7	9.94	9.965	77.99	24484	313.93				
		9.99								
8	1:4 28 D-CP	28	10.01	10.03	79.01	31520	398.93	359.77	17.72	4.92
			10.05							
9		28	10.06	10.045	79.25	29000	365.94			
			10.03							
10		28	10.04	10.035	79.09	28863	364.93			
			10.03							
11		28	10.01	10.015	78.78	27068	343.61			
			10.02							
12		28	10.00	10.02	78.85	29828	378.27			
			10.04							
13		28	10.02	10.035	79.09	28179	356.28			
			10.05							
14		28	10.08	10.08	79.80	28414	356.06			
			10.08							
15		28	9.96	10	78.54	27614	351.59			
			10.04							
16		28	9.98	10.02	78.85	29253	370.98			
			10.06							
17		28	10.03	10.035	79.09	29661	375.03			
			10.04							
18		28	10.02	10.005	78.62	26835	341.33			
	9.99									
19	28	10.01	10.035	79.09	26687	337.42				
		10.06								
20	28	10.01	10.015	78.78	26432	335.53				
		10.02								
21	28	10.03	10.015	78.78	28432	360.93				
		10.00								

D.1.3 CONCRETO PATRÓN 1:5

ITEM	CODIGO	EDAD	Di (cm)	Dp (cm)	AREA (cm ²)	CARGA (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'cp (kg/cm ²)	D.S. (%)	C.V. (%)
1	1:5 7 D-CP	7	10.01	9.965	77.99	16947	217.29	218.57	14.62	6.69
			9.92							
2		7	10.14	10.17	81.23	15970	196.60			
			10.20							
3		7	9.96	9.965	77.99	16628	213.20			
			9.97							
4		7	10.12	10.115	80.36	19618	244.14			
	10.11									
5	7	10.00	9.975	78.15	17665	226.05				
		9.95								
6	7	9.95	9.97	78.07	16503	211.39				
		9.99								
7	7	9.98	9.97	78.07	17281	221.35				
		9.96								
8	1:5 28 D-CP	28	10.04	10.045	79.25	21824	275.39	273.64	10.39	3.80
			10.05							
9		28	10.06	10.07	79.64	22978	288.51			
			10.08							
10		28	10.09	10.06	79.49	22175	278.99			
			10.03							
11		28	10.04	10.035	79.09	21743	274.92			
			10.03							
12		28	10.04	10.03	79.01	21976	278.13			
			10.02							
13		28	10.03	10.045	79.25	20876	263.42			
			10.06							
14		28	10.06	10.055	79.41	22451	282.73			
			10.05							
15		28	10.05	10.04	79.17	21439	270.80			
			10.03							
16		28	10.01	10.04	79.17	22674	286.40			
			10.07							
17		28	10.00	10.015	78.78	20128	255.51			
			10.03							
18		28	10.03	10.035	79.09	21618	273.33			
	10.04									
19	28	10.00	10.025	78.93	19981	253.14				
		10.05								
20	28	10.05	10.045	79.25	22029	277.98				
		10.04								
21	28	10.04	10.04	79.17	21516	271.78				
		10.04								

D.1.4 CONCRETO COMBINADO 1:3

ITEM	CÓDIGO	EDAD	Di (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'cp (kg/cm ²)	D.S. (%)	C.V. (%)
1	1:3 7D-CC	7	9.90	9.92	77.29	22397	289.79	294.20	20.37	6.92
			9.94							
2		7	9.93	9.92	77.21	24615	318.80			
			9.90							
3		7	9.92	9.91	77.13	20117	260.81			
			9.90							
4		7	9.88	9.90	76.90	23225	302.02			
	9.91									
5	7	9.90	9.92	77.29	21343	276.15				
		9.94								
6	7	9.85	9.88	76.59	23939	312.56				
		9.90								
7	7	9.86	9.89	76.82	22989	299.26				
		9.92								
1	1:3 28D-CC	28	10.05	10.06	79.49	23596	296.86	328.38	33.18	10.11
			10.07							
2		28	10.04	10.02	78.85	22540	285.85			
			10.00							
3		28	10.02	10.02	78.85	23976	304.05			
			10.02							
4		28	10.00	10.01	78.62	26993	343.34			
			10.01							
5		28	9.95	9.95	77.68	21784	280.43			
			9.94							
6		28	9.89	9.94	77.60	27568	355.25			
			9.99							
7		28	9.97	9.96	77.91	25389	325.86			
			9.95							
8		28	9.98	9.99	78.38	28006	357.30			
	10.00									
9	28	9.90	9.94	77.60	25233	325.17				
		9.98								
10	28	9.93	9.93	77.44	22578	291.54				
		9.93								
11	28	10.01	10.00	78.54	30163	384.04				
		9.99								
12	28	10.03	9.97	77.99	26631	341.47				
		9.90								
13	28	10.04	10.01	78.70	29935	380.38				
		9.98								
14	28	10.00	10.02	78.78	27121	344.29				
		10.03								
15	28	9.99	9.99	78.30	24266	309.89				
		9.98								

D.1.5 CONCRETO COMBINADO 1:4

ITEM	CODIGO	EDAD	Di (cm)	Dp (cm)	AREA (cm ²)	CARGA (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'cp (kg/cm ²)	D.S. (%)	C.V. (%)
1	1:4 7D-CC	7	9.92	9.915	77.21	15505	200.81	208.99	18.54	8.87
			9.91							
2		7	9.89	9.915	77.21	16341	211.64			
			9.94							
3		7	9.91	9.92	77.29	16834	217.80			
			9.93							
4		7	9.96	9.96	77.91	14571	187.01			
			9.96							
5		7	9.96	9.94	77.60	16892	217.68			
			9.92							
6		7	9.94	9.95	77.76	14656	188.49			
			9.96							
7		7	9.94	9.92	77.29	18511	239.50			
			9.90							
1	1:4 28D-CC	28	10.00	10.035	79.09	17788	224.90	249.22	16.91	6.78
			10.07							
2		28	10.00	10.015	78.78	22659	287.64			
			10.03							
3		28	9.95	9.955	77.83	18391	236.28			
			9.96							
4		28	10.07	10.035	79.09	19529	246.92			
			10.00							
5		28	10.03	10.02	78.85	17948	227.61			
			10.01							
6		28	10.11	10.06	79.49	19935	250.80			
			10.01							
7		28	10.10	10.075	79.72	20850	261.53			
			10.05							
8		28	10.02	10.01	78.70	18972	241.07			
	10.00									
9	28	10.04	10.06	79.49	19909	250.48				
		10.08								
10	28	10.05	10.025	78.93	20449	259.06				
		10.00								
11	28	10.09	10.07	79.64	20222	253.90				
		10.05								
12	28	10.10	10.075	79.72	19272	241.73				
		10.05								
13	28	10.08	10.07	79.64	18227	228.86				
		10.06								
14	28	10.03	10.045	79.25	20478	258.41				
		10.06								
15	28	10.00	10	78.54	21140	269.16				
		10.00								

