

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO
COMPACTADO $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO
RECICLADO”**

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

PRESENTADO POR:

AGUILAR CORO, Diana Isabel

ASESOR:

Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

CAJAMARCA – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado fortaleza, salud, y sabiduría, además por su infinito amor y bondad.

Con sincero amor y gratitud a mis queridos padres, gracias por la vida y por todo lo que me han dado, son mi mayor motivación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, porque todo lo que soy se lo debo a él, siempre me ilumina, guía y bendice mi camino, dándome la fortaleza necesaria para no desmayar ante las diferentes adversidades de la vida.

A mi familia, amigos, compañeros, asesor y personas que de una y otra manera contribuyeron hacer realidad el presente trabajo de investigación. Así mismo a la Universidad Nacional de Cajamarca por haber sido la sede de todos los conocimientos adquiridos en estos años.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FOTOGRAFÍAS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.6. OBJETIVOS	17
1.6.1. Objetivo General:.....	17
1.6.2. Objetivos Específicos:	17
1.7. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO.....	17
CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	20
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	20
2.2. BASES TEÓRICAS	21
2.2.1. CONCRETO.....	21
2.2.2. CONCRETO COMPACTADO.....	21
2.2.3. COMPONENTES DEL CONCRETO COMPACTADO	24
2.2.4. DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS	26

2.2.5. PROPIEDADES DEL CONCRETO COMPACTADO PARA PAVIMENTOS	28
2.2.6. EJECUCION DEL PAVIMENTO	30
2.2.7. CONCRETO RECICLADO	36
2.2.8. AGREGADOS RECICLADOS	37
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	41
CAPÍTULO III : MATERIALES Y MÉTODOS	42
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	42
3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN	42
3.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ORIGEN DE LOS AGREGADOS NATURALES	42
3.1.3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ORIGEN DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO.....	43
3.2. TIEMPO DE REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	43
3.3. METODOLOGÍA.....	44
3.3.1. TIPO, NIVEL DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	44
3.3.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	44
3.3.3. MUESTRA.....	44
3.3.4. UNIDAD DE ANÁLISIS.....	44
3.4. PROCEDIMIENTO	44
3.4.1. SELECCIÓN DE AGREGADOS	46
3.4.2. CONCRETO RECICLADO	46
3.4.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS	46
3.4.4. DISEÑO DE CCR POR LA METODOLOGÍA DE COMPACTACIÓN DE SUELOS.....	50
3.4.5. ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS	53
3.4.6. DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO	53
3.4.7. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	53
3.5. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	53

3.5.1. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	53
3.5.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	53
CAPÍTULO IV : ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	58
4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS	58
4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO.....	58
4.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	59
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON LA HIPÓTESIS... 59	
4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON ANTECEDENTES TEÓRICOS	60
CAPÍTULO V : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
5.1. CONCLUSIONES.....	61
5.2. RECOMENDACIONES.....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
ANEXOS	66
ANEXO N° 01 : PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	66
ANEXO N° 02: ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA DOSIFICACIÓN POR LA METODOLOGÍA DE COMPACTACIÓN DE SUELOS	81
ANEXO N° 03: DISEÑOS DE MEZCLAS.....	83
ANEXO N° 04: RESULTADOS DE ENSAYOS DE PESO UNITARIO.....	93
ANEXO N° 05: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	96
ANEXO N° 06: ENSAYO A COMPRESIÓN UNIAXIAL DE NÚCLEOS DE CONCRETO ENDURECIDO.....	104
ANEXO N° 07: HOJA TECNICA CEMENTO PORTLAND TIPO I	105
ANEXO N° 08: PANEL FOTOGRÁFICO.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Compactación del concreto con rodillo vibratorio	23
Figura N° 2: Distribución del concreto con equipo para mezclas asfálticas	23
Figura N° 3: Método discontinuo con Tambores Mezcladores Inclinaados	31
Figura N°4: Método discontinuo con mezcladores de tránsito o mixer	31
Figura N° 5: Método continuo con Mezclador de eje horizontal.....	32
Figura N° 6: Colocación del concreto de la central en camión para su transporte a obra	32
Figura N° 7: Colocación del CCR utilizando máquinas de asfalto modificados	33
Figura N° 8: Rodillo compactador de neumáticos y rodillo vibratorio.....	34
Figura N° 9: Ubicación geográfica de la investigación	42
Figura N° 10: Ubicación de la Cantera Aguilar	43
Figura N° 11: Ubicación de la calle para la obtención de Concreto Reciclado	43
Figura N° 12: Diagrama del procedimiento usado en la investigación.....	45
Figura N° 13: Peso unitario promedio del concreto fresco según el tipo de diseño	56
Figura N° 14: Variación de la resistencia a la compresión de cada tipo de diseño a diferentes edades de curado.....	57
Figura N° 15: Resistencia a la compresión promedio de cada tipo de diseño a diferentes edades de curado	57
Figura N° 16: Curva de Distribución Granulométrica del agregado fino - Ensayo N°01	66
Figura N° 17: Curva de Distribución Granulométrica del agregado fino - Ensayo N°02	67
Figura N° 18: Curva de Distribución Granulométrica del agregado fino - Ensayo N°03	68
Figura N° 19: Curva de Distribución Granulométrica del agregado grueso - Ensayo N°01	71
Figura N° 20: Curva de Distribución Granulométrica del agregado grueso - Ensayo N°02	72
Figura N° 21: Curva de Distribución Granulométrica del agregado grueso - Ensayo N°03	73
Figura N° 22: Curva de Distribución Granulométrica del agregado grueso reciclado - Ensayo N°01.....	76
Figura N° 23: Curva de Distribución Granulométrica del agregado grueso reciclado - Ensayo N°02.....	77

Figura N° 24: Curva de Distribución Granulométrica del agregado grueso reciclado - Ensayo N°03.....	78
Figura N° 25: Curva de Distribución Granulométrica de la gradación óptima de los agregados.....	81
Figura N° 26: Curva de compactación	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Límites de gradación-combinación de agregados para pavimentos de CCR (ACI 325.10R).....	25
Tabla N° 2: Detalle de Muestras	44
Tabla N° 3: Propiedades físicas y mecánicas de los agregados naturales.....	54
Tabla N° 4: Propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso reciclado.....	54
Tabla N° 5: Dosificación de materiales del Concreto Patrón	55
Tabla N° 6: Dosificación de materiales para cada tipo de diseño.....	55
Tabla N° 7: Peso unitario promedio del concreto fresco según el tipo de diseño	55
Tabla N° 8: Resistencia a la compresión promedio según el tipo de diseño, a diferentes edades y con el porcentaje obtenido.....	56
Tabla N° 9: Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino - Ensayo N°01	66
Tabla N° 10: Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino - Ensayo N°02 ..	67
Tabla N° 11: Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino - Ensayo N°03 ..	68
Tabla N° 12: Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Fino	69
Tabla N° 13: Peso Específico del agua.....	69
Tabla N° 14: Factor "F" del recipiente para Agregado Fino.....	69
Tabla N° 15: Ensayo de Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Fino.	70
Tabla N° 16: Ensayo de Peso Unitario Seco Compactado del Agregado Fino.	70
Tabla N° 17: Ensayo de Partículas < N° 200 para el Agregado Fino.....	70
Tabla N° 18: Ensayo de Contenido de Humedad del Agregado Fino.	70
Tabla N° 19: Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado grueso - Ensayo N°01	71
Tabla N° 20: Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado grueso - Ensayo N°02	72
Tabla N° 21: Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado grueso - Ensayo N°03	73
Tabla N° 22: Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.....	74
Tabla N° 23: Factor "F" del recipiente para Agregado Grueso	74
Tabla N° 24: Ensayo de Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Grueso	74
Tabla N° 25: Ensayo de Peso Unitario Seco Compactado del Agregado Grueso	75
Tabla N° 26: Ensayo de Partículas < N° 200 para el Agregado Grueso	75
Tabla N° 27: Ensayo de Contenido de Humedad del Agregado Grueso	75
Tabla N° 28: Ensayo de Abrasión del Agregado Grueso.....	75
Tabla N° 29: Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado grueso reciclado - Ensayo N°01	76

Tabla N° 30: Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado grueso reciclado - Ensayo N°02	77
Tabla N° 31: Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado grueso reciclado - Ensayo N°03	78
Tabla N° 32: Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso Reciclado	79
Tabla N° 33: Ensayo de Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Grueso Reciclado	79
Tabla N° 34: Ensayo de Peso Unitario Seco Compactado del Agregado Grueso Reciclado.....	79
Tabla N° 35: Ensayo de Partículas < N° 200 para el Agregado Grueso Reciclado	80
Tabla N° 36: Ensayo de Contenido de Humedad del Agregado Grueso Reciclado	80
Tabla N° 37: Ensayo de Abrasión del Agregado Grueso Reciclado	80
Tabla N° 38: Combinación de Agregados Fino y Grueso	81
Tabla N° 39: Ensayo de Compactación Proctor Modificado	82
Tabla N° 40: Resultados del ensayo de Peso Unitario del diseño Patrón	93
Tabla N° 41: Resultados del ensayo de Peso Unitario del diseño con 25% Agregado Grueso Reciclado	93
Tabla N° 42: Resultados del ensayo de Peso Unitario del diseño con 50% Agregado Grueso Reciclado	94
Tabla N° 43: Resultados del ensayo de Peso Unitario del diseño con 75% Agregado Grueso Reciclado	94
Tabla N° 44: Resultados del ensayo de Peso Unitario del diseño con 100% Agregado Grueso Reciclado	95
Tabla N° 45: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 7 días del diseño Patrón	96
Tabla N° 46: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 14 días del diseño Patrón	96
Tabla N° 47: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 28 días del diseño Patrón	97
Tabla N° 48: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 7 días del diseño con 25% Agregado Grueso Reciclado.....	97
Tabla N° 49: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 14 días del diseño con 25% Agregado Grueso Reciclado.....	98
Tabla N° 50: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 28 días del diseño con 25% Agregado Grueso Reciclado.....	98
Tabla N° 51: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 7 días del diseño con 50% Agregado Grueso Reciclado.....	99

Tabla N° 52: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 14 días del diseño con 50% Agregado Grueso Reciclado	99
Tabla N° 53: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 28 días del diseño con 50% Agregado Grueso Reciclado	100
Tabla N° 54: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 7 días del diseño con 75% Agregado Grueso Reciclado	100
Tabla N° 55: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 14 días del diseño con 75% Agregado Grueso Reciclado	101
Tabla N° 56: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 28 días del diseño con 75% Agregado Grueso Reciclado	101
Tabla N° 57: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 7 días del diseño con 100% Agregado Grueso Reciclado	102
Tabla N° 58: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 14 días del diseño con 100% Agregado Grueso Reciclado	102
Tabla N° 59: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 28 días del diseño con 100% Agregado Grueso Reciclado	103
Tabla N° 60: Resultados de resistencia a la compresión del Concreto Reciclado	104

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 1: Obtención de concreto reciclado.....	106
Fotografía N° 2: Extracción de núcleo de concreto endurecido.....	106
Fotografía N° 3: Determinación de la resistencia a compresión del núcleo de concreto endurecido.....	107
Fotografía N° 4: Trituración de concreto reciclado para obtener agregado grueso reciclado	107
Fotografía N° 5: Extracción de agregados de la Cantera Aguilar – Chilete	108
Fotografía N° 6: Ensayo de análisis granulométrico de agregados	108
Fotografía N° 7: Ensayo de peso específico de agregado fino.....	109
Fotografía N° 8: Ensayo de Peso específico del agregado grueso	109
Fotografía N° 9: Ensayo de Peso unitario suelto del agregado fino	110
Fotografía N° 10: Ensayo de Peso unitario suelto del agregado grueso	110
Fotografía N° 11: Ensayo de Peso unitario compactado del agregado fino.....	111
Fotografía N° 12: Ensayo de Peso unitario compactado del agregado grueso reciclado	111
Fotografía N° 13: Ensayo de porcentaje de finos que pasan el tamiz N°200.....	112
Fotografía N° 14: Determinación del contenido de humedad mediante el ensayo Proctor Modificado	112
Fotografía N° 15: Ensayo de Proctor Modificado	113
Fotografía N° 16: Toma de muestras representativas para la obtención del contenido de humedad.....	113
Fotografía N°17: Mezclado de materiales del concreto	114
Fotografía N° 18: Elaboración y compactación de los especímenes de concreto.....	114
Fotografía N° 19: Elaboración y compactación de los especímenes de concreto.....	115
Fotografía N° 20: Probetas de concreto compactado elaboradas con agregados naturales.....	115
Fotografía N° 21: Probetas de concreto compactado elaboradas con reemplazo de agregados grueso por agregado grueso reciclado	116
Fotografía N° 22: Identificación y codificación de probetas de concreto.....	116
Fotografía N° 23: Curado de probetas de concreto con cal.....	117
Fotografía N° 24: Determinación del peso de probetas, para calcular el peso unitario del concreto fresco	117
Fotografía N° 25: Máquina Universal para determinar resistencia a la compresión...	118
Fotografía N° 26: Ensayo de resistencia a la compresión	118
Fotografía N° 27: Falla tipo 5	119

RESUMEN

El uso de agregados reciclados provenientes de la trituración del concreto es una gran alternativa económica y ambiental, razón por la cual esta investigación tuvo como objetivo determinar la variación de la resistencia a la compresión, que tiene el concreto compactado, al reemplazar el agregado grueso en porcentajes de 25, 50, 75 y 100% por agregado grueso reciclado para una resistencia especificada de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y usarlo en pavimentos rígidos. Para ello se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de los agregados tanto de los naturales como del agregado grueso reciclado, el diseño de mezclas se realizó usando la metodología de compactación de suelos, se elaboraron 150 especímenes cilíndricos de concreto para evaluar la resistencia a la compresión a edades de 7, 14 y 28 días de curado. A los 28 días, la resistencia a la compresión para los concretos compactados elaborados con una sustitución de 25% y 50% de agregado grueso reciclado aumentó en 6.04% y 1.47% respecto al concreto elaborado con agregados naturales. Por otro lado la resistencia a la compresión de los concretos compactados elaborados con una sustitución de 75% y 100% de agregado grueso reciclado disminuyó en 7.64% y 10.98% respectivamente. Concluyendo que es posible sustituir el agregado grueso reciclado en un porcentaje de hasta 50% del total del agregado grueso natural para un concreto compactado sin perjudicar su resistencia a la compresión.

Palabras Claves: Concreto compactado, resistencia a la compresión, agregados naturales, agregado grueso reciclado.

ABSTRACT

The use of recycled aggregates from crushing concrete is a great economic and environmental alternative, which is why this research aimed to determine the variation in compressive strength, which has compacted concrete, by replacing the coarse aggregate in percentages of 25, 50, 75 and 100% per recycled coarse aggregate for a specified resistance of $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$ and use it on rigid pavements. For this, the physical and mechanical properties of the aggregates of both the natural and the recycled coarse aggregate were determined, the design of mixtures was carried out using the soil compaction methodology, 150 cylindrical concrete specimens were prepared to value assess the compressive strength at ages 7, 14 and 28 days of cure. At 28 days, the compressive strength for compacted concrete made with a 25% and 50% replacement of recycled coarse aggregate increased by 6.04% and 1.47% compared to concrete made with natural aggregates. On the other hand, the compressive strength of compacted concrete made with a replacement of 75% and 100% recycled coarse aggregate decreased by 7.64% and 10.98% respectively. Concluding that it is possible to replace the recycled coarse aggregate in a percentage of up to 50% of the total natural coarse aggregate for a compacted concrete without damaging its compressive strength.

Key Words: Compacted concrete, compressive strength, natural aggregates, recycled coarse aggregate.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los agregados que se utilizan para la elaboración del concreto tanto arena como grava, comúnmente son recogidos en los lechos de ríos o por la molienda de piedras naturales en diferentes tamaños. Esta producción masiva a nivel mundial somete al medio ambiente a una lucha constante por la preservación de los agregados naturales, normalmente un recurso no renovable. Por esa razón, el ser humano en la búsqueda de alternativas para optimizar los recursos materiales con los que cuenta, ha ido descubriendo nuevos métodos y técnicas que combinan la seguridad y la economía. (Villeda, 2014). Una de las medidas sustentables tomadas es el reciclaje de residuos de la construcción como un medio de reducir el consumo de recursos naturales. (Rodríguez, 2013)

En nuestro medio actualmente se generan cantidades significativas de escombros y residuos sólidos aproximadamente 18,729 ton/mes, producto de algunas actividades como construcción, rehabilitación, restauración, remodelación y demolición de edificaciones e infraestructura (MVCS, 2014); sin embargo se sabe que en Perú, las principales ciudades no cuentan con la infraestructura necesaria para la adecuada disposición final.

Por otro lado, una técnica que es utilizada en concreto para hacer más eficiente el uso de los materiales, es mediante el compactado. El concreto compactado presenta algunas ventajas respecto a los demás como: economía, rapidez, y flexibilidad. (Villeda, 2014). Desde hace muchos años se viene desarrollando la investigación experimental del Concreto Compactado en varios países del mundo, principalmente en Canadá, EE.UU. y China, debido a su bajo costo y proceso constructivo repetitivo. Su acertada aplicabilidad ha funcionado de forma idónea en el diseño y construcción de presas, motivo que ha inusitado la adaptación e investigación en el área de pavimentos para determinadas solicitudes por todo el mundo. Nuestro país no es ajeno a esta tendencia, por tal motivo desde hace algunos años, investigadores nacionales han propuesto criterios de diseño adaptados a nuestra realidad y entorno, basados en experiencia internacional y normas extranjeras, sin contar con normativa propia en nuestro país hasta la fecha. (Huamani, 2016)

Considerando lo anterior, una manera de cuidar y aprovechar al máximo un recurso es mediante su optimización, es decir, la reutilización del mismo. Además una manera de hacer más eficiente el uso de los materiales es mediante el compactado. Es por eso que, la presente investigación estudiará un concreto compactado $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ usando agregado grueso reciclado obtenido de la trituración de concreto reciclado obtenido de pavimento rígido, con lo cual se pretende cuantificar la influencia de la proporción en que se combinen el agregado grueso reciclado en la mezcla de un concreto compactado.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuánto variará la resistencia a la compresión de un concreto compactado $f'c =210 \text{ kg/cm}^2$ al usar agregado grueso reciclado?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

La resistencia a la compresión del concreto compactado elaborado con agregado grueso reciclado, es menor en un 10% respecto a la resistencia a la compresión del concreto compactado elaborado con agregados naturales.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La reutilización de residuos en la producción de pavimentos rígidos de bajo costo, es una alternativa a la generación de residuos sólidos de la construcción, así tenemos el reciclaje del concreto, lo cual es una alternativa económica y ambiental de gran valor e interés, tanto para impedir un desperdicio importante de los materiales usados como para reducir la explotación inútil de las fuentes de áridos naturales.