D.1.6 CONCRETO COMBINADO 1:5

ITEM	CODIGO	EDAD	Di (cm)	Dp (cm)	AREA (cm ²)	CARGA (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'cp (kg/cm ²)	D.S. (%)	C.V. (%)
1	1:5 7D-CC	7	9.87	9.875	76.59	11476	149.83	153.68	8.42	5.48
			9.88							
2		7	9.94	9.925	77.37	11052	142.85			
			9.91							
3		7	9.98	9.98	78.23	12573	160.73			
			9.98							
4		7	9.90	9.915	77.21	11146	144.36			
	9.93									
5	7	9.98	9.975	78.15	12947	165.67				
		9.97								
6	7	9.98	9.96	77.91	12132	155.72				
		9.94								
7	7	9.96	9.98	78.23	12251	156.61				
		10.00								
1	1:5 28D-CC	28	10.10	10.06	79.49	18821	236.79	263.26	13.86	5.26
			10.02							
2		28	10.00	10.01	78.70	21301	270.67			
			10.02							
3		28	10.00	10.015	78.78	20152	255.81			
			10.03							
4		28	10.00	10	78.54	21059	268.13			
			10.00							
5		28	10.00	10.015	78.78	22682	287.93			
			10.03							
6		28	10.03	10.04	79.17	20270	256.04			
			10.05							
7		28	10.05	10.025	78.93	20469	259.32			
			10.00							
8	28	10.02	10.02	78.85	19837	251.56				
		10.02								
9	28	10.04	10.02	78.85	22623	286.89				
		10.00								
10	28	10.02	10.035	79.09	20570	260.08				
		10.05								
11	28	10.07	10.05	79.33	20967	264.31				
		10.03								
12	28	10.04	10.03	79.01	19688	249.17				
		10.02								
13	28	10.03	10.03	79.01	21209	268.42				
		10.03								
14	28	10.00	10.02	78.85	21333	270.54				
		10.04								

D.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

DISEÑO	CÓDIGO	Di (cm)	Dp (cm)	Li (cm)	Lp (cm)	CARGA (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'cp (kg/cm ²)
CONCRETO PATRÓN 1:3	CP-1-3-1	10.05	10.02	20.70	20.73	13157	40.35	37.86
		9.98		20.75				
	CP-1-3-2	10.01	10.00	20.7	20.71			
		9.99		20.71				
	CP-1-3-3	9.99	9.99	20.63	20.64			
		9.99		20.64				
CONCRETO PATRÓN 1:4	CP-1-4-1	10.17	10.12	20.27	20.27	12900	40.04	36.59
		10.07		20.26				
	CP-1-4-2	10.23	10.18	20.4	20.41			
		10.13		20.42				
	CP-1-4-3	10.11	10.17	20.42	20.44			
		10.23		20.46				
CONCRETO PATRÓN 1:5	CP-1-5-1	10.04	10.02	20.48	20.50	11942	37.03	33.98
		9.99		20.52				
	CP-1-5-2	10.00	9.98	20.76	20.74			
		9.96		20.71				
	CP-1-5-3	9.94	9.93	20.47	20.47			
		9.92		20.47				
CONCRETO COMBINADO 1:3	CC-1-3-1	10.00	9.98	20.67	20.72	10268	31.61	30.24
		9.96		20.77				
	CC-1-3-2	10.15	10.14	20.99	20.99			
		10.12		20.98				
	CC-1-3-3	10.13	10.13	20.87	20.87			
		10.13		20.86				
CONCRETO COMBINADO 1:4	CC-1-5-1	10.00	9.99	20.63	20.68	8642	26.64	26.24
		9.97		20.73				
	CC-1-5-2	10.05	10.07	20.69	20.66			
		10.09		20.63				
	CC-1-5-3	9.99	9.99	20.74	20.75			
		9.99		20.75				
CONCRETO COMBINADO 1:5	CC-1-4-1	10.02	10.01	20.42	20.40	8785	27.39	25.47
		10.00		20.38				
	CC-1-4-2	10.04	10.06	20.42	20.43			
		10.08		20.44				
	CC-1-4-3	10.05	10.03	20.64	20.65			
		10.00		20.65				

D.3 ABSORCIÓN

DISEÑO	CÓDIGO PROBETA	PESO S.S.S. (g)	PESO SECO (g)	PESO S. A. (g)	AGUA (g)	DENSIDAD (kg/m ³)	PROMEDIO (kg/m ³)	ABSORCIÓN (%)	PROMEDIO (%)
CONCRETO PATRÓN 1:3	CP13-1	3798.40	3598.10	2168.90	200.30	2208.10	2211.99	5.57%	5.71%
	CP13-2	3854.00	3648.80	2207.10	205.20	2215.56		5.62%	
	CP13-3	3787.40	3592.60	2173.90	194.80	2226.59		5.42%	
	CP13-4	3723.80	3505.60	2128.70	218.20	2197.73		6.22%	
CONCRETO PATRÓN 1:4	CP14-1	3884.50	3589.40	2241.60	295.10	2184.80	2182.79	8.22%	8.21%
	CP14-2	3967.10	3668.80	2291.40	298.30	2189.41		8.13%	
	CP14-3	3906.00	3612.10	2254.40	293.90	2187.03		8.14%	
	CP14-4	3878.90	3579.50	2229.30	299.40	2169.92		8.36%	
CONCRETO PATRÓN 1:5	CP15-1	3787.90	3464.10	2165.60	323.80	2135.30	2145.72	9.35%	9.14%
	CP15-2	3748.60	3439.70	2148.20	308.90	2149.28		8.98%	
	CP15-3	3725.00	3420.50	2141.10	304.50	2159.54		8.90%	
	CP15-4	3756.60	3435.70	2150.20	320.90	2138.76		9.34%	
CONCRETO RECICLADO 1:3	CR13-1	3712.20	3544.50	2065.80	167.70	2152.88	2150.86	4.73%	4.92%
	CR13-2	3672.60	3507.20	2046.10	165.40	2156.29		4.72%	
	CR13-3	3593.40	3428.80	2001.10	164.60	2153.36		4.80%	
	CR13-4	3662.90	3473.60	2040.40	189.30	2140.89		5.45%	
CONCRETO RECICLADO 1:4	CR14-1	3640.00	3417.20	2027.40	222.80	2119.06	2117.43	6.52%	6.47%
	CR14-2	3547.10	3340.40	1969.60	206.70	2117.53		6.19%	
	CR14-3	3652.00	3436.90	2028.80	215.10	2117.36		6.26%	
	CR14-4	3646.30	3410.80	2034.20	235.50	2115.75		6.90%	
CONCRETO RECICLADO 1:5	CR15-1	3695.70	3461.80	2055.90	233.90	2111.11	2109.85	6.76%	6.78%
	CR15-2	3687.00	3448.20	2050.20	238.80	2106.67		6.93%	
	CR15-3	3725.80	3492.60	2074.60	233.20	2115.19		6.68%	
	CR15-4	3707.80	3473.30	2058.90	234.50	2106.43		6.75%	

D.4 MÓDULO ELÁSTICO ESTÁTICO

D.4.1 CONCRETO PATRÓN 1:3

CONCRETO PATRÓN 1:3
EDAD: 28 días

DIMENSIONES DE LA PROBETA					
	N°01	N°02	Promedio		
Diámetro (cm)	15.21	15.22	15.215		
Altura (cm)	30.72	30.8	30.76	Carga última (kg)	66198.00
Área (cm ²)	181.82			Esfuerzo(kg/cm ²)	364.09