Así mismo el concreto compactado es una alternativa muy competitiva para usarse en los pavimentos, optimiza recursos y costos al comparar con las otras técnicas tradicionales.

Esta investigación tiene el propósito de brindar conocimientos del concreto compactado usando agregado grueso reciclado para ser usado en pavimentos rígidos, una alternativa de bajo costo, ambiental y segura, para así satisfacer la necesidad de mejorar las vías de comunicación terrestre en la ciudad de Cajamarca.

1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación consistirá en estudiar el comportamiento del concreto compactado elaborado con agregado reciclado, para una resistencia especificada de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, reemplazando el agregado grueso en porcentajes de 25, 50, 75 y 100% con agregado proveniente de concreto reciclado. Además, para lograr esta resistencia se utilizará los

conceptos de compactación de suelos. La evaluación de la evolución de la resistencia a la compresión se realizará a los 7, 14 y 28 días de curado.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo General:

- Determinar la variación de la resistencia a la compresión de un concreto compactado al usar agregado grueso reciclado en remplazo del agregado natural.

1.6.2. Objetivos Específicos:

- Determinar la variación de la resistencia a compresión de un concreto $f'c=210$ kg/cm² al reemplazar el agregado grueso por agregado grueso reciclado en porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100%.
- Determinar la variación del peso unitario del concreto $f'c=210$ kg/cm² al reemplazar el agregado grueso por agregado grueso reciclado en porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100%.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados naturales y del agregado grueso reciclado.

1.7. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

La presente investigación cuenta con cinco capítulos los cuales se describen a continuación: El desarrollo de la investigación se realizó en cinco capítulos:

- Capítulo I: Introducción
Este capítulo contiene el planteamiento del problema de la investigación, la justificación, los alcances de la investigación, y los objetivos de la misma.
- Capítulo II: Marco Teórico
Este capítulo contiene los antecedentes teóricos de la investigación, donde se describe investigaciones similares a nivel internacional, nacional y local; luego se detalla los fundamentos teóricos que sirven de base para la investigación.
- Capítulo III: Materiales y Métodos
En este capítulo se indica la ubicación geográfica y el tiempo en el cual se realizó la investigación; así mismo, se describe los procedimientos que se realizarán en la investigación. Finalmente se presenta los resultados obtenidos del procesamiento de datos, de acuerdo a los objetivos especificados.

- **Capítulo IV: Análisis y Discusión de Resultados**
Se realiza el análisis de los resultados obtenidos del capítulo anterior, describiéndolos, explicándolos y comparándolos.
- **Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones**
En este capítulo finaliza la investigación, presentando las conclusiones de acuerdo a los objetivos planteado y en función a los resultados encontrados, también se indica las recomendaciones pertinentes para seguir ampliando los conocimientos sobre el problema de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Agreda & Moncada (2015) en su investigación “Viabilidad en la elaboración de prefabricados en concreto usando agregados gruesos reciclados” realizado en Colombia. Diseñó tres tipos de mezcla, en donde se sustituyó el agregado convencional en proporciones iguales al 25% 50% y 70% por ciento, por agregado grueso reciclado. Al evaluar las propiedades físicas y mecánicas se logró concluir mediante los ensayos practicados que la resistencia a la compresión en los tres tipos de mezcla fue favorable, ya que en cada una de ellas se registraron valores iguales o superiores a los 28 MPa requeridos para el propósito que fueron diseñadas, sin embargo la mezcla con contenido del 70% de agregado se destaca de las otras, ya que en los periodos de curado evaluados (7, 14 y 21 días) se mantuvo constantemente en rangos superiores a los obtenidos al ensayar la muestra testigo, alcanzado hasta un 8% de diferencia. Así mismo al realizar el ensayo a flexión se evidencio que la probeta que mayor valor obtuvo es la que presenta 70% de contenido de agregado grueso reciclado, sin embargo al realizar el ensayo de consistencia de concreto esta muestra fue la que presento menor asentamiento, lo que significa una consistencia seca y perdida en la manejabilidad de la mezcla.

Navarro (2014) en su investigación “Uso y fomento del árido reciclado en hormigón estructural como oportunidad de mejora medioambiental y económica” realizada en España. Los ensayos demostraron que el concreto reciclado se puede usar sin problemas, incluso en un porcentaje superior al 20% de sustitución. Además las propiedades que presentaron mayores problemas fueron la absorción, resistencia y durabilidad, las cuales podrían ser corregidas mediante el uso de aditivos, que en la mayoría de los casos ya se usa para los hormigones realizados con árido natural, pero que en ningún caso supone que no se cumplan las características exigidas.

Alvarado (2014) en su investigación “Estudio Descriptivo de la Tecnología del Concreto Compactado con Rodillo y su Aplicabilidad en Pavimentos” realizada en Colombia. Llega a la conclusión que las propiedades del CCR comparadas con las de un concreto convencional, difieren muy poco y obedecen básicamente a las

diferencias en las proporciones de la mezcla, la granulometría y el contenido de vacíos.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Meléndez (2016) en su investigación “Utilización del concreto reciclado como agregado (grueso y fino) para un diseño de mezcla $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la ciudad de Huaraz” realizada en Ancash. Concluye que el agregado grueso y fino en base al reciclado de desechos de concreto de demolición no cumple en su totalidad con las normas para los agregados, pero con su uso en la elaboración de un nuevo concreto se puede lograr resistencias mayores a 199.70 kg/cm^2 . Para ellos se debe tener mucho cuidado al momento de la elaboración y curado. Así mismo se puede lograr mayor resistencia, adicionando la cantidad de agua adecuada y mayor tiempo de curado.

Parillo & Camargo (2015) en su investigación “Reutilización de residuos sólidos en la producción de pavimentos rígidos de bajo costo en el distrito de Juliaca” realizada en Puno. Los ensayos realizados en esta investigación muestran que todo el agregado reciclado usado estaba compuesto por concreto triturado. Las propiedades mecánicas del concreto endurecido para la mezcla de Agregado Natural 50% - Agregado Reciclado 50%. para un diseño de mezcla de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ se obtuvo una resistencia a la compresión a los 28 días un $f'c=255 \text{ kg/cm}^2$, superando la resistencia de diseño. Además se comprobó que el agregado reciclado absorbe mucha agua, el agregado grueso reciclado es de 6.55% de agua en cambio del agregado grueso natural de 1.78% de agua; ello se debe a que el agregado reciclado tiene una mayor porosidad en su estructura.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Tafur (2015) en su investigación “Estudio del comportamiento físico- mecánico del concreto diseñado y elaborado con agregado grueso reciclado en la ciudad de Cajamarca”. Diseñó mezclas de concreto, uno con agregados naturales y otro con 100% agregado grueso reciclado, para una resistencia a la compresión de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ donde tuvo como conclusiones: El porcentaje de incremento en la resistencia a la compresión, de un concreto elaborado con agregado grueso reciclado es de 4.15% mayor que la resistencia del concreto elaborado con agregado natural. La cantidad de cemento en el diseño del concreto elaborado con agregado grueso reciclado, es sensiblemente mayor al concreto elaborado con agregado natural, en un 5.10%, siendo este un factor adicional que influye en la resistencia del concreto obtenido.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CONCRETO

Para Meléndez (2016) El concreto es un material de construcción que está hecho básicamente de agua, agregados (grava y arena), cemento y aire, gana resistencia después de un cierto tiempo de reacción con el agua. Aunque actualmente se les puede agregar otro ingrediente dependiendo su disposición final y el factor del tiempo, los denominados aditivos.

La principal característica estructural del concreto es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tensión, flexión, cortante, etc.), por este motivo es habitual usarlo asociado al acero, recibiendo el nombre de concreto armado, teniendo en conjunto un comportamiento muy favorable ante las diversas sollicitaciones a las que será sometido en la práctica.

2.2.2. CONCRETO COMPACTADO

2.2.2.1. Generalidades

El Concreto Compactado difiere del concreto convencional principalmente en su consistencia. Para su colocación, la mezcla de concreto debe ser lo suficientemente seca para prevenir el hundimiento de los equipos de rodillo vibratorio, pero lo suficientemente húmeda para permitir la adecuada distribución de mortero conglomerante en el concreto durante el mezclado y la operación de la compactación vibratoria. (Bonilla & García, 2009)

American Concrete Institute (ACI) define al CCR como "concreto compactado mediante compactación con rodillo; concreto que, en su estado no endurecido, apoyará un rodillo mientras es compactado." El término "compactación con rodillos" se define también por la ACI como "un proceso para la compactación de concreto utilizando un rodillo, a menudo un rodillo vibrante". En el mundo se usan distintas nomenclaturas para el Concreto Compactado:

- R.C.C. (Roller Compacted Concrete) en Estados Unidos
- R.D.L.C. (Roller Dry Lean Concrete) en Inglaterra
- R.C.D (Roller Compacted Dam) en Japón
- B.C.R (Beton Compacte au Rouleau) en Francia
- H.C.R (Hormigón Compactado con Rodillo) en España

El CCR tiene amplia aplicación en represas y en obras viales, como pavimentos urbanos y rurales, aeropuertos, pisos industriales, etc. Las características del material a utilizar en obras viales son completamente diferentes de aquellas utilizadas en obras hidráulicas, debido a que las solicitaciones de trabajo son distintas. (Rocha, 2005)

2.2.2.2. Concreto Compactado para Pavimentos

De acuerdo a Rocha (2005) el primer Concreto Compactado fue construido en 1893 en Bellefontaine, EEUU, en el estado de Ohio, y corresponde al más antiguo pavimento de concreto que se conoce; fue utilizado como capa inferior de un pavimento compuesto; el consumo de cemento fue bajo y la compactación realizada por compresión.

Así mismo Rocha afirma que el Concreto Compactado para pavimentos tiene propiedades que varían, fundamentalmente de acuerdo con el consumo de cemento, la cantidad de agua utilizada, las características de los materiales, los métodos y energías de compactación empleados, el uso de aditivos, la edad del material, etc. Las particularidades que interesan específicamente en pavimentación son: resistencia a la compresión, a la tracción por flexión, módulo de elasticidad, deformación, retracción, durabilidad y fisuración.

a. Ventajas: ICCYC (Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto) afirma que las ventajas del concreto compactado son:

- Los pavimentos de CCR son una tecnología que envuelve el uso de materiales y equipos de construcción convencionales en una aplicación no convencional, el resultado es una economía de tiempo en la construcción del pavimento, lo que influye significativamente en los costos de éste.
- En el caso de obras menores sometidas a tráfico livianos, el CCR puede ser colocado con la maquinaria tradicional utilizada en movimiento de tierras, (motoniveladora, rodillo vibratorio y rodillo neumático).
- En el caso de obras mayores, donde el tráfico sea medio y se requiera una buena terminación superficial, el equipo utilizado puede ser el comúnmente usado en obras de pavimentación asfáltica (finisher, rodillo vibratorio y rodillo neumático).
- Alta capacidad de soporte inicial, lo que le permite al pavimento ser liberado al tráfico después de su terminación.
- Se cura con agua, emulsión asfáltica o compuesto de curado.

- Alto volumen de producción, alta resistencia y durabilidad, alta capacidad de carga y deformación mínima de la superficie.
- Economía en cemento, la gran compactación hace que el CCR tenga mayor resistencia que un concreto convencional con menor contenido de cemento, existiendo un ahorro importante en el consumo de cemento por metro cúbico.



*Figura N° 1: Compactación del concreto con rodillo vibratorio
Fuente: Portland Cement Association – PCA (2006)*



*Figura N° 2: Distribución del concreto con equipo para mezclas asfálticas
Fuente: Portland Cement Association – PCA (2006)*

b. Desventajas: Por otro lado Bonilla & García(2009) consideran algunas posibles desventajas del concreto compactado las siguientes:

- Requiere un buen control de fabricación y en obra, fundamentalmente de la humedad, terminación superficial y resistencias.
- No tiene el mismo aspecto que otros tipos de concreto. No es tan estético y suave como el concreto convencional.
- Sensibilidad a las variaciones de humedad en el mezclado y extendido del material así como a los defectos de compactación se traducen en una considerable disminución de las resistencias.

2.2.3. COMPONENTES DEL CONCRETO COMPACTADO

Los materiales constituyentes del CCR son de una manera general, los mismos utilizados en el concreto tradicional, es decir, grava, arena, cemento, agua y, cuando es necesario, aditivo. (Rocha, 2005)

2.2.3.1. Cemento

Escalaya (2006) considera que este tipo de concreto puede ser elaborado con cualquiera de los tipos básicos de cemento Portland. Para las aplicaciones en masa, son útiles los cementos que tienen como característica la baja generación de calor de hidratación, comparado con el tipo I de ASTM C 150. Estos incluyen el Tipo II (moderado calor de hidratación) y el tipo V (resistencia a los sulfatos) de ASTM C 150, el tipo IP (Cemento Portland más puzolana) y el tipo IS (cemento Portland-con escoria de alto horno) de ASTM C 595. El desarrollo de la resistencia para estos cementos generalmente es más bajo que para el Tipo I a edades tempranas, pero producen finalmente resistencias más altas.

ACI 325.10R menciona que muchos de los pavimentos CCR se han construido utilizando cemento Portland Tipo I o II y cenizas volantes de clase F o clase C. El uso de cenizas volantes es un medio eficaz de proporcionar material fino adicional necesario para asegurar una compactación adecuada,

2.2.3.2. Agregados

Según ACI 325.10R, los agregados comprenden aproximadamente del 75 al 85 % del volumen de una mezcla de pavimento CCR. La selección adecuada de los agregados adecuados resultará una mayor economía en la construcción y más durabilidad de los pavimentos de CCR. Para CCR de alta calidad, tanto el agregado grueso y fino deben estar compuestos de partículas duras, duraderas y la calidad debe ser evaluada por ensayos de propiedades físico estándar, tales

como los enumerados en la norma ASTM C 33. Debe limitarse el tamaño máximo del agregado grueso. El uso de agregado más grande aumenta en gran medida la probabilidad de segregación durante el transporte de CCR.

En pavimentos, generalmente se usan mezclas densas, bien gradadas, con un agregado de tamaño máximo nominal igual o inferior de ¾ de pulgada (19 mm) con el fin de ayudar a minimizar la segregación y producir una superficie con acabado liso.

El agregado fino y el agregado grueso deben mezclarse para crear un combinado denso. La norma ACI 325.10R ha establecido límites de gradación de agregado que han sido usados para producir satisfactoriamente mezclas de pavimento de CCR, los cuales se muestran en la Tabla N°1.

Tabla N° 1: Límites de gradación-combinación de agregados para pavimentos de CCR (ACI 325.10R)

TAMIZ		% QUE PASA	
N°	mm	MIN	MAX
1"	25.40	100	100
3/4"	19.05	82	100
1/2"	12.70	72	93
3/8"	9.53	66	85
N°4	4.75	51	69
N°8	3.36	38	56
N° 16	1.18	28	46
N° 30	0.60	18	36
N° 50	0.30	11	27
N° 100	0.15	6	18
N° 200	0.075	2	8

2.2.3.3. Agua

Bonilla & García (2009), mencionan que el agua utilizada en mezclas de CCR debe estar libre de cantidad excesivas de álcalis, ácidos o material orgánico que pueden inhibir la ganancia de resistencia. Los concretos compactados son muy sensibles a la variación del contenido de agua, la falta de agua aumenta el riesgo de segregación, dificultando la compactación y el terminado superficial, el exceso produce inestabilidad de la mezcla durante la compactación (acolchonamientos)

Rocha (2005) asume que el porcentaje óptimo de agua dentro de un metro cúbico de CCR varía entre 4 y 7% del peso de los materiales secos, o aproximadamente 70% del agua que normalmente se utiliza para fabricar un concreto común (más o menos 190 litros/m³).

2.2.4. DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS

De acuerdo a Escalaya (2006), el objetivo básico de la dosificación de mezclas de concreto compactado es producir un material que satisfaga el desarrollo de requerimientos, usando la combinación más económica de materiales disponibles rápidamente que puedan ser colocados por métodos de compactación con rodillo. Las propiedades físicas deseadas de la mezcla dependen de la función, localización y el diseño escogido para la estructura.

Así mismo la norma ACI 325.10R menciona que existen varios métodos que son usados para dosificar las mezclas de pavimento de CCR. Estos métodos se pueden dividir en dos categorías:

2.2.4.1. Diseño mediante la evaluación de pruebas de consistencia de concreto

Este método consiste esencialmente en proporcionar el CCR para una óptima trabajabilidad al nivel requerido de resistencia, utilizando el aparato Vebe descrito en la norma ACI 211.3R. El aparato Vebe ha sido modificado por el Cuerpo de Ingenieros y la Oficina de Recuperación para hacerlo más adecuado para su uso con CCR. Consiste en un vibrador tabla de frecuencia y amplitud fija, con un metal contenedor con un volumen de aproximadamente 0.33 pies³ (0.0094m³) bien sujeto a él. Una muestra representativa de concreto se coloca libremente en el contenedor bajo un recargo que tiene una masa de 29.5 o 50 lb (13.3 o 22.7 kg), dependiendo del aparato modificado seleccionado. La medida de consistencia es el tiempo de vibración, en segundos, requerido para consolidar completamente el concreto, como lo demuestra la formación de un anillo de mortero entre el recargo y la pared del contenedor. Aunque los tiempos Vebe modificados de 20 a 30 segundos han sido considerados como apropiados para CCR que contiene un TMN de 1 ½ a 3 pulgadas (38 a 76 mm) y se utiliza en aplicaciones de concreto en masa, estos tiempos normalmente representan concreto que tiene una consistencia demasiado húmedo para colocarlo adecuadamente y compactarlo en los pavimentos. (ACI 325.10R)

La investigación de laboratorio indica que los tiempos Vebe modificados, son determinados bajo un recargo de 50 lb (22.7 kg), los tiempos de 30 a 40 segundos son los más apropiados para mezclas de pavimento CCR.

El tiempo óptimo modificado de Vebe está influenciado por el contenido de agua, TMN del agregado, contenido de agregado fino, y la cantidad de material más fino que los 75 µm (Tamiz N° 200).

Métodos de dosificación de mezclas utilizando pruebas de consistencia, generalmente requieren la fijación de parámetros específicos de la mezcla, como contenido de agua, contenido de materiales cementantes o contenido de agregado, y luego se varía un parámetro para obtener el nivel deseado de consistencia. De esta manera, cada parámetro de mezcla puede ser optimizado para lograr el CCR fresco y las propiedades deseadas del concreto endurecido. (ACI 325.10R)

2.2.4.2. Diseño por la Metodología de Compactación de Suelos

De acuerdo a la norma ACI 325.10R, este método de proporción implica establecer una relación entre la densidad seca y el contenido de humedad del CCR por compactación de muestras en un esfuerzo de compactación dado en un rango de contenido de humedad. Es similar al método utilizado para determinar la relación entre el contenido de humedad y densidad seca de suelos y mezclas suelo-agregado. El equipo utilizado incluye un martillo de compactación de 4,54 kg (10 lb) que tiene una caída de 457 mm (18 pulg.) y un molde de acero de 152 mm (6.0 pulg.) de diámetro que tiene un altura de 116 mm (4.6 pulg.), descritos en la norma ASTM D 1557.