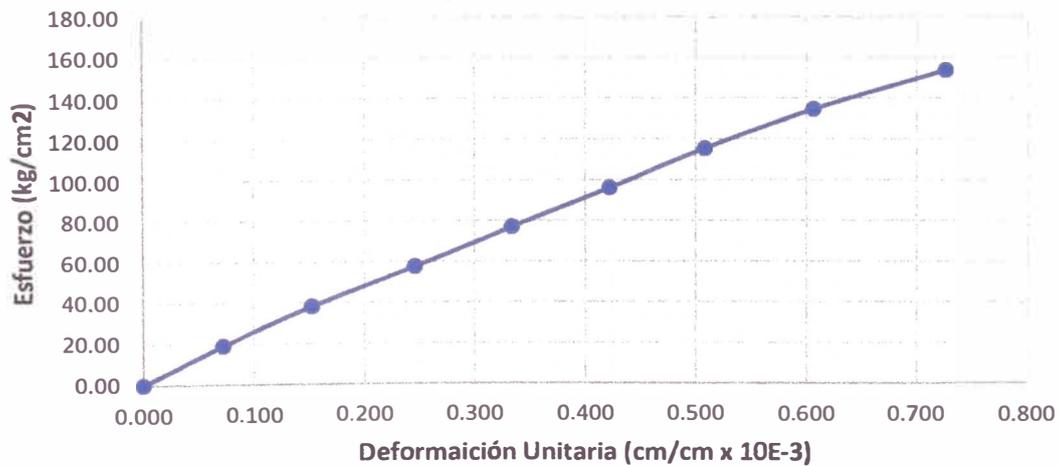
FUERZA (kg)	LECTURA (cm)			DEFORMACIÓN PROMEDIO (cm)	ESFUERZO (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (cm/cm x 10 ⁻³)
	N°01	N°02	N°03			
0	0	0	0	0	0.00	0.000
3500	0.00210	0.00240	0.00220	0.00223	19.25	0.073
7000	0.00440	0.00490	0.00480	0.00470	38.50	0.153
10500	0.00720	0.00780	0.00770	0.00757	57.75	0.246
14000	0.00990	0.01060	0.01030	0.01027	77.00	0.334
17500	0.01270	0.01340	0.01290	0.01300	96.25	0.423
21000	0.01550	0.01590	0.01550	0.01563	115.50	0.508
24500	0.01880	0.01880	0.01840	0.01867	134.75	0.607
28000	0.02310	0.02200	0.02190	0.02233	154.00	0.726

Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación U. (cm/cm x 10 ⁻³)
0.00	0.000
S1	0.05000
19.25	0.07261

Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación U. (cm/cm x 10 ⁻³)
134.75	0.607
145.64	e2
154.00	0.726

RESUMEN		
M.E. experimental	212060.488	kg/cm ²
M.E. teórica	286380.246	kg/cm ²
M.E. teórica	28084.308	MPa
Carga Máxima	66198.00	kg
Esfuerzo Máx.	364.09	kg/cm ²

CURVA DE ESFUERZO V.S. DEFORMACIÓN UNITARIA CP 1:3



—●— CURVA DE ESFUERZO V.S. DEFORMACIÓN UNITARIA

D.4.2 CONCRETO PATRÓN 1:4

CONCRETO PATRÓN 1:4
EDAD: 28 días

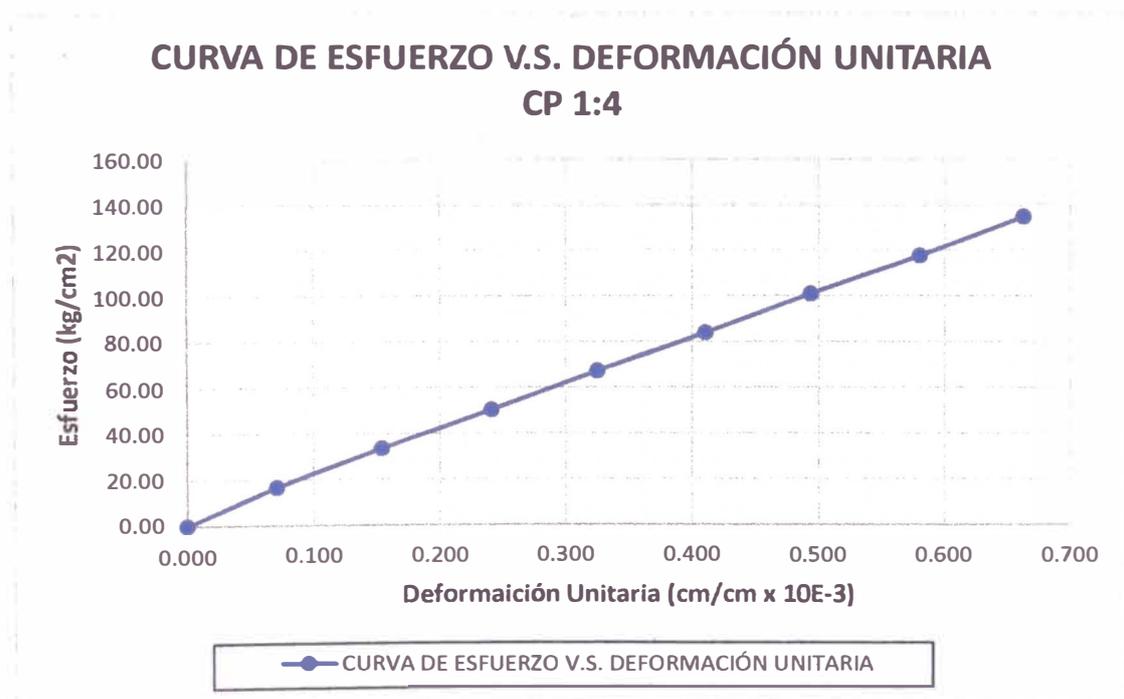
DIMENSIONES DE LA PROBETA					
	N°01	N°02	Promedio		
Diámetro (cm)	15.1	15.03	15.065		
Altura (cm)	30.44	30.46	30.45	Carga última (kg)	59421.00
Área (cm ²)	178.25			Esfuerzo(kg/cm ²)	333.36

FUERZA (kg)	LECTURA (cm)			DEFORMACIÓN PROMEDIO (cm)	ESFUERZO (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (cm/cm x 10 ⁻³)
	N°01	N°02	N°03			
0	0	0	0	0	0.00	0.000
3000	0.00210	0.00210	0.00230	0.00217	16.83	0.071
6000	0.00460	0.00470	0.00480	0.00470	33.66	0.154
9000	0.00720	0.00740	0.00740	0.00733	50.49	0.241
12000	0.00980	0.00990	0.01000	0.00990	67.32	0.325
15000	0.01250	0.01230	0.01270	0.01250	84.15	0.411
18000	0.01510	0.01490	0.01510	0.01503	100.98	0.494
21000	0.01790	0.01750	0.01760	0.01767	117.81	0.580
24000	0.02050	0.02000	0.02000	0.02017	134.64	0.662

Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación U. (cm/cm x 10 ⁻³)
0.00	0.000
S1	0.05000
16.83	0.07115

Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación U. (cm/cm x 10 ⁻³)
117.81	0.580
133.34	e2
134.64	0.662

RESUMEN		
M.E. experimental	200539.645	kg/cm ²
M.E. teórica	274027.041	kg/cm ²
M.E. teórica	26872.873	MPa
Carga Máxima	59421.00	kg
Esfuerzo Máx.	333.36	kg/cm ²



D.4.3 CONCRETO PATRÓN 1:5

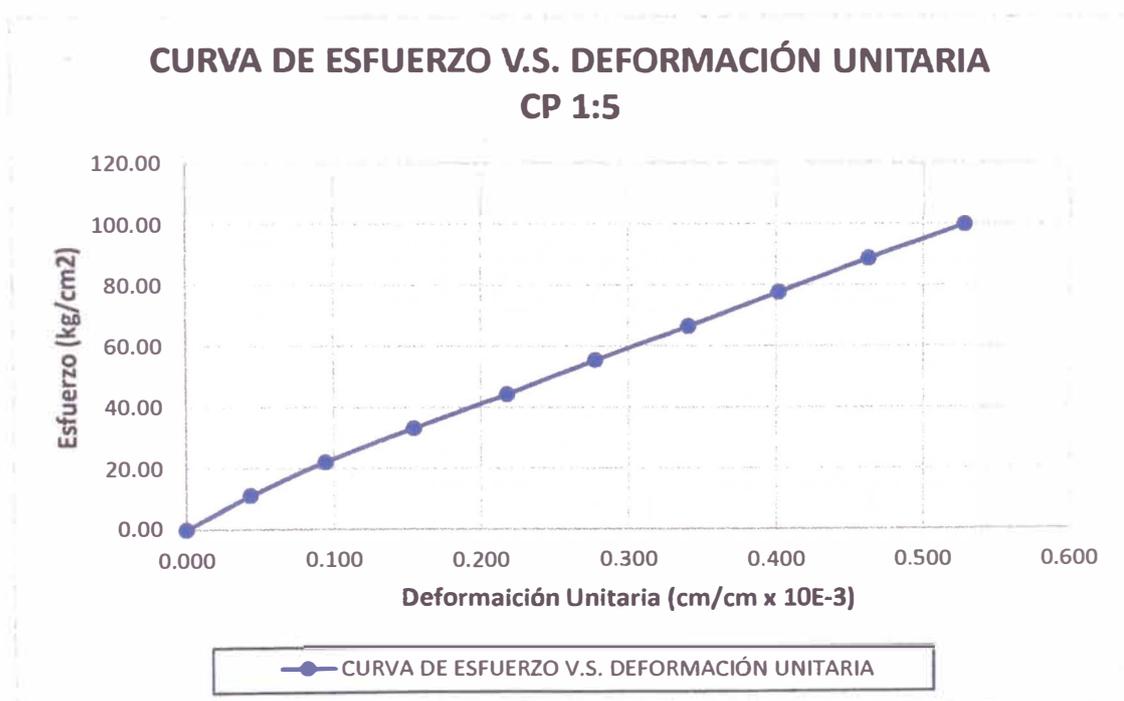
DIMENSIONES DE LA PROBETA					
	N°01	N°02	Promedio		
Diámetro (cm)	15.19	15.1	15.145		
Altura (cm)	30.6	30.59	30.595	Carga última (kg)	44139.00
Área (cm ²)	180.15			Esfuerzo(kg/cm ²)	245.02

FUERZA (kg)	LECTURA (cm)			DEFORMACIÓN PROMEDIO (cm)	ESFUERZO (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (cm/cm x 10 ⁻³)
	N°01	N°02	N°03			
0	0	0	0	0	0.00	0.000
2000	0.00100	0.00150	0.00150	0.00133	11.10	0.044
4000	0.00260	0.00300	0.00310	0.00290	22.20	0.095
6000	0.00450	0.00480	0.00490	0.00473	33.31	0.155
8000	0.00660	0.00660	0.00680	0.00667	44.41	0.218
10000	0.00830	0.00850	0.00870	0.00850	55.51	0.278
12000	0.01020	0.01040	0.01070	0.01043	66.61	0.341
14000	0.01210	0.01230	0.01250	0.01230	77.71	0.402
16000	0.01390	0.01420	0.01440	0.01417	88.82	0.463
18000	0.01580	0.01620	0.01650	0.01617	99.92	0.528

Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación U. (cm/cm x 10 ⁻³)
11.10	0.044
S1	0.05000
22.20	0.09479

Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación U. (cm/cm x 10 ⁻³)
88.82	0.463
98.01	e2
99.92	0.528

RESUMEN		
M.E. experimental	183050.508	kg/cm ²
M.E. teórica	234927.873	kg/cm ²
M.E. teórica	23038.554	MPa
Carga Máxima	44139.00	kg
Esfuerzo Máx.	245.02	kg/cm ²



D.4.4 CONCRETO COMBINADO 1:3

CONCRETO COMBINADO 1:3

EDAD: 28 días

DIMENSIONES DE LA PROBETA					
	N°01	N°02	Promedio		
Diámetro (cm)	15.19	15.19	15.19		
Altura (cm)	30.62	30.59	30.605	Carga última (kg)	55265.00
Área (cm ²)	181.22			Esfuerzo(kg/cm ²)	304.96

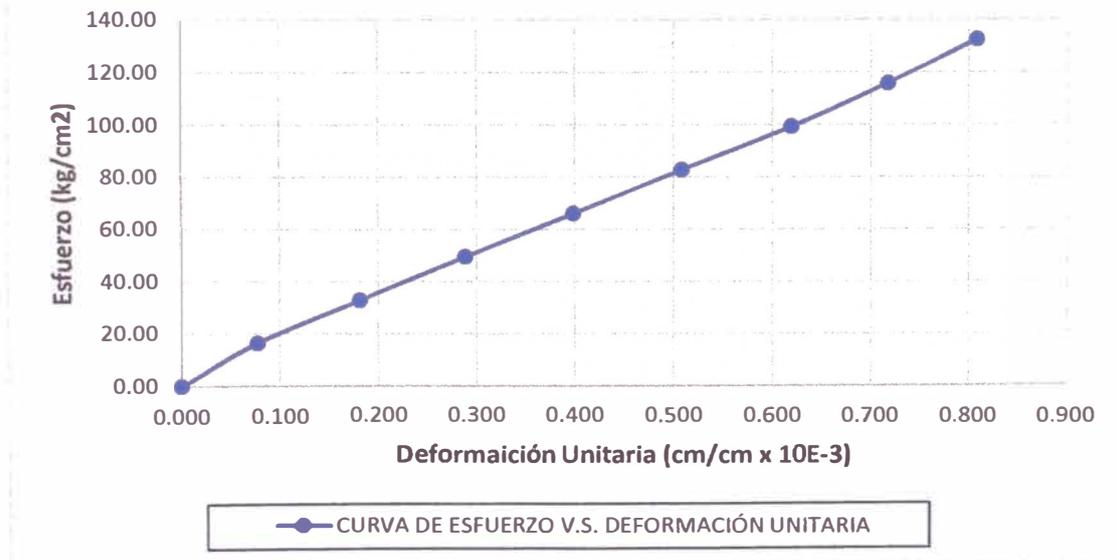
FUERZA (kg)	LECTURA (cm)			DEFORMACIÓN PROMEDIO (cm)	ESFUERZO (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (cm/cm x 10 ⁻³)
	N°01	N°02	N°03			
0	0	0	0	0	0.00	0.000
3000	0.00230	0.00250	0.00230	0.00237	16.55	0.077
6000	0.00530	0.00570	0.00570	0.00557	33.11	0.182
9000	0.00850	0.00890	0.00910	0.00883	49.66	0.289
12000	0.01180	0.01230	0.01250	0.01220	66.22	0.399
15000	0.01520	0.01570	0.01580	0.01557	82.77	0.509
18000	0.01890	0.01890	0.01910	0.01897	99.33	0.620
21000	0.02210	0.02170	0.02210	0.02197	115.88	0.718
24000	0.02470	0.02470	0.02480	0.02473	132.44	0.808

Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación U. (cm/cm x 10 ⁻³)
0.00	0.000
S1	0.05000
16.55	0.07733

Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación U. (cm/cm x 10 ⁻³)
115.88	0.718
121.98	e2
132.44	0.808

RESUMEN		
M.E. experimental	158728.635	kg/cm ²
M.E. teórica	262095.698	kg/cm ²
M.E. teórica	25702.808	MPa
Carga Máxima	55265.00	kg
Esfuerzo Máx.	304.96	kg/cm ²