El contenido de material cementante está determinado por requisitos de resistencia y durabilidad del pavimento, y es a menudo expresado como un porcentaje del peso total seco de los materiales (cemento y agregados). La cantidad de cemento típico varía del 10 al 17 por ciento en peso seco de los agregados.

Los agregados fino y grueso, se combinan para crear una mezcla bien graduada. La unidad de volumen de agregado fino y grueso por unidad de volumen de CCR se puede calcular después de que el contenido de humedad óptimo de la mezcla de CCR se determina.

El contenido de humedad óptimo de la mezcla se define como el contenido de humedad que corresponde al pico de la curva del contenido de densidad versus humedad, dependiendo de las propiedades de los agregados utilizados y el contenido de cemento. La pérdida de resistencia se producirá en una mezcla que tiene un contenido de humedad significativamente por debajo de la óptima debido a la presencia de huecos de aire atrapados adicionales; la pérdida de resistencia también se producirá en una mezcla si el contenido de humedad está significativamente por encima del óptimo debido a un aumento de la relación agua/cemento. (ACI 325.10R)

2.2.5. PROPIEDADES DEL CONCRETO COMPACTADO PARA PAVIMENTOS

2.2.5.1. Propiedades Mecánicas

2.2.5.1.1. Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión del Concreto compactado está determinada por el contenido de agua, el contenido y las propiedades del material cementante, la granulometría del agregado y el grado de compactación. Para muchas mezclas CCR, la resistencia en compresión es una función de la relación agua - material cementante, tal como en los concretos convencionales. Las mezclas CCR con un bajo contenido de pasta pueden alcanzar resistencias a la compresión de 50 a 150 Kg/cm², las de contenido de pasta medio de 110 a 210 Kg/cm² y las mezclas con alto contenido de pasta alcanzarán resistencias de 175 a 315 Kg/cm². (Escalaya, 2006)

Además Alvarado (2014) menciona que para la determinación de la resistencia a la compresión, los cilindros usados son del mismo tamaño que los cilindros convencionales de concreto: 6" de diámetro por 12" de altura. También se puede realizar mediante la extracción de núcleos. En la aproximación a suelos, hay dos métodos comunes para preparar cilindros de CCR.

- ✓ Usando el martillo y energía de compactación del Proctor Modificado.
- ✓ Usando un martillo vibrador Hilti o un apisonador de polo neumático

2.2.5.1.2. Resistencia a la Tracción Indirecta

Según SENCICO la resistencia a la tracción del concreto es una forma de comportamiento de gran interés para el diseño y control de calidad en todo tipo de obras y en especial las estructuras hidráulicas y de pavimentación.

La relación de la resistencia a la tracción y la resistencia a la compresión en el concreto varía dependiendo de la calidad del agregado, edad, contenido de cemento y resistencia. La resistencia a la tracción del concreto está en el orden del 10% al 15% de la resistencia a la compresión. (Escalaya, 2006)

2.2.5.2. Propiedades Elásticas

2.2.5.2.1. Módulo de Elasticidad

De acuerdo a la norma ACI 325.10R, el módulo de elasticidad generalmente no se ha medido en especímenes de proyectos reales de CCR. Pruebas limitadas en núcleos obtenidos de una sección de prueba a gran escala indica que los valores

del módulo de elasticidad del CCR pueden ser similares o ligeramente más alto que aquellos para concreto convencional.

2.2.5.3. Cambio volumétrico

2.2.5.3.1. Retracción por Secado

El cambio de volumen de secado o retracción de secado es similar o menor en el concreto compactado con rodillo debido principalmente al reducido contenido de agua, frente al de un concreto convencional. (ACI 207.5R)

2.2.5.3.2. Cambio de volumen autógeno

El cambio de volumen autógeno principalmente está relacionada con las propiedades de los materiales y proporciones en la mezcla. Similar al concreto convencional, el cambio de volumen autógeno no puede predecirse de manera confiable sin pruebas de laboratorio. Esto es especialmente cierto para las mezclas hechas con un cemento, puzolana o agregado inusual. (ACI 207.5R)

2.2.5.4. Propiedades Térmicas

Las propiedades térmicas, incluyendo el calor específico, conductividad, coeficiente de expansión térmica y el aumento de temperatura adiabática son la principal preocupación en masas de concreto convencional y de concreto compactado con rodillo. Las propiedades termales de la mezclas son gobernadas por las propiedades termales de los constituyentes. Aunque los valores para concretos convencionales y CCR son similares, los valores reales medidos pueden variar significativamente, dependiendo del tipo y contenido de agregado, cemento y puzolana. (ACI 207.5R)

2.2.5.5. Peso Unitario

El peso unitario o densidad depende principalmente de la gravedad específica de los agregados y de la cantidad de vacíos en la masa del concreto. En el CCR hay poca cantidad de vacíos de aire retenido, reducidos por la gran compactación. Esto significa que existe una mayor cantidad de sólidos en un volumen unitario de CCR, por lo tanto el peso unitario es generalmente mayor que en el concreto convencional hecho con agregado de la misma gravedad específica. (Escalaya, 2006).

ACI 207.5R menciona que los valores del peso unitario para CCR exceden a 2400 Kg/m³.

2.2.6. EJECUCION DEL PAVIMENTO

2.2.6.1. Producción y transporte

Para obras de importancia, es deseable realizar la producción del Concreto compactado en las mismas centrales utilizadas en la fabricación de concretos tradicionales; pueden, también, ser usadas plantas continuas utilizadas en gravas tratadas. Sin embargo, en obras menores bien controladas, puede ser producido el CCR en volumen; el cemento siempre debe ser medido en masa (peso). El tipo de central debe ser escogido en función del volumen de obra y de los rendimientos requeridos, así como de los equipos que ejecutarán el transporte, la colocación y la compactación.

Como el CCR es muy sensible al contenido de agua en el caso de variar la humedad de los agregados, deben continuamente ser ejecutadas correcciones de ésta. (Rocha, 2005)

2.2.6.1.1. Plantas Mezcladoras de CCR

Las normas Norteamericanas consideran dos métodos de mezcla de CCR y son de tipo discontinuo y continuo:

- *Mezcladores de tipo discontinuos*: Son tambor mezclador inclinado y mezcladores de tránsito o "mixer" (tambor móvil). Las mezcladoras tipo discontinuas se usan típicamente para proyectos más pequeños y producen un lote de CCR a la vez. Después de cada ciclo de mezcla, el mezclador debe vaciarse por completo y volverse a cargar con materiales para el siguiente lote. (PCA, 2006)



Figura N° 3: Método discontinuo con Tambores Mezcladores Inclinados
Fuente: Portland Cement Association – PCA (2006)



Figura N°4: Método discontinuo con mezcladores de tránsito o mixer
Fuente: Portland Cement Association – PCA (2006)

- *Mezcladoras de tipo continuo:* Se usan típicamente para proyectos más grandes y producen CCR a una velocidad constante. Los materiales se introducen continuamente en un extremo y el CCR recién mezclado sale del otro extremo. (PCA, 2006)



*Figura N° 5: Método continuo con Mezclador de eje horizontal
Fuente: Portland Cement Association – PCA (2006)*

2.2.6.1.2. Transporte

El medio de transporte más adecuado para transportar el CCR, una vez producido en centrales mezcladoras, es a través de camiones volquetes (tolva), los que pueden variar su capacidad desde 5 a 15 m³, la altura del suelo hasta la tolva del camión, para evitar la segregación del material, debe ser la mínima posible. En caso de largas distancias de transportes, de tiempo lluvioso o caluroso y/o de existencia de viento, se debe proteger el CCR con toldos para evitar daños al material por exceso de agua o por pérdida de humedad. (Rocha, 2005)



*Figura N° 6: Colocación del concreto de la central en camión para su transporte a obra
Fuente: Portland Cement Association – PCA (2006)*

2.2.6.2. Distribución y Colocación

Dependiendo de la magnitud de la obra, se puede ejecutar la distribución del Concreto compactado manualmente o con equipos mecánicos, los que pueden ser seleccionados dentro de la variedad disponible, los equipos más usados son:

- Motoniveladora: Puede ser usada cuando el CCR es utilizado como capa de base, donde no se requiere una terminación superficial exigente o, como revestimiento de pavimentos urbanos sometidos a tráfico liviano, en áreas de geometría difícil, etc.
- Distribuidora de agregados: Puede ser utilizada tanto para la colocación de CCR para bases, como para revestimientos; permite mejores terminaciones del material y facilita la distribución.
- Distribuidora de mezcla asfáltica: Pueden ser utilizadas sea en la colocación de bases y de revestimientos; tienen la ventaja de proporcionar una buena terminación superficial y una pre-compactación del CCR; estas máquinas limitan la colocación del material a determinados espesores, debiendo generalmente para espesores superiores a 15 cm ser modificadas o adaptadas.



Figura N° 7: Colocación del CCR utilizando máquinas de asfalto modificados

Fuente: ACI 325.10

2.2.6.3. Compactación

La etapa de compactación en la construcción es importante debido a su fuerte influencia en la densidad, resistencia, permeabilidad y la suavidad de la acera de CCR. El CCR se suele compactar con rodillo vibratorio inmediatamente después de la colocación. Rodillos compactadores de neumático también se han utilizado con éxito, especialmente para eliminar las grietas superficiales. En zonas de difícil

acceso, los compactadores de mano o de placa son lo más adecuado. (PCA, 2006)

Así mismo Rocha (2005), se refiere que el procedimiento para compactar cuando se utilizan rodillos vibratorios, se inicia con una pasada sin vibrar del equipo (ida y vuelta), a continuación se para el rodillo vibrando cuantas veces sea necesario para alcanzar el grado de compactación requerido (por ejemplo, en espesores de 15 a 18 cm, el 100% del grado de compactación de la energía normal, generalmente se alcanza con un rodillo vibratorio de 6 a 8 toneladas y después de 4 a 6 pasadas, dependiendo del material).



Figura N° 8: Rodillo compactador de neumáticos y rodillo vibratorio

Fuente: ACI 325.10R

2.2.6.4. Construcción de juntas

De acuerdo a Rocha (2005), inicialmente los pavimentos de CCR eran construidos sin juntas transversales siendo éstas obtenidas naturalmente, con espaciamientos de hasta cada 20 m, con apareamiento de fisuras a menores distancias, al ser solicitados los pavimentos; posteriormente, estas juntas fueron inducidas cada 12 a 15 m. Este espaciamiento se ha presentado como excesivo en algunos países, la práctica internacional ha presentado como límite inferior del espaciamiento de este tipo de juntas 3,5 m (en Alemania).

Una junta de construcción fresca se forma entre los carriles sucesivos de pavimentación cuando el intervalo de tiempo entre la colocación y compactación de los carriles es lo suficientemente corto como para permitir que los carriles a ser compactados interactúen juntos para formar una unión monolítica. Cuando no se usan aditivos retardantes, este intervalo de tiempo es generalmente de 60

minutos, dependiendo de la mezcla y las condiciones ambientales. Las juntas de construcción frías se forman cuando un carril de CCR se coloca más de una hora después de la colocación del carril de CCR adyacente. En la mayoría de los casos, las juntas frías se plantean con anticipación y el carril se compacta por todo su ancho. Las juntas de construcción generalmente se forman por el recorte de la distancia del borde exterior del carril sin compactar, de la pavimentación, con una sierra de concreto (ACI 325.10R).

2.2.6.5. Control de calidad

Rocha (2005) menciona que los estudios previos de laboratorio y la ejecución de un tramo experimental permitirán conocer las tolerancias de trabajo y control de los diferentes componentes del CCR. Algunas veces, de acuerdo al equipo utilizado en la obra, no es posible lograr las terminaciones requeridas, por lo cual se debe modificar la mezcla, sea variando las composiciones granulométricas, disminuyendo el tamaño máximo, etc.

En relación, a la obtención del grado de compactación, este puede ser medido por el método del frasco de arena, tomando algunos cuidados, de manera que los resultados obtenidos sean representativos del material colocado en obra (en CCR muy húmedos, la tendencia del material en el orificio de ensayo es expandirse, con lo cual se disminuye el volumen del hueco, obteniéndose altas masas específicas y en consecuencia, altos grados de compactación los que no reflejan el estado del material colocado).

La medida del grado de compactación en un control de obra preliminar, para garantizar que el pavimento alcanzará las resistencias características especificadas, el control efectivo se realizará a través de probetas ensayadas a la ruptura en edades especificadas.

Además menciona que las probetas en obras de pavimentación, en general no son representativas del estado en que quedó ejecutado el pavimento, el control final de la calidad de este, debe ser ejecutado a través de la extracción de testigos en el CCR endurecido.

2.2.6.6. Curado

Rocha (2005) recomienda que los pavimentos de CCR, como todo concreto, deben ser curados, fundamentalmente para garantizar que ellos alcancen las resistencias mecánicas deseadas y la durabilidad de proyecto. Después de ejecutado el CCR, se debe evitar las desecaciones superficiales para garantizar

un adecuado fraguado. El curado puede ser realizado por cualquier método que garantice el mantenimiento del agua dentro del material; pueden ser utilizados: agua, diques de arena húmeda, membranas de curado, riegos bituminosos, etc.

2.2.7. CONCRETO RECICLADO

2.2.7.1. Generalidades

La Norma Técnica Peruana NTP 400.053 define el concreto reciclado como aquel concreto cuyos agregados provengan parcial o completamente de granulados de concreto, gravas y arenas de reciclaje.

Según el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible- WBCSD (2009), el concreto presenta propiedades únicas y su recuperación suele ubicarse en medio de las definiciones estándar de reutilización y reciclaje. No es frecuente que el concreto pueda ser “reutilizado” en el sentido en que sea reutilizado en su forma original. Tampoco puede ser “reciclado” de regreso a sus componentes originales, En su lugar, el concreto puede ser fragmentado en bloques más pequeños o agregado para darle nueva vida. Considera que el reciclaje de concreto es una industria bien establecida en muchos países y la mayoría del concreto puede ser triturado y reutilizado como agregado. La tecnología existente para el reciclaje por medio de la trituración mecánica ya está disponible y es relativamente económica.

WBCSD cree que es necesario hacer una evaluación de los beneficios globales derivados del reciclaje de concreto para el desarrollo sostenible. El concreto tiene un alto impacto medioambiental con respecto a los insumos, específicamente en la fase de producción de cemento, es extremadamente duradero y puede traer muchas ventajas al medio ambiente durante la fase de utilización.

WBCSD considera que el reciclaje del concreto presenta dos ventajas principales:

- Reduce la utilización de nuevos agregados naturales y los costos ambientales de explotación y transporte y asociados.
- Reduce el desecho innecesario de materiales valiosos que pueden ser recuperados y reutilizados.

Así mismo WBCSD menciona que el concreto reciclado se puede usar como:

- Como agregado reciclado (grueso y fino)
- Como bloques en su forma original o cortados

2.2.7.2. Reciclaje de Concreto a Nivel Mundial

El Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible - WBCSD (2009) menciona algunos ejemplos de lo que está sucediendo en el mundo:

- Holanda es un ejemplo donde está prohibido el desecho de concreto en vertederos. Todo el concreto se recicla con excepción de algunos residuos de producción.
- Estados Unidos, donde 38 estados utilizan agregados de concreto reciclado para sub-bases viales y 11 lo reciclan para concreto nuevo.
- Brasil tiene algunas instalaciones de reciclaje (sobre todo en Sao Paulo y Belo Horizonte). Los agregados reciclados son utilizados en su mayoría en sub bases viales.
- Kosovo tiene 10 millones de toneladas de escombros resultantes del fin de la guerra. Se estableció un proyecto para producir y promover agregados reciclados para los esfuerzos de reconstrucción.
- Japón tiene una casi completa recuperación del concreto. Casi todo se usa como subbase vial.
- Tailandia usa algo de las devoluciones de concreto para productos prefabricados de concreto para proyectos comunitarios.
- En Australia se han emprendido proyectos utilizando concreto reciclado para nuevos productos de concreto.

2.2.8. AGREGADOS RECICLADOS

La Norma Técnica Peruana NTP 400.053 llama al agregado reciclado de concreto como granulado de concreto y lo define como el material secundario de construcción proveniente del tratamiento del concreto y mortero de demolición hasta llevarlo a partículas de tamaño similar al de los agregados.

Según Cabello (2016), los agregados reciclados procedentes de concreto son los más estudiados y los que presentan un mayor número de aplicaciones. El agregado reciclado de concreto se entiende por el agregado resultante del proceso de machaqueo, cribado y procesado en plantas de chancado, bien como residuos del propio proceso de construcción o bien de la demolición de estructuras existentes. Por otro lado WBCSD (2009), menciona que los agregados reciclados representan entre un 6% y 8% del total de agregados utilizados en Europa, con diferencias significativas entre países. Los principales usuarios son el Reino Unido, Holanda, Bélgica, Suiza y Alemania.

Meléndez (2016) considera que el procedimiento para obtener agregados reciclados consiste en:

- Romper y extraer el concreto antiguo.
- Triturar en una trituradora primaria y secundaria.
- Retirar cualquier material embebido en él.
- Realizar una gradación y lavar.
- Almacenar el agregado grueso y fino resultante.

Además Meléndez menciona que agregados reciclados son principalmente utilizados en reconstrucción de pavimentos. Han sido usado satisfactoriamente como agregados en sub-bases granulares y de concreto pobre, suelo cementos y en concreto nuevo remplazando total o parcialmente al agregado convencional.

WBCSD (2009), menciona que el agregado grueso reciclado se puede usar para sub-base, base vial y pavimento rígido. En Estados Unidos su uso y aceptación ha sido promovida por la Administración Federal de Autopistas (FHWA), la cual ha adoptado una política de uso y ha emprendido investigaciones en esta área. Investigaciones finlandesas han encontrado que el concreto reciclado con características acordadas específicas de calidad y composición en las capas de subbase y base pueden permitir la reducción del grosor.

Así como los agregados finos reciclados pueden ser utilizados en lugar de arena natural; no obstante, el contenido de mortero puede afectar la plasticidad, fuerza y contracción debido a la alta absorción de agua, lo que podría incrementar el riesgo de asentamiento y facturas por contracción durante el secado. (WBCSD, 2009),

2.2.8.1. Características y propiedades del agregado reciclado

2.2.8.1.1. Mortero adherido

Como menciona Navarro (2014), la principal diferencia entre los agregados reciclados y los agregados naturales estriba en la cantidad de mortero adherido que incorporan los primeros debido al concreto original del que proceden. La cantidad de mortero adherido hace que los agregados reciclados presenten propiedades distintas a los naturales que se reflejan en un aumento de la absorción de agua, menor densidad, menor resistencia, menor dureza y una menor resistencia a la fragmentación. El concreto fabricado con ellos estará directamente condicionado por dichas propiedades.