CURVA DE ESFUERZO V.S. DEFORMACIÓN UNITARIA CC 1:3



D.4.5 CONCRETO COMBINADO 1:4

CONCRETO COMBINADO 1:4

EDAD: 28 días

DIMENSIONES DE LA PROBETA					
	N°01	N°02	Promedio		
Diámetro (cm)	15.07	15	15.035		
Altura (cm)	30.42	30.46	30.44	Carga última (kg)	52621.00
Área (cm ²)	177.54			Esfuerzo(kg/cm ²)	296.39

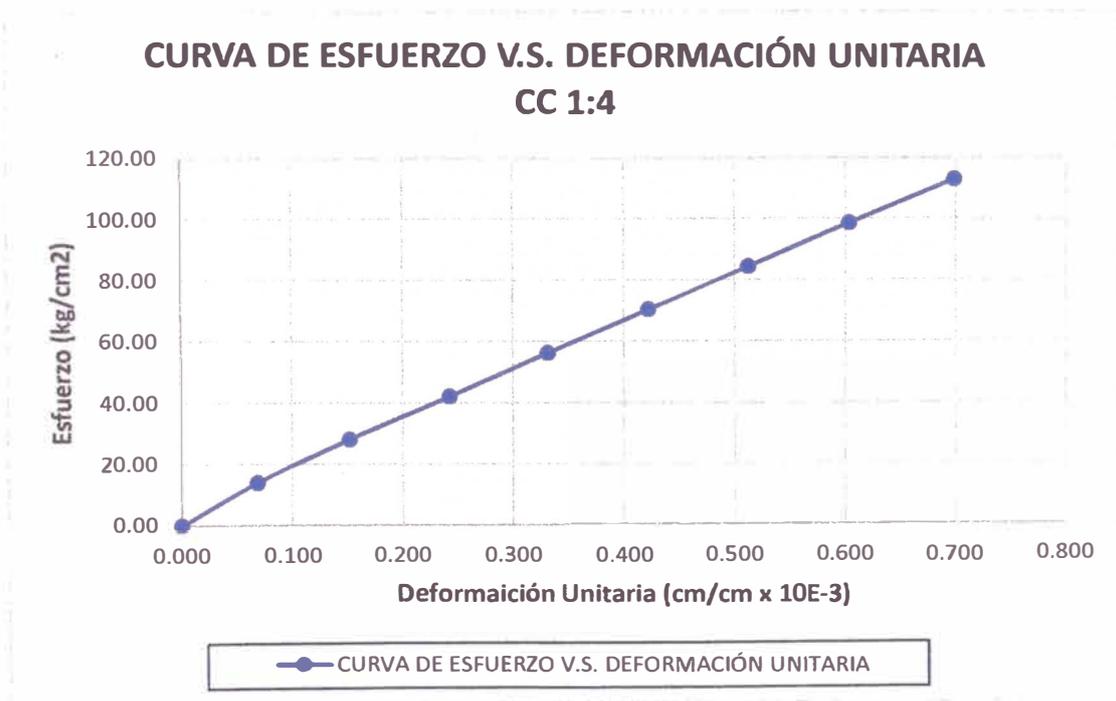
FUERZA (kg)	LECTURA (cm)			DEFORMACIÓN PROMEDIO (cm)	ESFUERZO (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (cm/cm \times 10 ⁻³)
	N°01	N°02	N°03			
0	0	0	0	0	0.00	0.000
2500	0.00200	0.00220	0.00210	0.00210	14.08	0.069
5000	0.00440	0.00460	0.00490	0.00463	28.16	0.152
7500	0.00710	0.00740	0.00770	0.00740	42.24	0.243
10000	0.00990	0.01000	0.01040	0.01010	56.33	0.332
12500	0.01250	0.01290	0.01320	0.01287	70.41	0.423
15000	0.01540	0.01560	0.01580	0.01560	84.49	0.512
17500	0.01850	0.01820	0.01840	0.01837	98.57	0.603
20000	0.02150	0.02100	0.02130	0.02127	112.65	0.699
22500	0.02440	0.02450	0.02460	0.02450	126.73	0.805

Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación U. (cm/cm x 10 ⁻³)
0.00	0.000
S1	0.05000
14.08	0.06899

Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación U. (cm/cm x 10 ⁻³)
112.65	0.699
118.56	e2
126.73	0.805

RESUMEN		
M.E. experimental	156307.242	kg/cm ²
M.E. teórica	258385.831	kg/cm ²
M.E. teórica	25338.994	MPa
Carga Máxima	52621.00	kg
Esfuerzo Máx.	296.39	kg/cm ²

CURVA DE ESFUERZO V.S. DEFORMACIÓN UNITARIA CC 1:4



D.4.6 CONCRETO COMBINADO 1:5

CONCRETO COMBINADO 1:5

EDAD: 28 días

DIMENSIONES DE LA PROBETA					
	N°01	N°02	Promedio		
Diámetro (cm)	15.15	15.13	15.14		
Altura (cm)	30.47	30.51	30.49	Carga última (kg)	48899.00
Área (cm ²)	180.03			Esfuerzo(kg/cm ²)	271.62

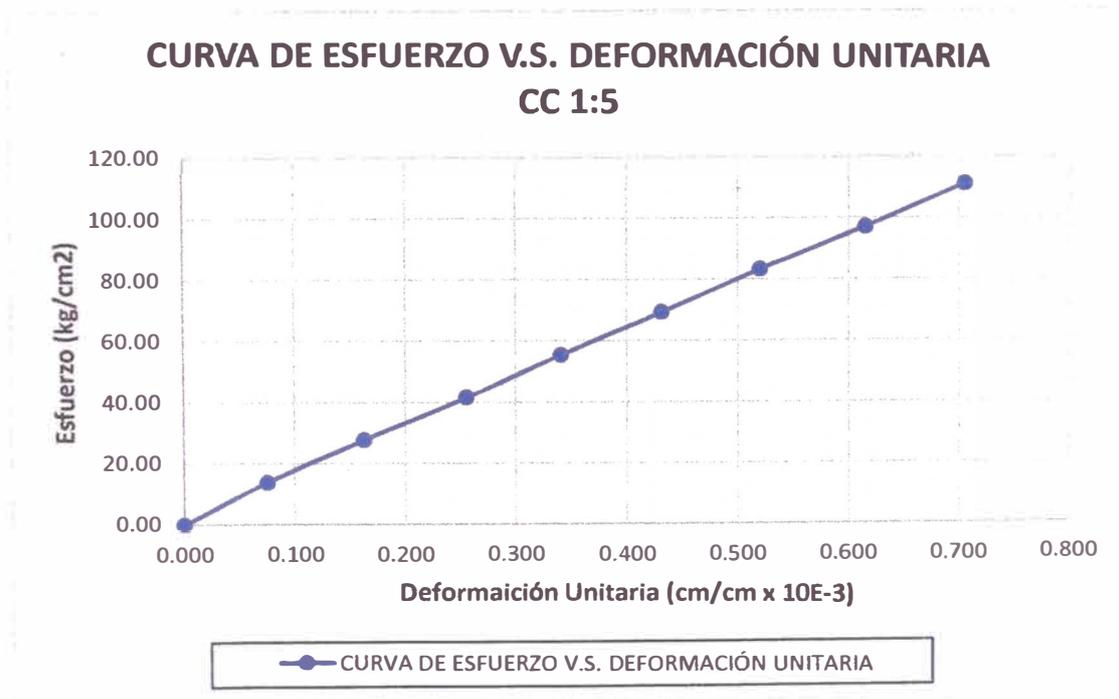
FUERZA (kg)	LECTURA (cm)			DEFORMACIÓN PROMEDIO (cm)	ESFUERZO (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (cm/cm x 10 ⁻³)
	N°01	N°02	N°03			
0	0	0	0	0	0.00	0.000
2500	0.00210	0.00260	0.00220	0.00230	13.89	0.075
5000	0.00480	0.00520	0.00490	0.00497	27.77	0.163
7500	0.00760	0.00800	0.00780	0.00780	41.66	0.256
10000	0.01010	0.01060	0.01050	0.01040	55.55	0.341
12500	0.01320	0.01330	0.01300	0.01317	69.43	0.432
15000	0.01600	0.01580	0.01580	0.01587	83.32	0.520
17500	0.01910	0.01870	0.01850	0.01877	97.21	0.616
20000	0.02220	0.02130	0.02100	0.02150	111.09	0.705

Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación U. (cm/cm x 10 ⁻³)
0.00	0.000
S1	0.05000
13.89	0.07543

Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación U. (cm/cm x 10 ⁻³)
97.21	0.616
108.65	e2
111.09	0.705

RESUMEN		
M.E. experimental	155535.470	kg/cm ²
M.E. teórica	247352.722	kg/cm ²
M.E. teórica	24257.016	MPa
Carga Máxima	48899.00	kg
Esfuerzo Máx.	271.62	kg/cm ²

CURVA DE ESFUERZO V.S. DEFORMACIÓN UNITARIA CC 1:5



ANEXO E: PANEL FOTOGRÁFICO



Foto N°01: Desmonte del Laboratorio de Ensayo de Materiales FIC-UNI



Foto N°02: Residuos de Demolición para la Remodelación de una Vivienda



Foto N°03: Residuos de Construcción y Demolición (RCD) del CIU-UNI



Foto N°04: Trituración del RCD de origen pétreo para la investigación.



Foto N°05: Material reciclado obtenido.



Foto N°06: Agregado Fino Patrón.

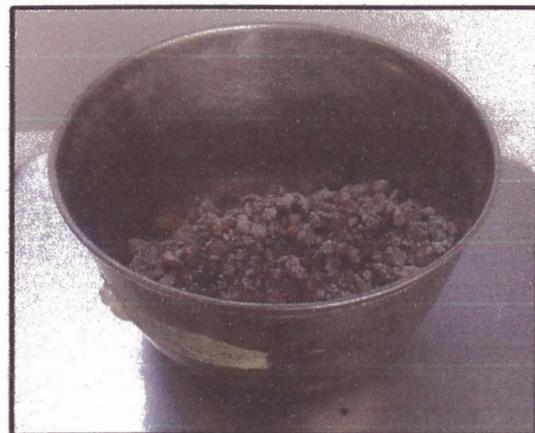


Foto N°07: Agregado Fino Reciclado.



Foto N°08: Análisis Granulométrico del Agregado Fino Reciclado.



Foto N°09: Agregado Grueso Patrón.

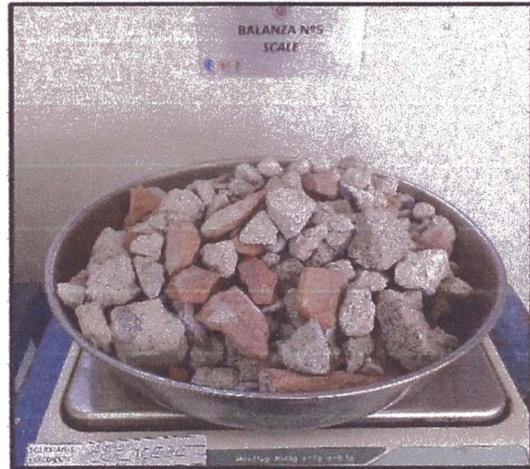


Foto N°10: Agregado Grueso Reciclado.



Foto N°11: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso Reciclado.



Foto N°12: Combinación de A. Fino Patrón + A. Global Reciclado.



Foto N°13: Agregado Global Combinado.

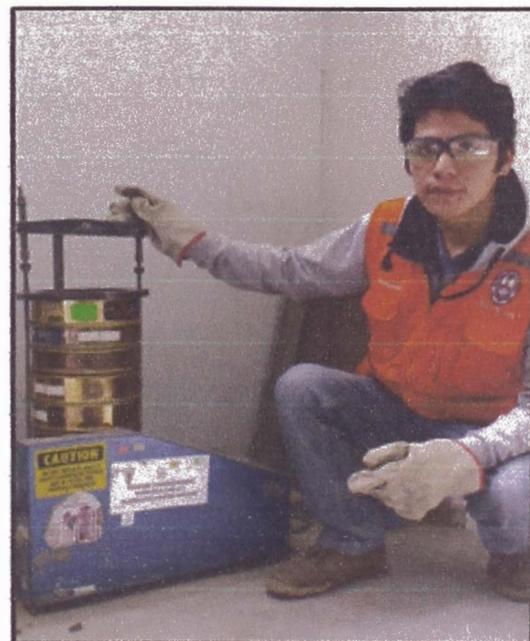
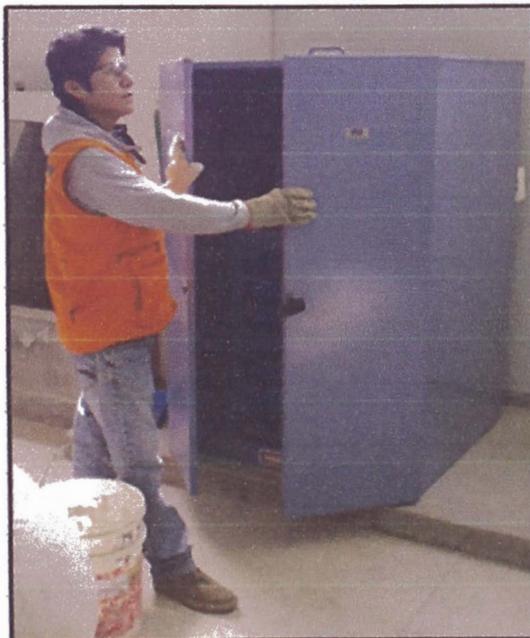


Foto N°14 y 15: Ensayo de Granulometría de Agregado Grueso y Fino respectivamente.

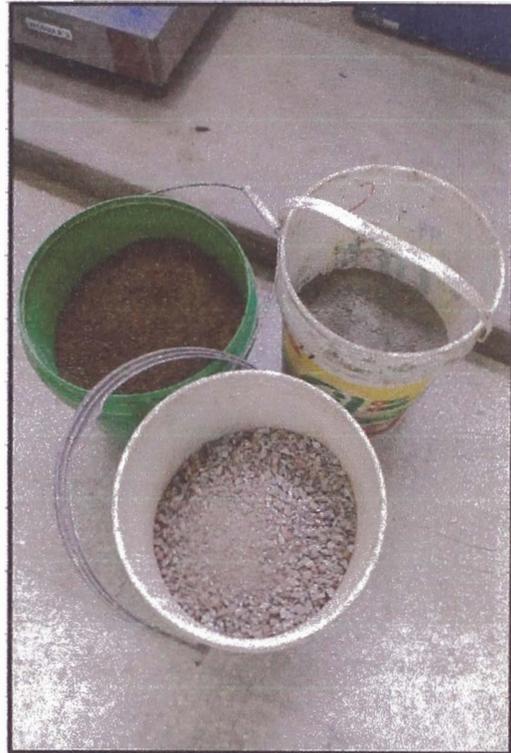
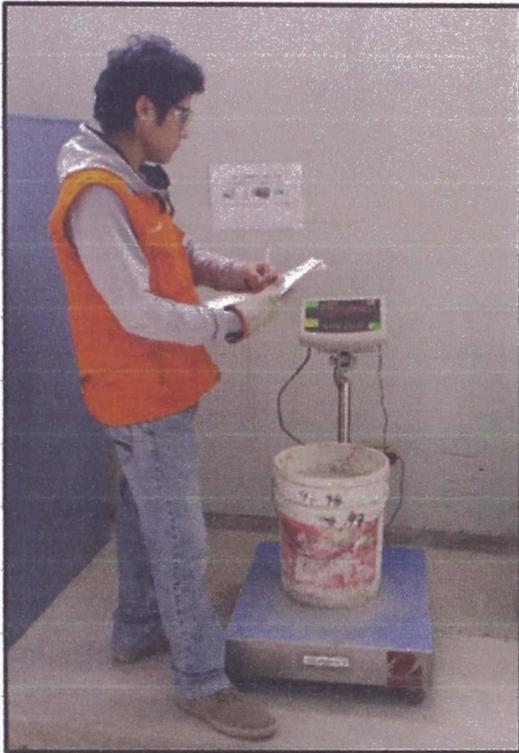


Foto N°16 y 17: Pesado de los materiales para la mezcla según dosificación.