No existe un procedimiento normalizado para evaluar estas cantidades, aunque suelen emplearse métodos que tratan de eliminarlo de la superficie del agregado original para, mediante diferencia de pesadas antes y después de su eliminación, establecer el porcentaje en peso que corresponde al mortero adherido en él.

2.2.8.1.2. Granulometría

La granulometría de los agregados reciclados varía según el proceso de trituración que se realice, pudiéndose seleccionar mediante pequeños ajustes en la apertura de las trituradoras. El porcentaje de agregado grueso que se obtiene puede variar entre 70% y 90% del agregado total producido. Este porcentaje depende además del tamaño máximo del agregado grueso de concreto reciclado producido y de la composición del concreto original. (Meléndez, 2016)

Navarro (2014), menciona que la fracción gruesa se ajusta a los requerimientos que exigen las normativas vigentes quedando enmarcada dentro de los husos granulométricos de referencia establecidos en ellas.

2.2.8.1.3. Forma y textura

La presencia del mortero que queda adherido a los agregados del concreto original provoca que la textura de los agregados de concreto reciclado sea más rugosa y porosa que la de los agregados naturales como consecuencia del proceso de trituración. No obstante, el coeficiente de forma del agregado de concreto reciclado es similar al que puede presentar el agregado natural. (Meléndez, 2016)

2.2.8.1.4. Densidad

La densidad del agregado reciclado es menor que la del agregado natural ya que el primero presenta una capa de mortero adherido cuya densidad es inferior a la del agregado. (Navarro, 2014)

Meléndez (2016), menciona que la densidad del agregado de concreto reciclado suele oscilar entre 2100 y 2400 kg/m³, mientras que la densidad saturada con superficie seca varía entre 2300 y 2500 kg/m³.

2.2.8.1.5. Absorción

La absorción en los agregados reciclados alcanza valores muy superiores a los obtenidos en los agregados naturales. Sin duda alguna esto es debido a la cantidad de mortero adherido que presentan dichos agregados. En los agregados naturales los valores de la absorción oscilan entre un 0% y un 4% mientras que

en los diferentes estudios consultados los valores obtenidos en agregados reciclados van desde un 3,3% hasta un 13%.(Navarro, 2014)

2.2.8.1.6. Porosidad

Al igual que la absorción, la porosidad del agregado reciclado presenta desventajas con respecto al agregado natural debido a la doble composición que presenta: agregado natural y mortero adherido. (Navarro, 2014)

De acuerdo a Meléndez (2016), la incorporación del agregado reciclado en el concreto representa un aumento de su porosidad, y de su permeabilidad, aunque el resultado final depende también de las características de la nueva matriz cementante.

2.2.8.1.7. Resistencia a la abrasión

Navarro (2014) menciona que el coeficiente de Los Ángeles presenta valores superiores debido a que en dicho ensayo no solamente se produce la correspondiente pérdida de peso del agregado natural sino también la derivada de eliminar la totalidad de mortero adherido. En las fracciones más finas el coeficiente de Los Ángeles es mayor debido a que, el porcentaje de mortero adherido es mayor.

El concreto del que proceden los agregados reciclados también influye en el valor obtenido en el ensayo ya que, al aumentar la resistencia, el valor del coeficiente de Los Ángeles disminuye.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **CONCRETO:** Mezcla de cemento pórtland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos.(ACI 116R)
- **CONCRETO COMPACTADO:** Concreto que, en su estado no endurecido, soportará un rodillo mientras se compacta. (ACI 207.5R)
- **CONCRETO RECICLADO:** Concreto cuyos agregados provengan parcial o completamente de granulados de concreto, gravas y arenas de reciclaje.(NTP 400.053)
- **AGREGADOS:** Conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la misma. (NTP 400.011)
- **AGREGADOS RECICLADOS:** Material secundario de construcción proveniente del tratamiento del concreto y mortero de demolición hasta llevarlo a partículas de tamaño similar al de los agregados.(NTP 400.053)
- **CEMENTO:** Material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire. Quedan excluidas las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos. (NTP 334.009)
- **ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR:** Ensayo de compactación de laboratorio mediante el cual un suelo con un contenido de agua conocido se coloca de una manera específica en un molde de dimensiones dadas, sometidas a un esfuerzo de compacto de magnitud controlada. (ASTM D 653)
- **CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMA:** Contenido de agua en el que se puede compactar un suelo hasta un peso unitario seco máximo por un esfuerzo comparativo dado.(ASTM D 653)
- **PAVIMENTO:** Capa de concreto en áreas como carreteras, aceras, canales, parques infantiles y aquellos utilizados para almacenamiento o estacionamiento. (ACI 116R)
- **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:** Máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial o ruptura inducida por fuerzas externas. (ACI 116R)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y en el Laboratorio de Ensayo de Materiales "Carlos Esparza Díaz" de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en el distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca- Cajamarca, cuyas coordenadas UTM son 776604 E, 9207012 N zona 17 de acuerdo al DATUM WGS 84.

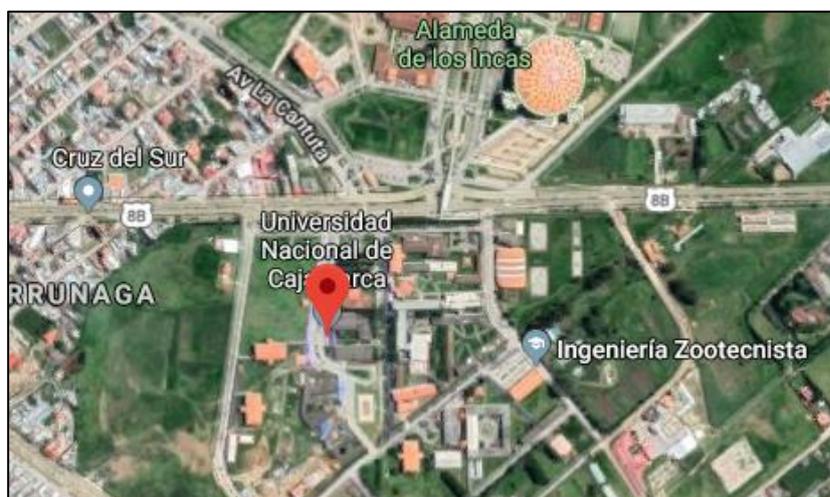


Figura N° 9: Ubicación geográfica de la investigación

Fuente: Google Maps

3.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ORIGEN DE LOS AGREGADOS NATURALES

Los agregados naturales utilizados en la presente investigación es del cauce del río Jequetepeque, de la Cantera "Aguilar", ubicada en el distrito de Chilete, provincia de Contumazá - Cajamarca; cuyas coordenadas UTM son 741323.00 E, 9200887 N zona 17 de acuerdo al DATUM WGS 84.



Figura N° 10: Ubicación de la Cantera Aguilar

Fuente: Google Maps

3.1.3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ORIGEN DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO

El agregado grueso reciclado fue obtenido a partir de la trituración de concreto reciclado del corte del pavimento rígido de la calle Jr Cinco Esquinas Cdra 10, de la ciudad de Cajamarca



Figura N° 11: Ubicación de la calle para la obtención de Concreto Reciclado

Fuente: Google Maps

3.2. TIEMPO DE REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló dentro del periodo comprendido entre Mayo y Octubre del 2019.

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. TIPO, NIVEL DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

- **Tipo:** Aplicada.
- **Nivel:** Descriptivo.
- **Diseño:** Experimental.
- **Método:** Cuantitativo.

3.3.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de estudio fue un total de 150 especímenes de concreto.

3.3.3. MUESTRA

Tabla N° 2: Detalle de Muestras

ESPECÍMENES	CANTIDAD POR EDAD		
	7 días	14 días	28 días
Concreto patrón	10	10	10
Concreto con 25 % de agregado grueso reciclado	10	10	10
Concreto con 50% de agregado grueso reciclado	10	10	10
Concreto con 75% de agregado grueso reciclado	10	10	10
Concreto con 100% de agregado grueso reciclado	10	10	10

3.3.4. UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis se considera a los especímenes de concreto

3.4. PROCEDIMIENTO

Se presenta el esquema de trabajo del procedimiento realizado en la presente investigación:

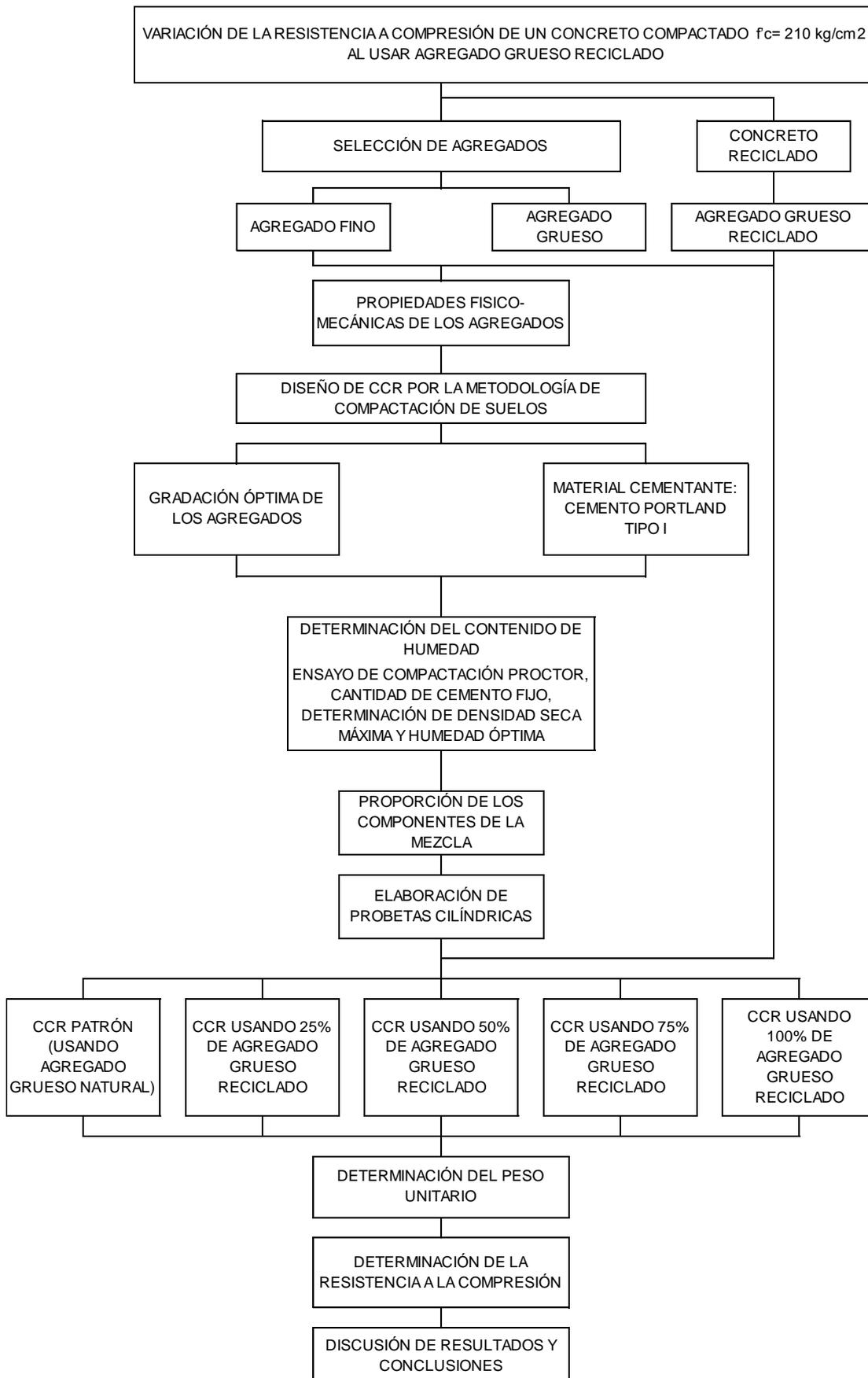


Figura N° 12: Diagrama del procedimiento usado en la investigación.

3.4.1. SELECCIÓN DE AGREGADOS

Los agregados naturales utilizados en la presente investigación fueron obtenidos de la Cantera "Aguilar", cuya ubicación fue descrita en el punto 3.1.2.

3.4.1.1. Agregado Fino

Según las Normas NTP 400.037-2014 y ASTM C33, el agregado fino es el que proviene de la desintegración natural o artificial, se conoce como agregado fino, a aquel que pasa el tamiz 9,51 mm (3/8") y queda retenido en el tamiz 75µm (N°200).

3.4.1.2. Agregado Grueso

Las Normas NTP 400.037-2014 y ASTM C33, definen al agregado grueso como el conjunto de partículas de origen natural o artificial, que es retenido en el tamiz 4,76 mm (N°4).

3.4.2. CONCRETO RECICLADO

El origen de los escombros de concreto para ser reciclado fue descrito anteriormente en el punto 3.1.3. Así mismo estos escombros tenían dimensiones aproximadamente entre 20 a 50 cm. Luego para la obtención del agregado grueso reciclado se realizó el proceso de trituración.

La resistencia promedio del concreto reciclado es de 193.50 kg/cm², para obtener este valor se siguió el procedimiento del ensayo a Compresión Uniaxial de núcleos o corazones diamantinos de concreto endurecido descrito en las normas ASTM C 42 M y NTP 339.059-2017. Los resultados de este ensayo se muestran en el ANEXO N° 06.

3.4.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

Las propiedades físicas y mecánicas del agregado fino, agregado grueso y agregado grueso reciclado se realizaron en concordancia a los procedimientos descritos en las normas NTP y ASTM. Los resultados de estos ensayos se muestran en el ANEXO N° 01.

A continuación, se describe cada uno de ellos:

3.4.3.1. Análisis Granulométrico

Los procedimientos para este análisis fueron realizados tomando en cuenta la norma ASTM C 136 y la NTP 400.012-2013, obteniendo:

- **Módulo de Finura de los Agregados:** Es la suma de los porcentajes retenidos acumulados en el ensayo de granulométrico de los agregados, de las mallas 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100; divididos entre 100.

3.4.3.2. Tamaño Máximo (T.M.) y Tamaño Máximo Nominal (T.M.N.)

Según la NTP 400.037-2014, el Tamaño Máximo es el último tamiz donde no se retiene ningún material, es decir, pasa el 100 % del agregado tamizado en el análisis granulométrico y el Tamaño Máximo Nominal corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido ente 5% y 10 %.

3.4.3.3. Material pasante de la malla N° 200:

El procedimiento está reglamentado en las normas NTP 400.018-2013 y la ASTM C 117. Se deberá calcular en contenido de partículas finas que pasa la malla N°200.

Así mismo la NTP 400.037-2014 considera que el porcentaje del agregado grueso y del agregado fino no debe ser más del 1 % y 5 % respectivamente.

$$A = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \times 100 \quad (01)$$

Donde:

P₁: Peso seco de la muestra original (g)

P₂: Peso seco de la muestra lavada (g)

3.4.3.4. Peso Específico y Absorción:

Los procedimientos para este ensayo se realizaron según las normas NTP 400.022-2013 y la ASTM C 128, para el agregado fino. En el caso del agregado grueso se cumplió las normas NTP 400.021-2013 y la ASTM C 127, donde mencionan:

- **Peso Específico de Masa (Pe):** Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables, naturales del material) a la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.
- **Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (Pe_{sss}):** Es lo mismo que peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables.

- **Peso Específico Aparente (Pe_a):** Es la relación a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas. Si el material es un sólido, el volumen es aquel de la porción impermeable.
- **Absorción:** La capacidad de absorción del agregado se determina por el incremento de peso de una muestra secada al horno, luego de 24 horas de inmersión en agua y de secado superficial.

Se emplearon las fórmulas:

- **Para el Agregado Fino:**

$$\text{Peso Específico de Masa:} \quad Pe = \frac{w}{V - Va} \quad (02)$$

$$\text{Peso Específico de Masa Saturada con Superficie Seca:} \quad P_{esss} = \frac{500}{V - Va} \quad (03)$$

$$\text{Peso Específico Aparente:} \quad Pea = \frac{w}{(V - Va) - (500 - w)} \quad (04)$$

$$\text{Absorción:} \quad Ab (\%) = \frac{500 - w}{w} \quad (05)$$

Donde:

w: Peso en el aire de la muestra secada al horno (g)

V: Volumen de la fiola (cm³)

Va :Volumen del agua añadida a la fiola (cm³)

- **Para el Agregado Grueso:**

$$\text{Peso Específico de Masa:} \quad Pe = \frac{A}{(B - C)} \times 100 \quad (06)$$

$$\text{Peso Específico de Masa Saturada con Superficie Seca:} \quad P_{esss} = \frac{B}{(B - C)} \times 100 \quad (07)$$

$$\text{Peso Específico Aparente:} \quad Pea = \frac{A}{(A - C)} \times 100 \quad (08)$$

$$\text{Absorción:} \quad Ab (\%) = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (09)$$

Donde:

A: Peso en el aire de la muestra secada al horno (g)

B: Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g)

C: Peso en el agua de la muestra saturada (g)

3.4.3.5. Peso Unitario:

Siguiendo los procedimientos de las normas NTP 400.017-2011 y la ASTM C 29, para determinar el peso unitario suelto y compactado, donde:

- **Peso Unitario Seco Suelto:** Es la relación entre el peso del material en estado suelto y el volumen del recipiente que lo contiene, echando el material de forma concéntrica dentro del molde de manera que esté lo más suelto posible.
- **Peso Unitario Seco Compactado:** Es la relación entre el peso del material en estado compacto y el volumen del recipiente que lo contiene, disponiendo el material a 1/3 de la altura del molde, compactando con una varilla normada 25 veces.