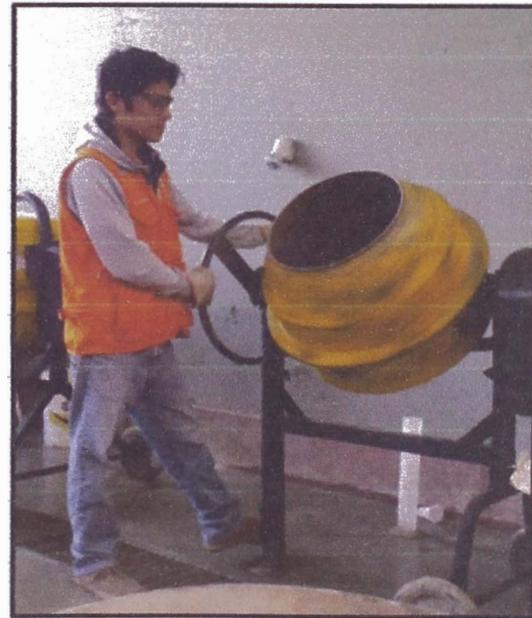


Foto N°18 y 19: Saturado de agregados reciclados y mezclado del concreto.

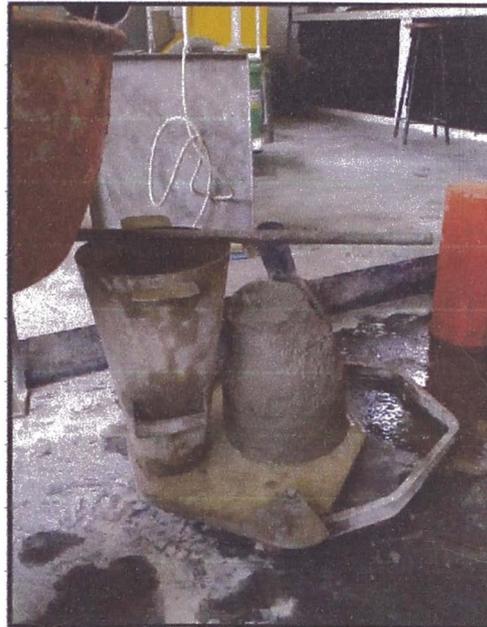
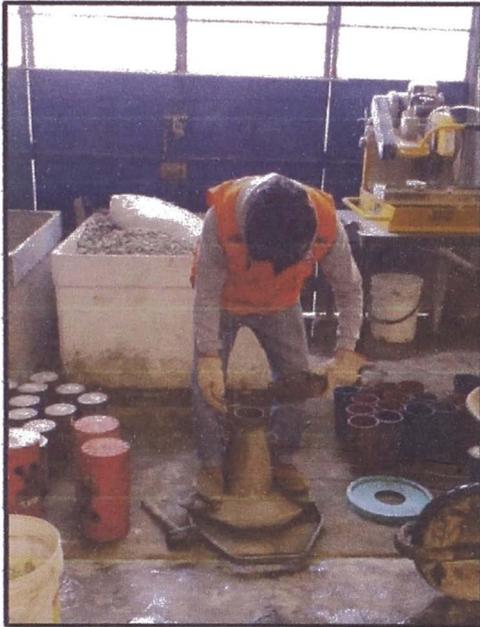


Foto N°20 y 21: Llenado del cono de Abrams para el Ensayo de asentamiento.

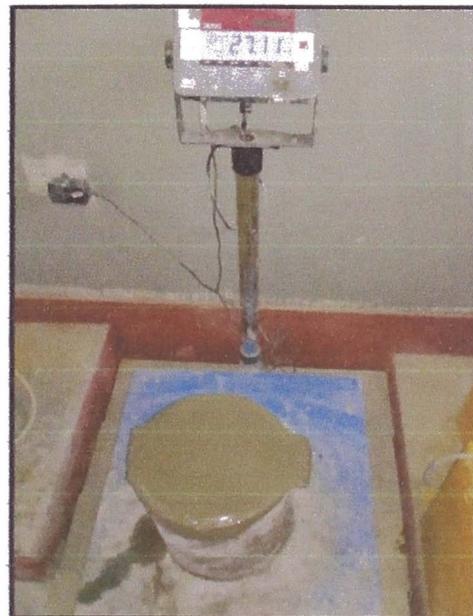
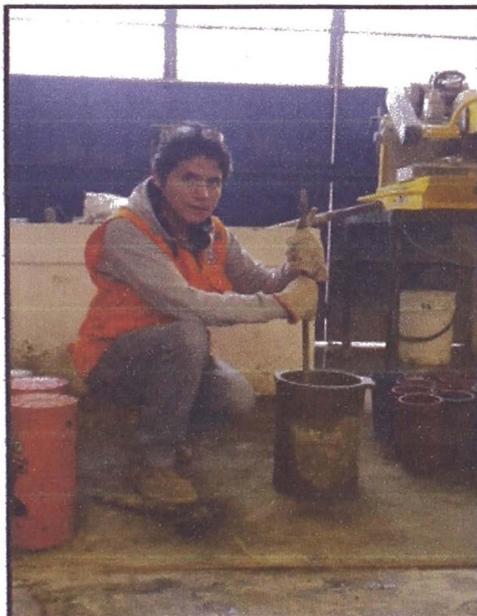


Foto N°22 y 23: Compactado y pesado del ensayo de peso unitario del concreto fresco.

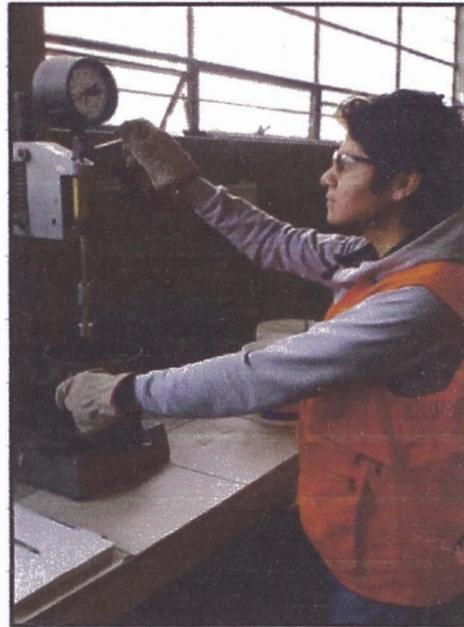
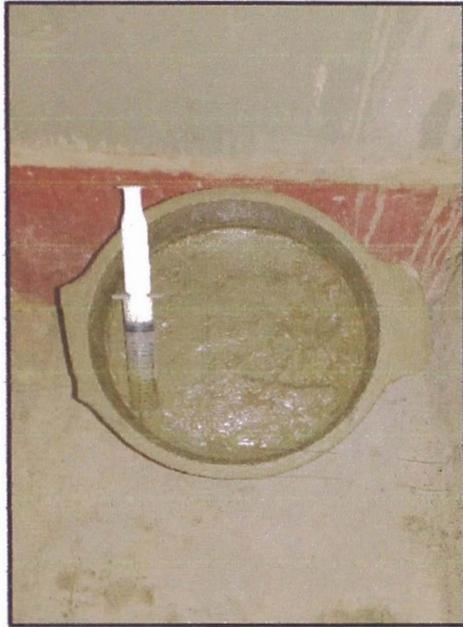


Foto N°24 y 25: Ensayos de Exudación y Tiempo de Fragua en el Concreto Fresco.