Se emplearon las fórmulas:

- Peso Específico del Agua:
$$Pe = \frac{A - B}{C} \quad (10)$$

- Factor del Recipiente:
$$f = \frac{Pe}{W - M} \quad (11)$$

- Peso Unitario:
$$PU = (G - M) \times f \quad (12)$$

Donde:

A: Peso de la fiola con agua (g)

B: Peso de la fiola vacía (g)

C: Volumen de la fiola (cm³)

Pe: Peso específico del agua (kg/m³)

W: Peso del recipiente lleno de agua (g)

M: Peso del recipiente vacío (g)

f: Factor del recipiente (1/m³)

G: Peso del recipiente con agregado (g)

3.4.3.6. Contenido de Humedad:

De acuerdo a la NTP 339.185-2013 y la norma ASTM C 566, es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla.

$$w(\%) = \frac{M - S}{S} \times 100 \quad (13)$$

Donde:

w: Contenido de humedad (%)

M: Masa de la muestra húmeda (g)

S: Masa de la muestra seca (g)

3.4.3.7. Resistencia al desgaste o abrasión de agregados

Realizado de acuerdo a las normas NTP 400.019-2014 y la ASTM C131, Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles

$$\%desgaste = \frac{P_0 - P_f}{P_0} \times 100 \quad (14)$$

Donde:

P₀: Peso Inicial de la muestra seca al horno (g)

P_f: Peso retenido en la malla N° 12 lavado y secado al horno (g)

3.4.4. DISEÑO DE CCR POR LA METODOLOGÍA DE COMPACTACIÓN DE SUELOS

Para el diseño de mezclas de la presente investigación, se utilizó la Metodología de Compactación de Suelos siguiendo los lineamientos descritos en las normas ACI 325.10R y ACI 211.3R. Los resultados para cada ensayo son mostrados en el ANEXO N° 02.

3.4.4.1. Gradación Óptima de Los Agregados

La combinación de agregados fue verificada según los límites de gradación para CCR propuesto por el ACI 325.10R. (Ver Tabla N°38 y Figura N°25)

El volumen de agregado fino y grueso por unidad de volumen de concreto se determina después que el contenido óptimo de agua de la mezcla agregados-material cementante es determinado.

3.4.4.2. Selección Del Material Cementante

El cemento Portland tipo I fue elegido para la presente investigación, ya que es de uso general y no cuenta con restricciones o requisitos de propiedades especiales, este cumple con la norma NTP 334.009. Las características de este cemento se muestran en el ANEXO N° 07.

En el enfoque de esta metodología, el cemento es generalmente expresado como un porcentaje del peso seco de los agregados. En esta investigación, debido a pruebas preliminares el porcentaje utilizado de cemento fue de 10%, este porcentaje es respecto al peso seco de los agregados.

3.4.4.3. Determinación del Contenido de Humedad

Usando el agregado combinado y el porcentaje seleccionado del material cementoso, se determina el contenido óptimo de humedad por la relación humedad-densidad a través del ensayo de Proctor Modificado descrito en la norma ASTM D1557. El método de ensayo, es el método C, dispuesto en 5 capas a 56 golpes cada una para asegurar una energía de compactación modificada de 56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 KN-m/m³).

El ensayo consistió en preparar 5 muestras con igual cantidad de agregados y cemento (10% del peso seco de los agregados), variando el contenido de agua; donde cada muestra sucesiva debe contener un mayor contenido de humedad que las anteriores. Luego se traza la curva densidad seca versus su respectivo contenido de humedad, el pico de esta curva establece el contenido de humedad óptima.

Se obtuvo una Densidad Seca Máxima de 2.264 gr/cm³ y un Contenido de Humedad Óptimo de 6.10 % (Ver Figura N°26).

3.4.4.4. Determinación de la Proporción de los Componentes de la Mezcla

Para la dosificación de las mezclas usaremos las ecuaciones descritas en Escalaya (2006):

$$P = P_w + P_s + P_c \quad (15)$$

Donde:

P : Peso total de la mezcla (en el molde de volumen V) después de la compactación.

P_w : Peso del agua

P_s : Peso seco de los agregados

P_c : Peso del material cementante

El óptimo contenido de humedad, basado en el total de masa de los sólidos, está dado por:

$$w = \frac{P_w}{P_s + P_c} \quad (16)$$

Por otro lado, el peso del material cementante (P_c) está establecido para la dosificación como un porcentaje de la masa seca del agregado:

$$P_c = \frac{n}{100} P_s \quad (17)$$

Resolviendo las ecuaciones mencionadas se obtiene la proporción de cada componente existente en el volumen V del molde de Proctor (dosificación en peso) el cual debe ser convertido para un volumen de 1 m^3 .

Para convertir a volúmenes absolutos, se sigue el procedimiento descrito en la norma ACI 211.3R, haciendo uso de los pesos específicos de masa de los materiales; se divide el peso entre el peso específico de masa, obteniendo la cantidad en m^3 de cada material.

Se asume el contenido de aire atrapado en el concreto para 1 m^3 , esta investigación ha considerado 2.5% debido al tamaño máximo nominal de 1/2" del agregado grueso.

$$V_{total \text{ sin aire } (1\text{m}^3)} = 1 - 0.025 = 0.975\text{m}^3$$

Para 1 m^3 de concreto, tenemos que multiplicar el volumen de cada material por un factor F .

$$F = \frac{V_{total \text{ sin aire } (1\text{m}^3)}}{\sum V_{cada \text{ material}}} \quad (18)$$

$$F = \frac{0.975}{\sum V_{cada \text{ material}}} \quad (19)$$

Se obtiene los materiales tanto en volumen como en peso para 1m^3 de concreto compactado. Estos materiales se encuentran en condición seca, la cual es una condición teórica; por lo que deben ser corregidos por humedad. Ver ANEXO N° 03.

3.4.5. ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS

Debido que el CCR es muy rígido y seco, la varilla de cilindros de concreto proporciona consolidación insuficiente; por lo tanto, los cilindros de CCR se preparan usando el martillo y energía de compactación del Proctor Modificado (ASTM D 1557).

Los cilindros usados son del mismo tamaño que los cilindros convencionales de concreto: 6" de diámetro por 12" de altura.

3.4.6. DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO

Una vez elaboradas las probetas, se obtuvo el peso unitario de las probetas de cada tipo de diseño, basado en el volumen y el peso de los moldes metálicos empleados.

3.4.7. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión de las probetas elaboradas fue obtenida de acuerdo con la normas NTP 339.034-2015 y ASTM C 39.

3.5. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.5.1. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Los resultados del tratamiento y análisis de los datos de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados se presentan en tablas considerando el promedio de tres ensayos para cada una de las mismas.

El tratamiento y análisis de los datos obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión de los 5 diseños, se realizaron a través de tablas y gráficos en los cuales se hizo una evaluación o análisis comparativo de cada tipo de probeta elaborada en la presente investigación, considerando el promedio de la resistencia a la compresión de los especímenes por cada grupo; de acuerdo a los objetivos y para la comprobación de la hipótesis.

3.5.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.5.2.1. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados naturales

La Tabla N° 3 muestra las propiedades físicas del agregado fino y grueso de la cantera Aguilar – Río Jequetepeque. Los resultados para cada ensayo se muestran en el ANEXO N° 01.

Tabla N° 3: Propiedades físicas y mecánicas de los agregados naturales

DESCRIPCION	UNIDAD	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		-	1/2"
Módulo de Finura		2.954	6.752
Peso Específico de Masa	g/cm3	2.627	2.619
Peso Específico SSS	g/cm3	2.659	2.648
Peso Específico Aparente	g/cm3	2.713	2.697
Absorción	(%)	1.21	1.11
Peso Unitario Suelto Seco	Kg/m3	1642	1427
Peso Unitario Compactado Seco	Kg/m3	1794	1560
Contenido de Humedad	(%)	2.50	0.31
Partículas < Tamiz N° 200	(%)	3.30	0.43
Abrasión	(%)	-	28.17

3.5.2.2. Propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso reciclado

La Tabla N° 4 muestra las propiedades físicas del agregado grueso reciclado obtenido de la trituración de concreto reciclado. Los resultados para cada ensayo se muestran en el ANEXO N° 01.

Tabla N° 4: Propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso reciclado

DESCRIPCION	UNIDAD	AG. GRUESO REICLADO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		1/2"
Módulo de Finura		6.729
Peso Específico de Masa	g/cm3	2.264
Peso Específico SSS	g/cm3	2.368
Peso Específico Aparente	g/cm3	2.528
Absorción	(%)	5.50
Peso Unitario Suelto Seco	Kg/m3	1264
Peso Unitario Compactado Seco	Kg/m3	1375
Contenido de Humedad	(%)	0.52
Partículas < Tamiz N° 200	(%)	0.64
Abrasión	(%)	33.11

3.5.2.3. Diseños de Mezcla

La Tabla N°5 muestra la dosificación del concreto patrón elaborado con agregados naturales.

La Tabla N° 6 muestra la dosificación al reemplazar el agregado grueso en porcentajes de 25, 50, 75 y 100 con agregado grueso reciclado, el procedimiento es mostrado en el ANEXO N° 03.

Tabla N° 5: Dosificación de materiales del Concreto Patrón

CANTIDAD PARA 1 m³- PATRON	
CEMENTO	202.84 Kg
AGUA EFECTIVA	129.14 Lt
AGREGADO FINO HUMEDO	1144.00 Kg
AGREGADO GRUESO HUMEDO	916.00 Kg

Tabla N° 6: Dosificación de materiales para cada tipo de diseño

DISEÑO	CANTIDAD PARA 1 m³				
	CEMENTO (Kg)	AGUA (lt)	AG FINO (Kg)	AG GRUESO (Kg)	AG GRUESO RECICLADO (Kg)
Concreto con 25 % de Agregado grueso reciclado	202.84	137.1	1143.7	686.86	198.34
Concreto con 50% de Agregado grueso reciclado	202.84	145.2	1143.7	457.91	396.68
Concreto con 75% de Agregado grueso reciclado	202.84	153.2	1143.7	228.95	595.02
Concreto con 100% de Agregado grueso reciclado	202.84	161.2	1143.7	0.00	793.4

3.5.2.4. Resultados del Peso Unitario del concreto fresco

La Tabla N° 7 y la Figura N° 13 muestran el Peso Unitario promedio de 50 probetas según el tipo de diseño.

Los resultados obtenidos son mostrados en el ANEXO N° 04.

Tabla N° 7: Peso unitario promedio del concreto fresco según el tipo de diseño

DISEÑO	P.U. (kg/m³)
Concreto Patrón	2428.10
Concreto con 25 % de Agregado grueso reciclado	2382.38
Concreto con 50% de Agregado grueso reciclado	2371.66
Concreto con 75% de Agregado grueso reciclado	2364.80
Concreto con 100% de Agregado grueso reciclado	2356.06

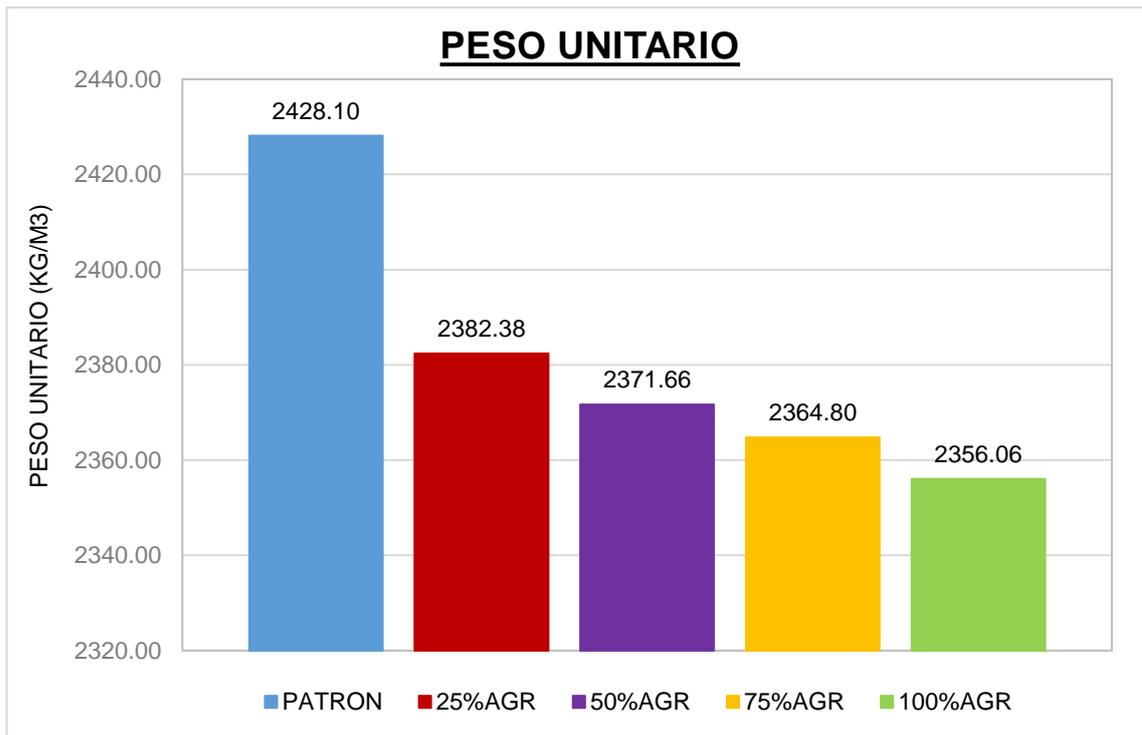


Figura N° 13: Peso unitario promedio del concreto fresco según el tipo de diseño

3.5.2.5. Resultados de los ensayos de Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión promedio de las probetas elaboradas son mostradas en la Tabla N° 8 y en las Figuras N° 14 y N° 15. En total se ensayaron 150 probetas, a las edades de 7, 14 y 28 días.

En el ANEXO N° 05 se muestran los resultados obtenidos para cada probeta.

Tabla N° 8: Resistencia a la compresión promedio según el tipo de diseño, a diferentes edades y con el porcentaje obtenido

DISEÑO	7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
	Resistencia Promedio obtenida (kg/cm ²)	Porcentaje obtenido (%)	Resistencia Promedio obtenida (kg/cm ²)	Porcentaje obtenido (%)	Resistencia Promedio obtenida (kg/cm ²)	Porcentaje obtenido (%)
Concreto Patrón	156.72	74.63	196.45	93.55	217.11	103.38
Concreto con 25% de Ag. grueso reciclado	168.68	80.33	201.59	96.00	230.22	109.63
Concreto con 50% de Ag. grueso reciclado	160.51	76.43	198.17	94.37	220.29	104.90
Concreto con 75% de Ag. grueso reciclado	152.72	72.72	181.40	86.38	200.52	95.49
Concreto con 100% de Ag. grueso reciclado	146.81	69.91	178.92	85.20	193.27	92.03

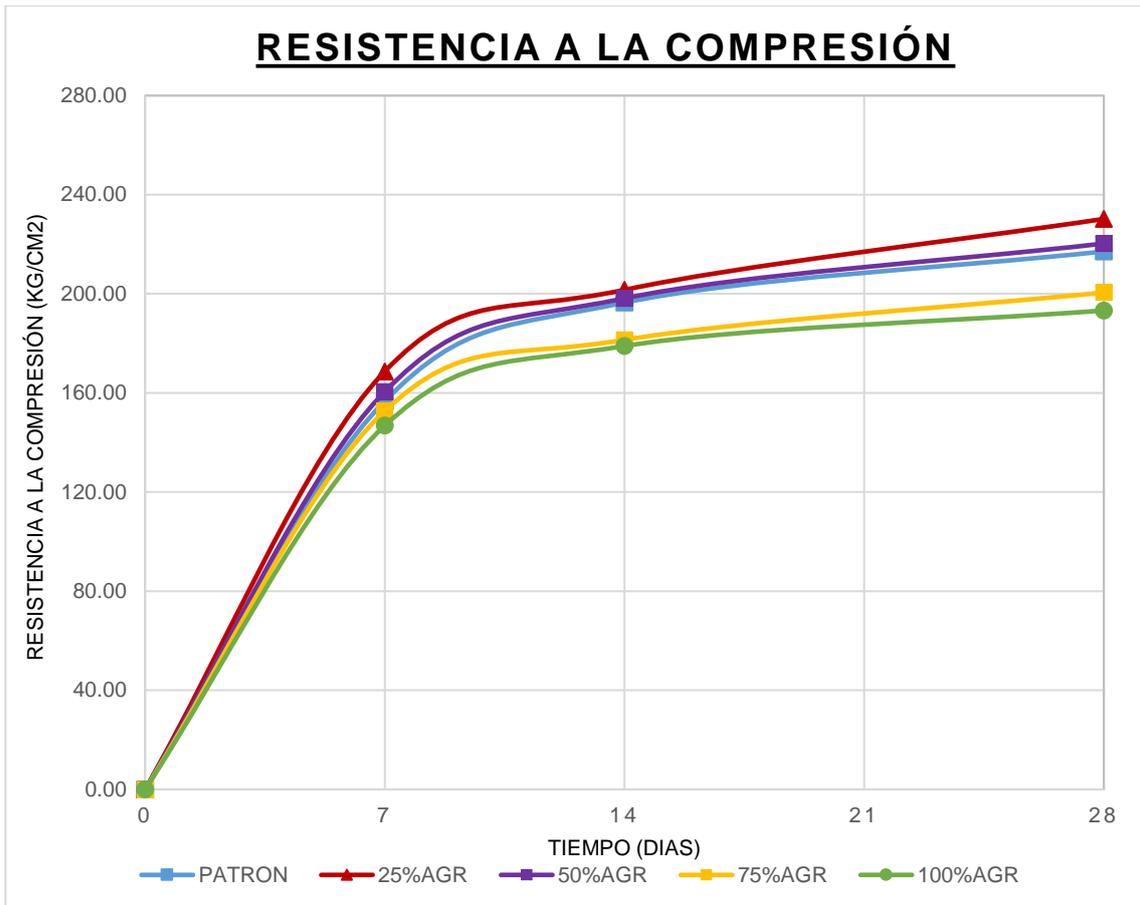


Figura N° 14: Variación de la resistencia a la compresión de cada tipo de diseño a diferentes edades de curado

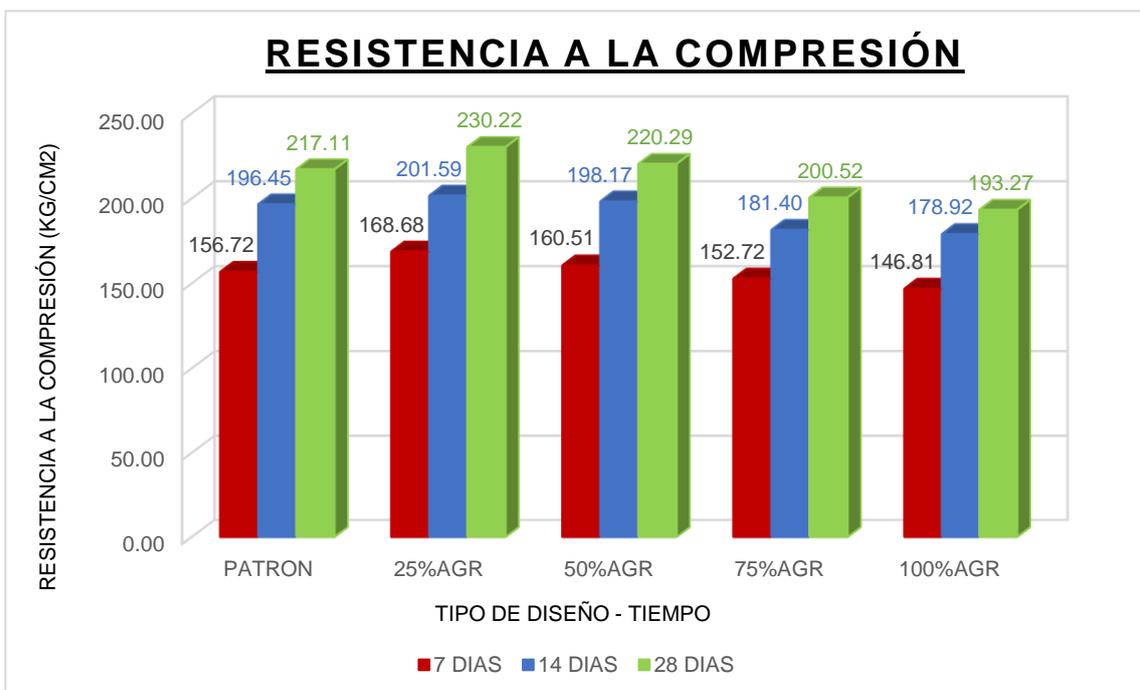


Figura N° 15: Resistencia a la compresión promedio de cada tipo de diseño a diferentes edades de curado

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

La Tabla N° 3, muestra las propiedades físicas y mecánicas del Agregado Fino y Agregado Grueso, donde los valores obtenidos cumplen con los parámetros establecidos en las Normas Técnicas Peruanas.