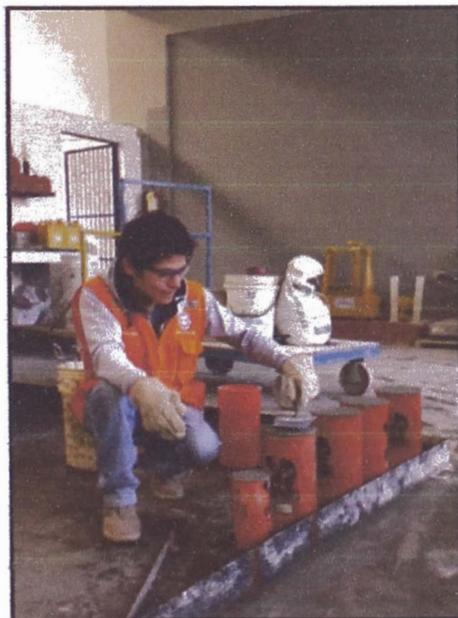


Foto N°26 y 27: Llenado y curado de probetas de concreto.

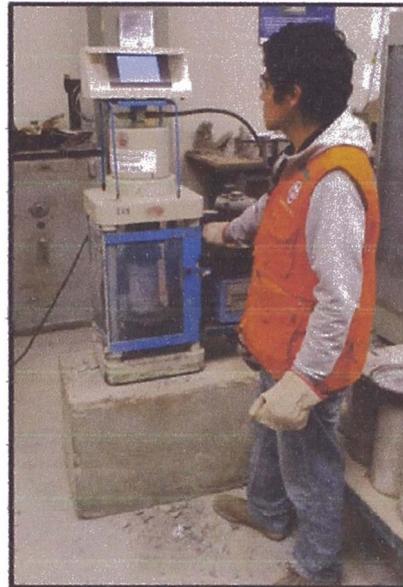
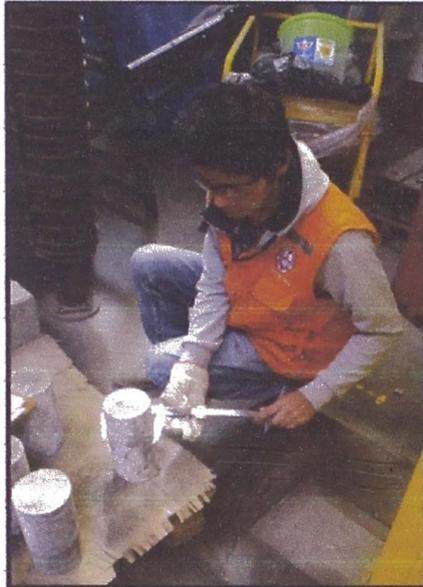


Foto N°28 y 29: Toma de dimensiones y ensayo de resistencia a la compresión axial de la probeta.



Foto N°30: Probeta de concreto combinado después del ensayo de resistencia a la compresión axial.



Foto N°31: Muestras de probetas de concreto combinado ensayadas.



Foto N°32: Probeta de concreto sometida al ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral.

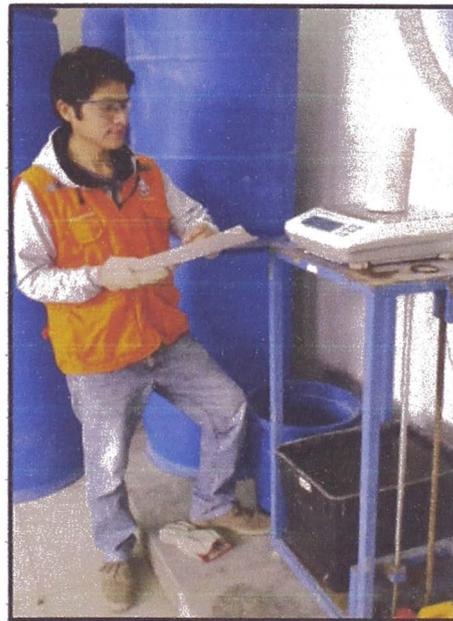
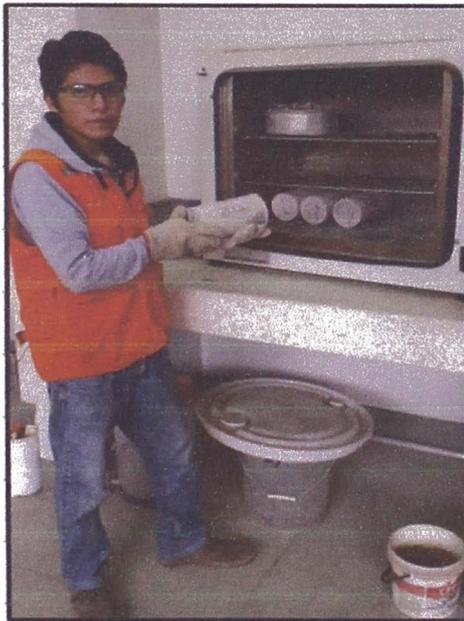


Foto N°34 y 35: Secado y pesado para el Ensayo de Absorción del concreto endurecido.

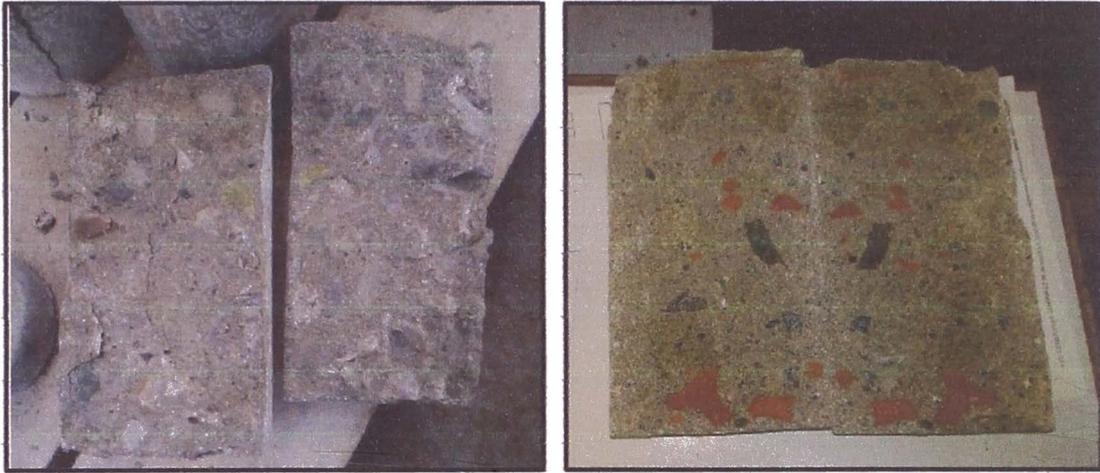


Foto N°36 y 37: Muestras ensayadas de Concreto Patrón y Concreto Combinado.