El Agregado Fino, el módulo de finura es de 2.954, encontrándose dentro de los límites establecidos (2.3 – 3.1); posee una gradación que cumple con el Huso granulométrico M; el porcentaje de finos que pasa la malla N° 200, es de 3.30%, menor al valor máximo admisible de 5%.

Además el Agregado Grueso; posee una gradación dentro de los límites establecidos en el Huso granulométrico 67; el porcentaje de material fino que pasa la malla N° 200 es 0.43% menor al valor máximo admisible de 1%; y el porcentaje de abrasión es de 28.17%, menor al valor máximo de 50%.

Así mismo la Tabla N° 4, muestra las propiedades físicas y mecánicas del Agregado Grueso Reciclado, los resultados cumplen con los parámetros establecidos en las Normas Técnicas Peruanas, posee una gradación dentro de los límites establecidos en el Huso granulométrico 67; el porcentaje de material fino que pasa la malla N° 200 es 0.64% menor al valor máximo admisible de 1%; y referido al porcentaje de abrasión es de 33.11%, menor al valor máximo de 50%.

4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO

La Tabla N° 7 muestra los resultados del Peso Unitario del Concreto Fresco según el tipo de diseño, donde se obtuvo para la mezcla patrón elaborado con agregados naturales, un valor promedio de 2428.10 kg/m³; las mezclas con el porcentaje de 25, 50, 75 y 100% de agregado grueso reciclado, tuvieron valores promedios de 2382.38 kg/m³, 2371.66 kg/m³, 2364.80 kg/m³, 2356.06 kg/m³ respectivamente.

Se puede observar que el concreto patrón tiene un valor superior a 2400 Kg/m³, y conforme se aumenta el porcentaje de agregado grueso reciclado, disminuye el valor del peso unitario.

4.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La Tabla N° 8, muestra los valores promedio de la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto para cada diseño a diferentes edades, con su respectivo porcentaje de resistencia obtenido referida a la resistencia de diseño $f'c=210$ kg/cm². Se observa que, a la edad de 7 días, todos los tipos de diseños se aproximan al 70% de la resistencia especificada; el concreto elaborado con una sustitución de 25% de agregado grueso reciclado alcanzó una resistencia superior al 80%. A los 14 días se observa que los valores para los diseños patrón y las mezclas con el porcentaje de 25 y 50% de agregado grueso reciclado superan el 90% de la resistencia de diseño. A los 28 días, estos mismos diseños superan el 100% de la resistencia de diseño. El concreto patrón elaborado con agregados naturales alcanzó una resistencia de 217.11 kg/cm²; el concreto elaborado con una sustitución de 25% de agregado grueso reciclado alcanzó una resistencia de 230.22 kg/cm², mayor en 6.04% respecto al concreto patrón; el concreto elaborado con una sustitución de 50% de agregado grueso reciclado alcanzó una resistencia de 220.29 kg/cm², mayor en 1.47% respecto al concreto patrón.

Las Figuras N° 14 y N° 15, muestra el comportamiento de la resistencia del concreto, a diferentes edades y de los diferentes tipos de diseño; donde se observa que el concreto con una sustitución de 25% tiene los valores más altos, el concreto patrón y el concreto con una sustitución de 50% de agregado grueso reciclado tienen valores cercanos; por el contrario el concreto con una sustitución de 75% y 100% de agregado grueso reciclado tienen los valores más bajos.

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON LA HIPÓTESIS

Se contrasta la hipótesis parcialmente; ya que los resultados muestran que la resistencia a los 28 días de un concreto elaborado con una sustitución del 75% de agregado grueso reciclado, disminuye en 7.64% respecto a la resistencia a la compresión del concreto patrón elaborado con agregados naturales; pero el concreto elaborado con una sustitución del 100% de agregado grueso reciclado, disminuye en 10.98% respecto a la resistencia a la compresión del concreto patrón.

Por otro lado, los concretos elaborados con una sustitución del 25 y 50% de agregado grueso reciclado, aumentan en 1.47% y 6.04% respecto a la resistencia a la compresión del concreto patrón respectivamente.

4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON ANTECEDENTES TEÓRICOS

De los resultados obtenidos se llega a coincidir con Navarro (2014), ya que se puede usar un porcentaje superior al 20% de agregado reciclado pues registra valores superiores de resistencia a la compresión respecto al concreto elaborado con agregados naturales.

También se afirma lo mencionado por Parillo & Camargo (2015), que el agregado reciclado absorbe más agua que el natural, la absorción del agregado grueso reciclado es de 5.50% en cambio del agregado grueso natural de 1.11%.

Sin embargo, se mantiene una discrepancia con la investigación de Agreda & Moncada (2015), debido a que la resistencia a la compresión del diseño con sustitución del 70% de agregado grueso reciclado alcanzó un rango superior de 8% respecto al elaborado con agregados naturales, por lo que al ser comparados con los resultados obtenidos de esta investigación; se tiene por el contrario, que el porcentaje de disminución de la resistencia a la compresión de un concreto elaborado con agregados reciclados es máximo 11%.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Finalizado la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- A los 28 días, la resistencia a la compresión de los concretos compactados elaborados con una sustitución de 25% y 50% de agregado grueso reciclado, tienen una resistencia de 230.22 kg/cm² y 220.29 kg/cm² respectivamente; aumentando en 6.04% y 1.47% la resistencia a la compresión de un concreto compactado elaborado con agregados naturales que alcanza un valor promedio de 217.11 kg/cm².
- A los 28 días, la resistencia a la compresión de los concretos compactados elaborados con una sustitución de 75% y 100% de agregado grueso reciclado, tienen una resistencia de 200.52 kg/cm² y 193.27 kg/cm² respectivamente; disminuyendo en 7.64% y 10.98% la resistencia a la compresión de un concreto compactado elaborado con agregados naturales que alcanza un valor promedio de 217.11 kg/cm².
- En el ensayo de Peso Unitario del Concreto Fresco, el concreto compactado elaborado con agregados naturales tuvo un valor de 2428.10 kg/m³, mientras los concretos compactados elaborados con una sustitución de 25%, 50%, 75% y 100% de agregado grueso reciclado tuvieron valores de 2382.38 kg/m³, 2371.66 kg/m³, 2364.80 kg/m³, 2356.06 kg/m³; se concluye que a mayor porcentaje de agregado grueso reciclado, disminuye el valor del peso unitario hasta 72.04. kg/m³.
- Las propiedades físicas y mecánicas obtenidas de los agregados naturales y el agregado grueso reciclado cumplen con los parámetros establecidos en las Normas Técnicas Peruanas; sin embargo, el agregado grueso reciclado tiene valores más altos del porcentaje de absorción, porcentaje de finos que pasa la malla N° 200 y abrasión, comparados con un agregado grueso natural. Por otro lado el peso específico del agregado grueso reciclado es menor a la de un agregado natural debido a la capa de mortero adherido.
- Finalmente, de los resultados obtenidos en el laboratorio se concluye que es posible sustituir el agregado grueso reciclado en un porcentaje de hasta 50% del total del agregado grueso natural para un concreto compactado sin perjudicar su resistencia a la compresión.

5.2. RECOMENDACIONES

1. Para futuros trabajos de investigación, se recomienda realizar investigaciones sobre el comportamiento de un concreto compactado con agregados reciclados usando otros tipos de cementos con adiciones de puzolanas o cenizas volantes.
2. Así mismo se recomienda realizar investigaciones sobre el comportamiento del concreto compactado con agregados reciclados más el uso de aditivos reductores de agua y retardadores de fragua.
3. Evaluar el ensayo de durabilidad a los ciclos de congelamiento – deshielo del concreto compactado con la sustitución de agregados reciclados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agreda G. & Moncada G. (2015) Viabilidad En La Elaboración De Prefabricados En Concreto Usando Agregados Gruesos Reciclados, Universidad Católica De Colombia, Colombia
2. Alvarado, J. (2014) Estudio Descriptivo de la Tecnología del Concreto Compactado con Rodillo y su Aplicabilidad en Pavimentos. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
3. Bonilla L. & García, A. (2009). Pavimentos en Concreto Compactado con Rodillo en Minas a Cielo Abierto. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander, Colombia.
4. Cabello, J. (2016) Estudio preliminar para el uso de áridos reciclados en la normativa cubana. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.
5. Consejo Mundial Empresarial Para El Desarrollo Sostenible-WBCSD (2009), Reciclando Concreto, Washington.65p
6. Escalaya M. (2006) Diseño de Mezclas de Concreto Compactado Con Rodillo Utilizando Conceptos de Compactación de Suelos. Universidad Nacional De Ingeniería, Lima, Perú.
7. Huamani W. (2016) Análisis Y Diseño De Pavimentos De CCR (Concreto Compactado Con Rodillo): Propuesta de Aplicación a La Avenida Las Torres Del Distrito De Yura, Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Perú.
8. Meléndez A. (2016) Utilización Del Concreto Reciclado Como Agregado (Grueso Y Fino) Para Un Diseño De Mezcla $F'_{C} = 210 \text{ Kg/Cm}^2$ En La Ciudad De Huaraz, Universidad San Pedro Huaraz, Perú.
9. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento-MVCS(2014).”Plan De Incentivos a la Mejora de la Gestión y Modernización Municipal” ,Oficina del Medio Ambiente, Perú.
10. Navarro A. (2014) Uso y Fomento Del Árido Reciclado En Hormigón Estructural Como Oportunidad De Mejora Medioambiental y Económica. Aplicación A La Comunidad Autónoma De La Rioja, Universidad de la Rioja, España.
11. Parillo E. & Camargo C. (2015) Reutilización De Residuos Sólidos En La Producción De Pavimentos Rígidos De Bajo Costo En El Distrito de Juliaca, Puno. Revista científica “Investigación Andina”, Perú. p 46-57.
12. Portland Cement Association – PCA (2006) Roller Compacted Concrete Resource Guide For Indiana, USA.

13. Rocha M. (2005). Estado del Arte de los Pavimentos de Compactado con Rodillo. ASOCEM Asociación de Productores de Cemento.
14. Rodríguez J. (2013) Diseño y evaluación de hormigones hidráulicos con áridos reciclados por el método de la ACI, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.
15. Solano, J. Desarrollo del concreto compactado con rodillo (CCR) en la construcción de pavimentos de concreto en Costa Rica. ICCYC Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto, Costa Rica
16. Tafur Y. (2015). Estudio del comportamiento físico – mecánico del concreto diseñado y elaborado con agregado grueso reciclado en la ciudad de Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
17. US Army Corps of Engineers (2006). Roller Compacted Concrete. Engineer manual, EM 1110-2-2006, Washington, USA.
18. Villeda J. (2014). Diseño de investigación para concreto compactado con rodillo (CCR), proceso constructivo y norma de regulación, como alternativa de pavimentación para carreteras en Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

NORMAS

1. ACI Committee 207 (2011). Report on Roller Compacted Mass Concrete, ACI 207.5R, American Concrete Institute.
2. ACI Committee 211 (2009). Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete, ACI 211.3R, American Concrete Institute.
3. ACI Committee 116 (2000). Cement and Concrete Terminology, ACI 116R, American Concrete Institute.
4. ACI Committee 325 (1995). Report on Roller-Compacted Concrete Pavements, ACI 325.10R, American Concrete Institute
5. NTP 334.009-2013: CEMENTOS. Cemento Portland. Requisitos. INDECOPI
6. NTP 339.183-2013: CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. INDECOPI.
7. NTP 339.034-2015: CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. INDECOPI.
8. NTP 339.046-2008: CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto). INDECOPI.

9. NTP 339.059-2017: CONCRETO. Método para la obtención y ensayo de corazones diamantinos y vigas seccionadas de concreto
10. NTP 339.088-2014: CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos. INDECOPI. INDECOPI.
11. NTP 339.185-2013: AGREGADOS, método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. INDECOPI.
12. NTP 400.010-2011: AGREGADOS, Extracción y preparación de muestras. INDECOPI.
13. NTP 400.011-2013. AGREGADOS, Definición y Clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones. INDECOPI.
14. NTP 400.012-2013: AGREGADOS, Análisis granulométrico del agregado fino, agregado grueso y agregado global. INDECOPI.
15. NTP 400.017-2011: AGREGADOS, método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en el agregado. INDECOPI.
16. NTP 400.018-2013: AGREGADOS, método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (N° 200) por lavado en agregados. INDECOPI.
17. NTP 400.019-2014: AGREGADOS, método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. INDECOPI.
18. NTP 400.021-2013: AGREGADOS, método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. INDECOPI.
19. NTP 400.022-2013: AGREGADOS, métodos de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. INDECOPI.
20. NTP 400.037-2014: AGREGADOS, Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. INDECOPI.
21. NTP 400.053-2014: MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCION. Reciclaje de concreto de demolición. INDECOPI.

ANEXOS

ANEXO N° 01 : PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

A. AGREGADO FINO

1. Análisis granulométrico

Tabla N° 9: Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino - Ensayo N°01
ASTM C136 / NTP 400.012

Peso Seco Inicial =			1500.00 g		
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	82.00	5.47	5.47	94.53
N°8	3.36	196.00	13.07	18.53	81.47
N 16	1.18	277.00	18.47	37.00	63.00
N 30	0.60	314.00	20.93	57.93	42.07
N 50	0.30	363.00	24.20	82.13	17.87
N 100	0.15	178.00	11.87	94.00	6.00
N 200	0.075	75.00	5.00	99.00	1.00
Cazoleta	--	15	1.00	100.00	0.00
TOTAL		1500.00			
MÓDULO DE FINURA =			2.951		

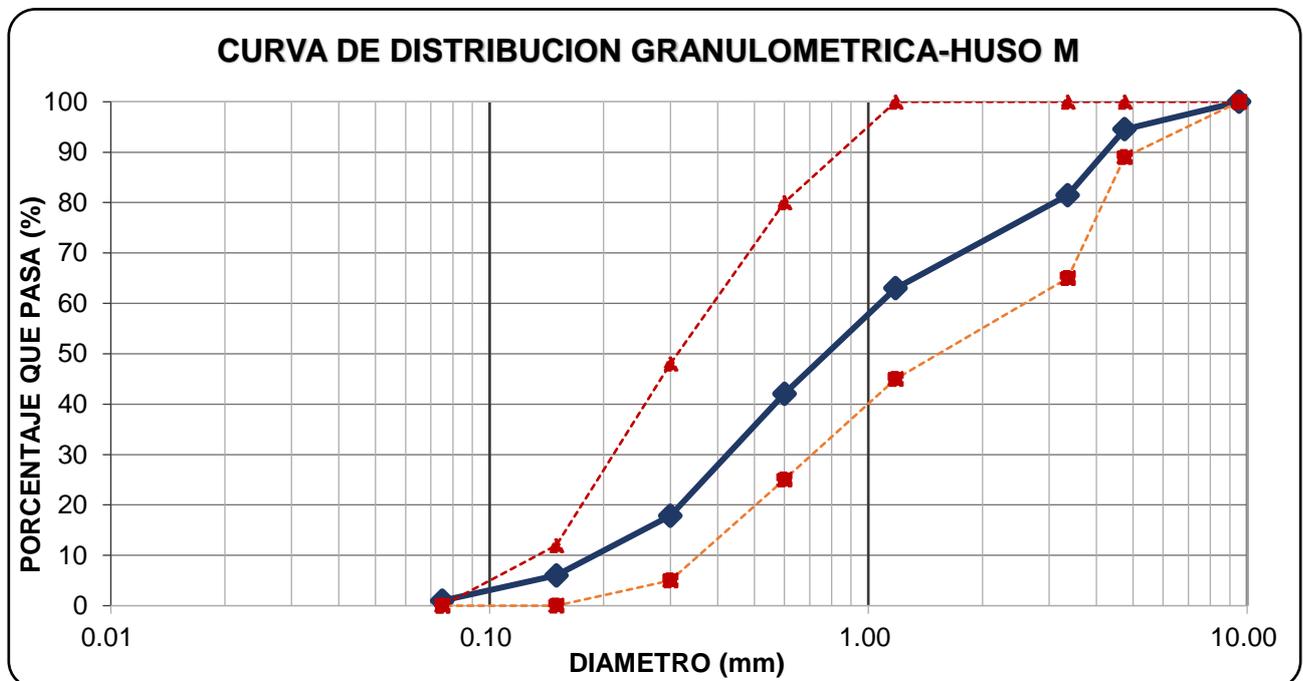


Figura N° 16: Curva de Distribución Granulométrica del agregado fino - Ensayo N°01

Tabla N° 10: Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino - Ensayo N°02

ASTM C136 / NTP 400.012

Peso Seco Inicial =			1500.00 g		
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	92.00	6.13	6.13	93.87
N°8	3.36	195.00	13.00	19.13	80.87
N 16	1.18	268.00	17.87	37.00	63.00
N 30	0.60	323.00	21.53	58.53	41.47
N 50	0.30	333.00	22.20	80.73	19.27
N 100	0.15	194.00	12.93	93.67	6.33
N 200	0.075	78.00	5.20	98.87	1.13
Cazoleta	--	17	1.13	100.00	0.00
TOTAL		1500.00			
MÓDULO DE FINURA =			2.952		

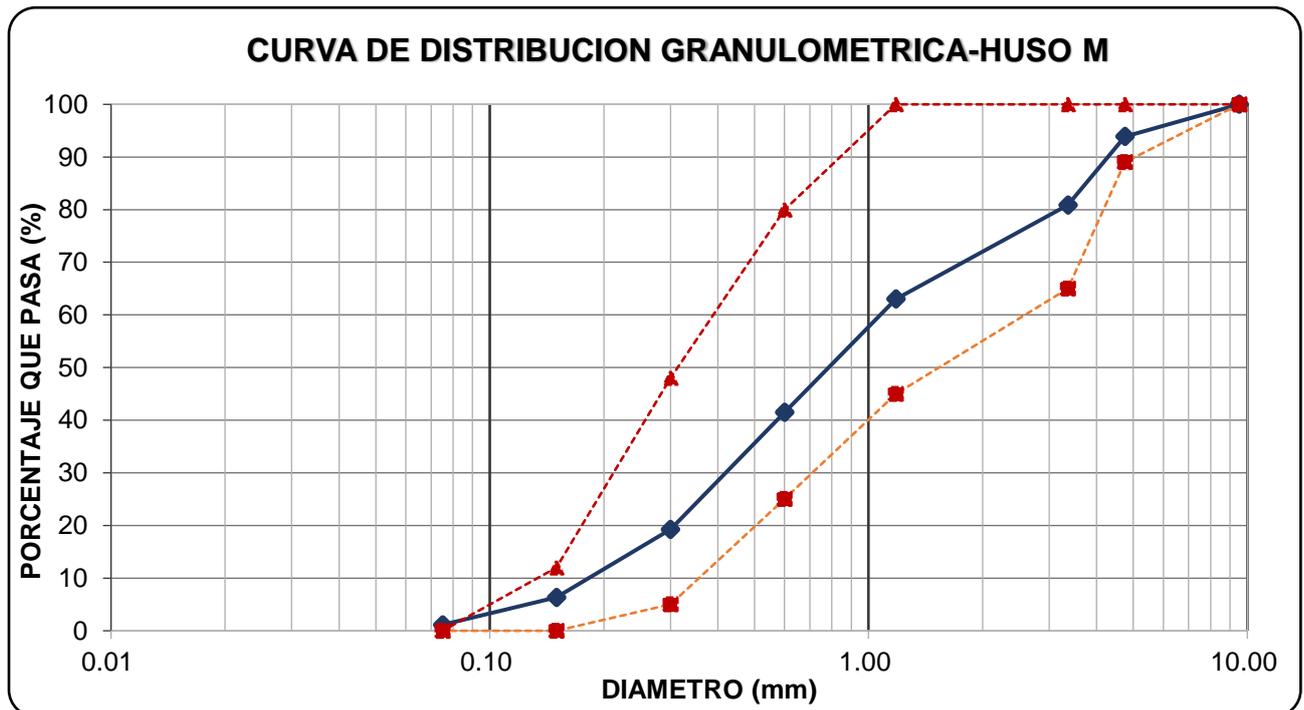


Figura N° 17: Curva de Distribución Granulométrica del agregado fino - Ensayo N°02

Tabla N° 11: Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino - Ensayo N°03

ASTM C136 / NTP 400.012

Peso Seco Inicial =			1500.00 g		
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	95.00	6.33	6.33	93.67
N°8	3.36	188.00	12.53	18.87	81.13
N 16	1.18	255.00	17.00	35.87	64.13
N 30	0.60	355.00	23.67	59.53	40.47
N 50	0.30	328.00	21.87	81.40	18.60
N 100	0.15	188.00	12.53	93.93	6.07
N 200	0.075	76.00	5.07	99.00	1.00
Cazoleta	--	15	1.00	100.00	0.00
TOTAL		1500.00			
MÓDULO DE FINURA =			2.959		

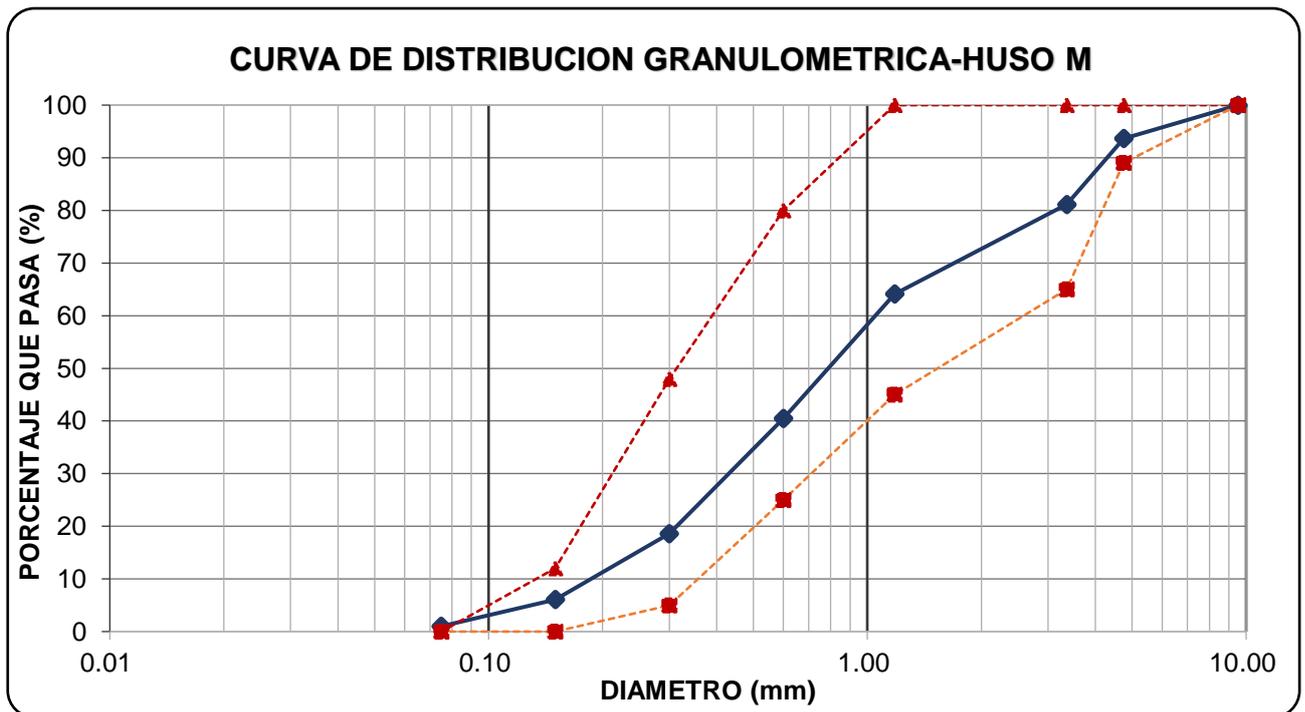


Figura N° 18: Curva de Distribución Granulométrica del agregado fino - Ensayo N°03

MÓDULO DE FINURA PROMEDIO=	2.954
----------------------------	-------

2. Peso Específico y Absorción

Tabla N° 12: Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Fino
ASTM C128 / NTP 400.022

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de fiola (g)	163.1	163.1	163.1	
Peso de la fola +agua hasta menisco (g)	661.30	661.29	661.31	
Peso de la fiola +agua + muestra (g)	975.00	975.20	974.90	
Peso de la muestra superficialmente Seca (g)	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno	494.00	494.10	493.90	
Volumen de agua añadida al frasco (g)	311.9	312.1	311.8	
Peso Específico de Masa g/m³	2.626	2.630	2.624	2.627
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco g/m³	2.658	2.661	2.657	2.659
Peso Específico de Aparente g/m³	2.713	2.715	2.712	2.713
Absorción %	1.21	1.19	1.24	1.21

3. Peso Unitario

3.1. Peso Específico del agua

Tabla N° 13: Peso Específico del agua

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de la fiola (g)	163.1	163.1	163.1	
Peso de la fiola + agua (g)	661.30	661.29	661.31	
Volumen de la fiola (cm ³)	500.00	500.00	500.00	
Peso específico (g/cm ³)	0.99640	0.99638	0.99642	0.99640
Peso específico (Kg/m³)	996.40	996.38	996.42	996.40

3.2. Factor "F" del recipiente

Tabla N° 14: Factor "F" del recipiente para Agregado Fino

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del Molde (g) =	3876.00	3876.00	3876.00	
Peso del Molde +Agua (g) =	6846.00	6848.00	6845.00	
Peso Agua (Kg) =	2.9700	2.9720	2.9690	
Factor "F" (1/m³) =	335.488	335.262	335.601	335.451

3.3 Peso Unitario Suelto Seco

Tabla N° 15: Ensayo de Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Fino.
ASTM C29 / NTP 400.017

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente (g)	3876.00	3876.00	3876.00	
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	8765.00	8772.00	8777.00	
Peso de la muestra suelta (g)	4889.00	4896.00	4901.00	
Factor (F)	335.451	335.451	335.451	
Peso Unitario Suelto Seco g/cm ³	1.640	1.642	1.644	1.642
Peso Unitario Suelto Kg/m³	1640	1642	1644	1642

3.4 Peso Unitario Compactado

Tabla N° 16: Ensayo de Peso Unitario Seco Compactado del Agregado Fino.
ASTM C29 / NTP 400.017

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente (g)	3876.00	3876.00	3876.00	
Peso de muestra Compactada + recipiente (g)	9208.00	9233.00	9235.00	
Peso de la muestra suelta (g)	5332.00	5357.00	5359.00	
Factor (F)	335.451	335.451	335.451	
Peso Unitario Compactado g/cm ³	1.789	1.797	1.798	1.794
Peso Unitario Compactado Kg/m³	1789	1797	1798	1794

4. Material más fino que pasa el tamiz N°200

Tabla N° 17: Ensayo de Partículas < N° 200 para el Agregado Fino.
ASTM C117 / NTP 400.018

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de Muestra Original (g)	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra Lavada (g)	483.00	484.00	483.50	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200 (g)	17.00	16.00	16.50	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	3.40%	3.20%	3.30%	3.30%

5. Contenido de Humedad (%)

Tabla N° 18: Ensayo de Contenido de Humedad del Agregado Fino.
ASTM C566 / NTP 339.185

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del Recipiente (g)	58.00	54.10	56.90	
Peso del Recipiente + muestra Húmeda (g)	694.00	598.00	682.00	
Peso del Recipiente + muestra Seca (g)	678.00	585.00	667.00	
Peso del Agua (g)	16.00	13.00	15.00	
Peso Muestra Seca (g)	620.00	530.90	610.10	
Contenido de Humedad (%)	2.58	2.45	2.46	2.50

B. AGREGADO GRUESO

1. Análisis granulométrico

Tabla N° 19: Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado grueso - Ensayo N°01

ASTM C136 / NTP 400.012

Peso Seco Inicial =			5000.00 g		
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	2566.00	51.32	51.32	48.68
3/8"	9.53	1224.00	24.48	75.80	24.20
N°4	4.75	1195.00	23.90	99.70	0.30
Cazoleta	--	15	0.30	100.00	0.00
TOTAL		5000.00			
MÓDULO DE FINURA =			6.740		

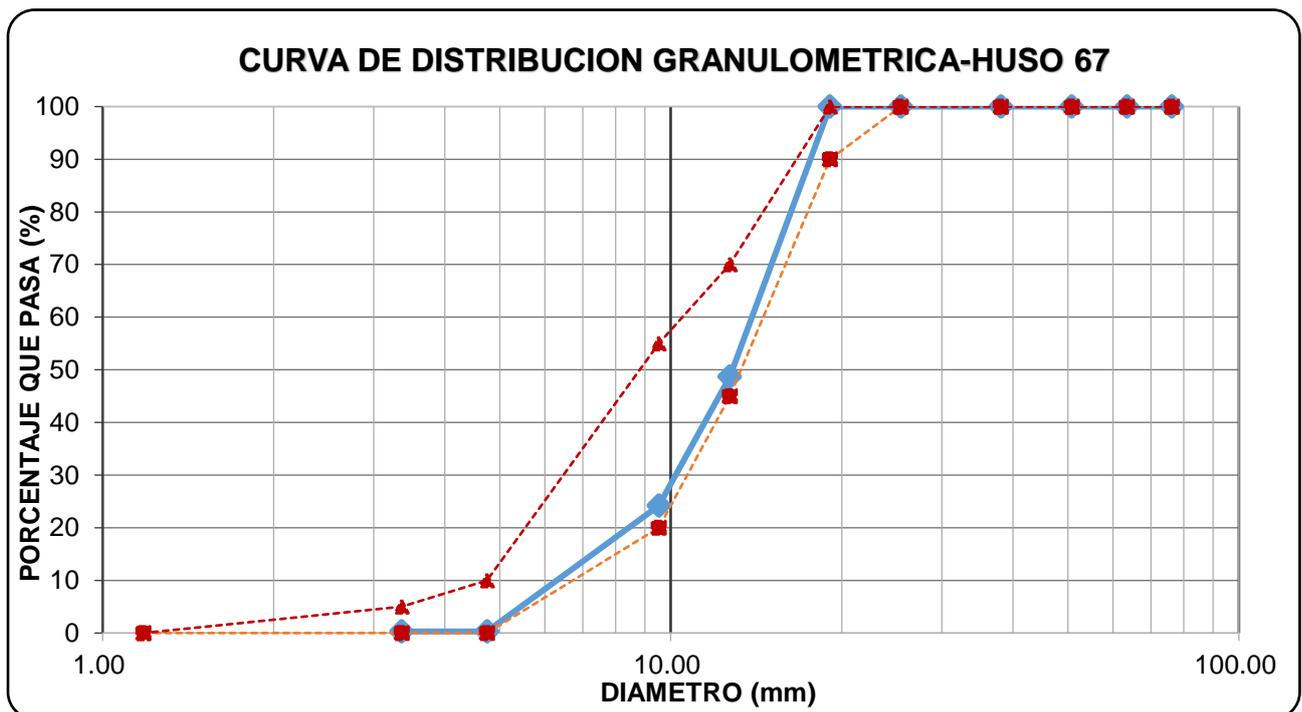


Figura N° 19: Curva de Distribución Granulométrica del agregado grueso - Ensayo N°01

Tabla N° 20: Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado grueso - Ensayo N°02

ASTM C136 / NTP 400.012

Peso Seco Inicial =			5000.00 g		
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	2641.00	52.82	52.82	47.18
3/8"	9.53	1330.00	26.60	79.42	20.58
N°4	4.75	1012.00	20.24	99.66	0.34
Cazoleta	--	17	0.34	100.00	0.00
TOTAL		5000.00			
MÓDULO DE FINURA =			6.774		

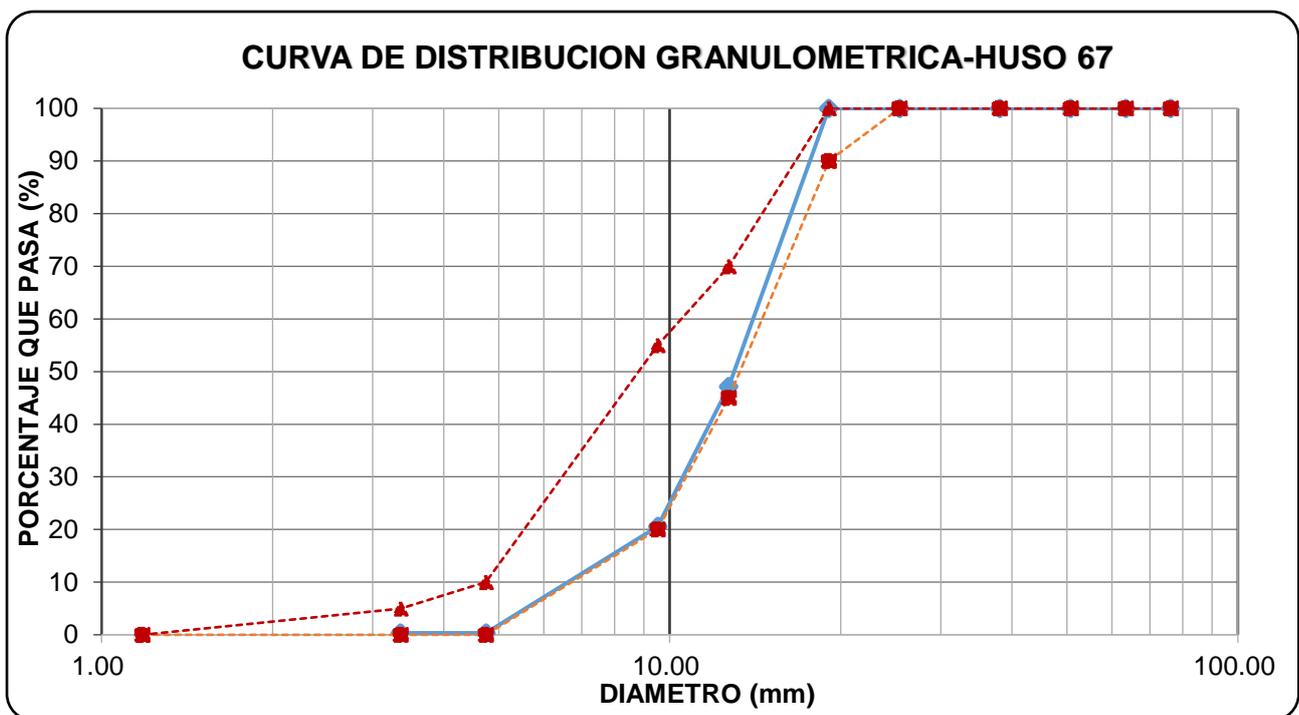


Figura N° 20: Curva de Distribución Granulométrica del agregado grueso - Ensayo N°02

Tabla N° 21: Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado grueso - Ensayo N°03
ASTM C136 / NTP 400.012

Peso Seco Inicial =			5000.00 g		
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	2482.00	49.64	49.64	50.36
3/8"	9.53	1305.00	26.10	75.74	24.26
N°4	4.75	1201.00	24.02	99.76	0.24
Cazoleta	--	12	0.24	100.00	0.00
TOTAL		5000.00			
MÓDULO DE FINURA =			6.743		

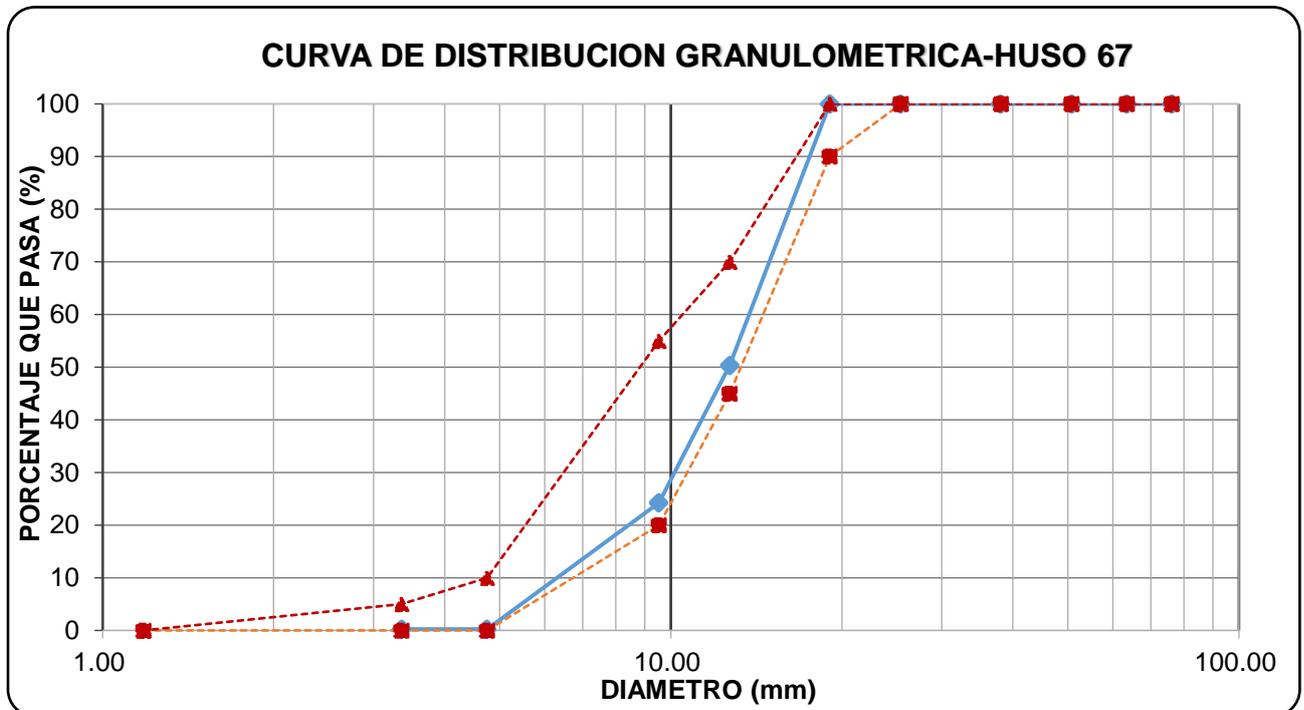


Figura N° 21: Curva de Distribución Granulométrica del agregado grueso - Ensayo N°03

MÓDULO DE FINURA PROMEDIO=	6.752
----------------------------	-------

2. Peso Específico y Absorción

Tabla N° 22: Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso
ASTM C127 / NTP 400.021

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso en el aire de la muestra secada al horno (g)	2967.00	2966.50	2967.40	
Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g)	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso en el agua de la muestra saturada (g)	1869.00	1865.00	1867.00	
Peso Específico de Masa g/m ³	2.623	2.614	2.619	2.619
Peso Específico de Masa Saturad Superficialmente Seco g/m ³	2.653	2.643	2.648	2.648
Peso Específico de Aparente g/m ³	2.702	2.693	2.697	2.697
Absorción %	1.11	1.13	1.10	1.11

3. Peso Unitario

3.1. Factor "F" del recipiente

Tabla N° 23: Factor "F" del recipiente para Agregado Grueso

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del Molde (g) =	4193.00	4193.00	4193.00	
Peso del Molde +Agua (g) =	13889.00	13894.00	13891.00	
Peso Agua (Kg) =	9.6960	9.7010	9.6980	
Factor "F" (1/m³) =	102.764	102.711	102.743	102.739

3.2. Peso Unitario Suelto Seco

Tabla N° 24: Ensayo de Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Grueso
ASTM C29 / NTP 400.017

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente (g)	4193.00	4193.00	4193.00	
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	18067.00	18101.00	18083.00	
Peso de la muestra suelta (g)	13874.00	13908.00	13890.00	
Factor (F)	102.739	102.739	102.739	
Peso Unitario Suelto Seco g/cm ³	1.425	1.429	1.427	1.427
Peso Unitario Suelto Kg/m ³	1425	1429	1427	1427

3.3. Peso Unitario Compactado

Tabla N° 25: Ensayo de Peso Unitario Seco Compactado del Agregado Grueso
ASTM C29 / NTP 400.017

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente (g)	4193.00	4193.00	4193.00	
Peso de muestra Compactada + recipiente (g)	19380.00	19386.00	19371.00	
Peso de la muestra suelta (g)	15187.00	15193.00	15178.00	
Factor (F)	102.739	102.739	102.739	
Peso Unitario Compactado g/cm ³	1.560	1.561	1.559	1.560
Peso Unitario Compactado Kg/m³	1560	1561	1559	1560

4. Material más fino que pasa el tamiz N°200

Tabla N° 26: Ensayo de Partículas < N° 200 para el Agregado Grueso
ASTM C117 / NTP 400.018

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de Muestra Original (g)	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra Lavada (g)	483.00	484.00	483.50	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200 (g)	17.00	16.00	16.50	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	3.40%	3.20%	3.30%	3.30%

5. Contenido de Humedad (%)

Tabla N° 27: Ensayo de Contenido de Humedad del Agregado Grueso
ASTM C566 / NTP 339.185

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del Recipiente (g)	58.00	54.10	56.90	
Peso del Recipiente + muestra Húmeda (g)	694.00	598.00	682.00	
Peso del Recipiente + muestra Seca (g)	678.00	585.00	667.00	
Peso del Agua (g)	16.00	13.00	15.00	
Peso Muestra Seca (g)	620.00	530.90	610.10	
Contenido de Humedad (%)	2.58	2.45	2.46	2.50

6. Abrasión

Tabla N° 28: Ensayo de Abrasión del Agregado Grueso
ASTM C 131 / NTP 400.019

Gradación - Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (rev./min)	N° de Rev	Tamaño Máx. Nominal	Peso de la Muestra en (gr.)
B - Máquina de los Ángeles	11	30 - 33	500.00	1/2"	5000.00
N° DE ENSAYOS			1°	2°	3°
Peso Inicial de la muestra seca al horno (gr.)			5000	5000	5000
Peso retenido en la malla N° 12 Lavado y secado al horno en (g)			3592	3594	3588
% Desg. =((Pi -Pf) / Pi) x 100			28.16	28.12	28.24
% Desg. Promedio			28.17		

C. AGREGADO GRUESO RECICLADO

1. Análisis granulométrico

Tabla N° 29: Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado grueso reciclado - Ensayo N°01
ASTM C136 / NTP 400.012

Peso Seco Inicial =			5000.00 g		
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	2124.00	42.48	42.48	57.52
3/8"	9.53	1648.00	32.96	75.44	24.56
N°4	4.75	1203.00	24.06	99.50	0.50
Cazoleta	--	25	0.50	100.00	0.00
TOTAL		5000.00			
MÓDULO DE FINURA =			6.724		

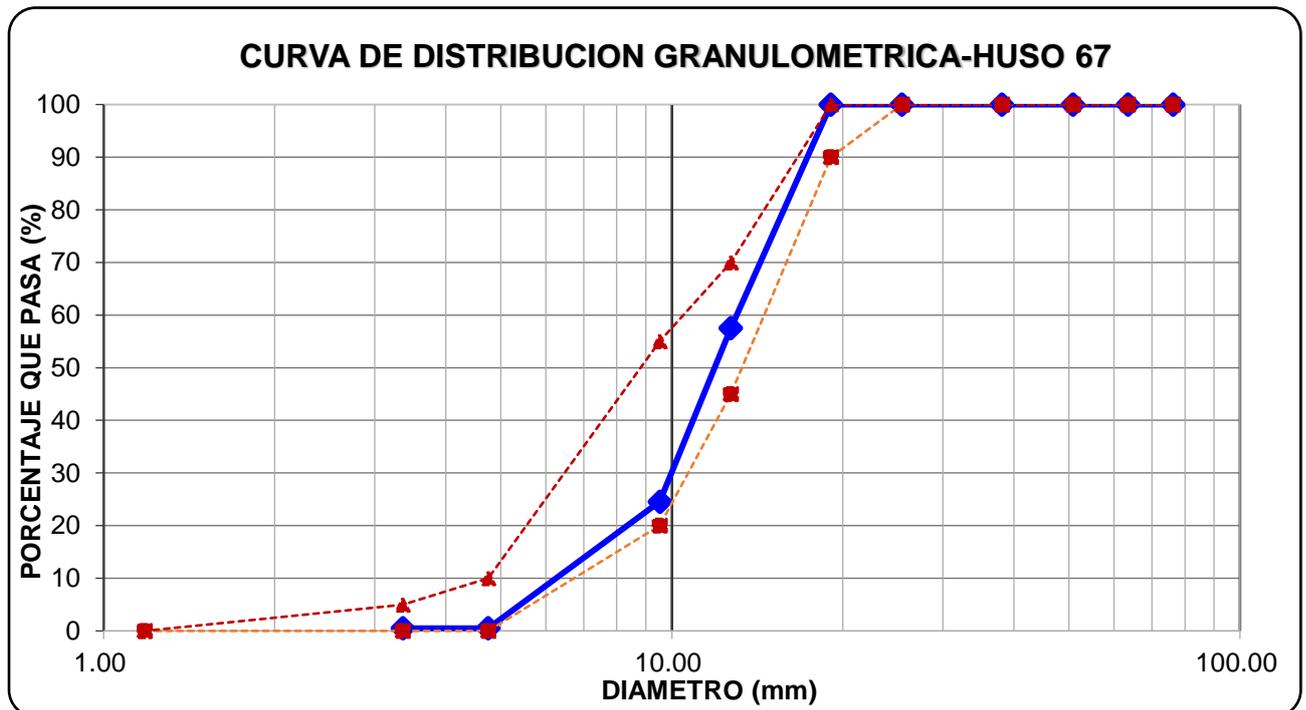


Figura N° 22: Curva de Distribución Granulométrica del agregado grueso reciclado - Ensayo N°01

Tabla N° 30: Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado grueso reciclado - Ensayo N°02
ASTM C136 / NTP 400.012

Peso Seco Inicial =			5000.00 g		
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	2268.00	45.36	45.36	54.64
3/8"	9.53	1489.00	29.78	75.14	24.86
N°4	4.75	1224.00	24.48	99.62	0.38
Cazoleta	--	19	0.38	100.00	0.00
TOTAL		5000.00			
MÓDULO DE FINURA =			6.729		

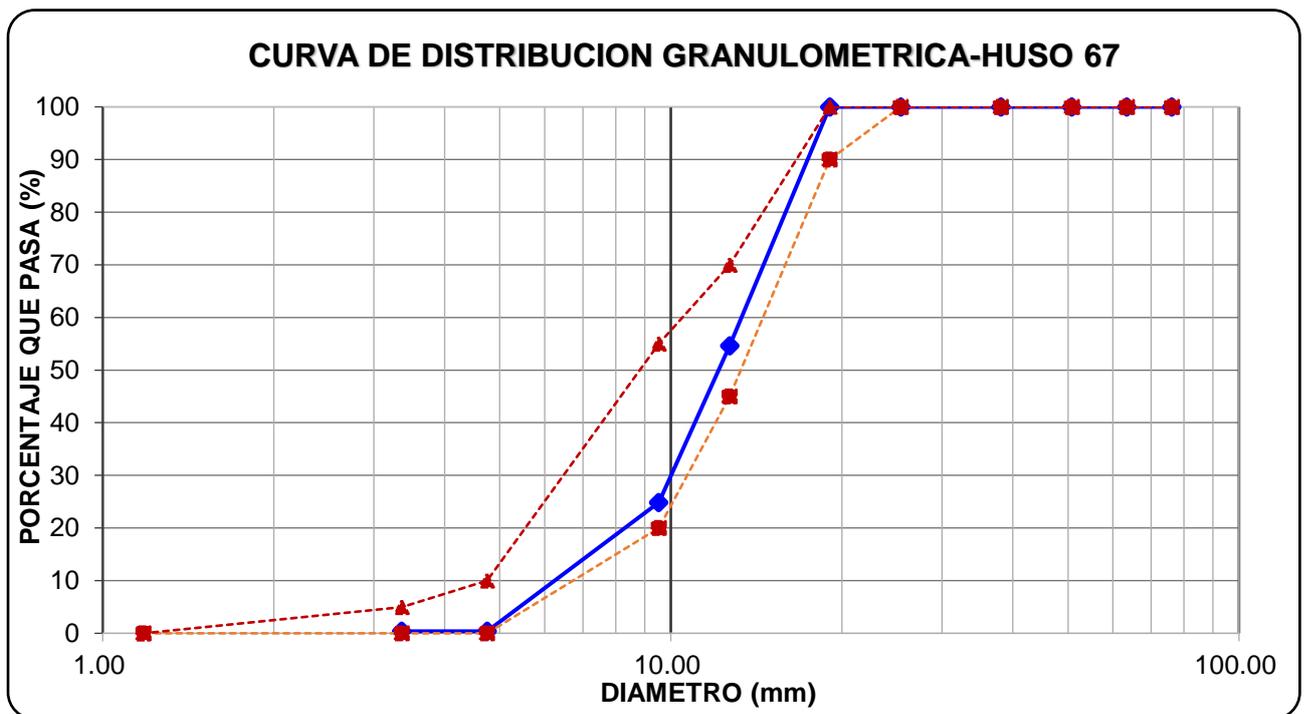


Figura N° 23: Curva de Distribución Granulométrica del agregado grueso reciclado - Ensayo N°02

Tabla N° 31: Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado grueso reciclado - Ensayo N°03
ASTM C136 / NTP 400.012

Peso Seco Inicial =			5000.00 g		
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	2117.00	42.34	42.34	57.66
3/8"	9.53	1645.00	32.90	75.24	24.76
N°4	4.75	1223.00	24.46	99.70	0.30
Cazoleta	--	15	0.30	100.00	0.00
TOTAL		5000.00			
MÓDULO DE FINURA =			6.734		

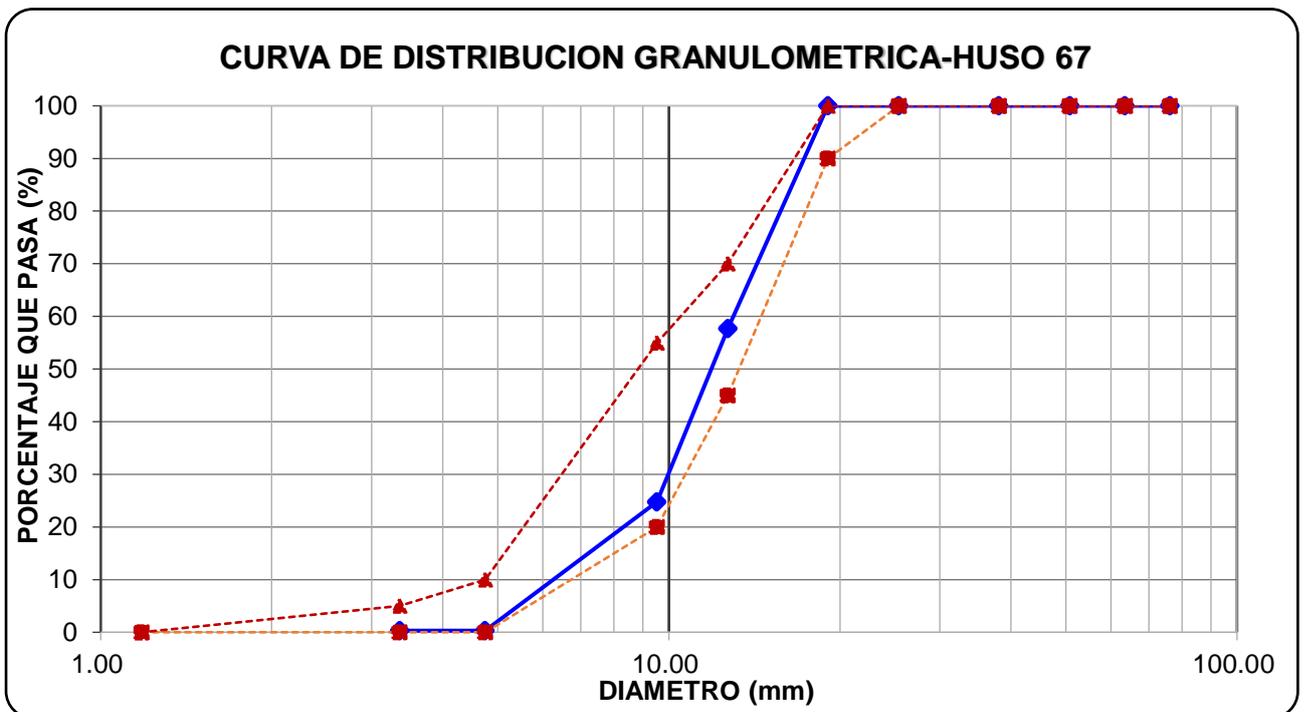


Figura N° 24: Curva de Distribución Granulométrica del agregado grueso reciclado - Ensayo N°03

MÓDULO DE FINURA PROMEDIO=	6.729
----------------------------	-------

2. Peso Específico y Absorción

Tabla N° 32: Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso Reciclado
ASTM C127 / NTP 400.021

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso en el aire de la muestra secada al horno (g)	2866.00	2872.00	2865.00	
Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g)	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso en el agua de la muestra saturada (g)	1731.00	1733.00	1736.00	
Peso Específico de Masa g/m ³	2.258	2.267	2.267	2.264
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco g/m ³	2.364	2.368	2.373	2.368
Peso Específico de Aparente g/m ³	2.525	2.522	2.538	2.528
Absorción %	4.68	4.46	4.71	4.61

3. Peso Unitario

3.1. Peso Unitario Suelto Seco

Tabla N° 33: Ensayo de Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Grueso Reciclado
ASTM C29 / NTP 400.017

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente (g)	4193.00	4193.00	4193.00	
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	16491.00	16511.00	16475.00	
Peso de la muestra suelta (g)	12298.00	12318.00	12282.00	
Factor (F)	102.739	102.739	102.739	
Peso Unitario Suelto Seco g/cm ³	1.263	1.266	1.262	1.264
Peso Unitario Suelto Kg/m ³	1263	1266	1262	1264

3.2. Peso Unitario Compactado

Tabla N° 34: Ensayo de Peso Unitario Seco Compactado del Agregado Grueso Reciclado
ASTM C29 / NTP 400.017

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente (g)	4193.00	4193.00	4193.00	
Peso de muestra Compactada + recipiente (g)	17579.00	17554.00	17591.00	
Peso de la muestra suelta (g)	13386.00	13361.00	13398.00	
Factor (F)	102.739	102.739	102.739	
Peso Unitario Compactado g/cm ³	1.375	1.373	1.377	1.375
Peso Unitario Compactado Kg/m ³	1375	1373	1377	1375

4. Material más fino que pasa el tamiz N°200

Tabla N° 35: Ensayo de Partículas < N° 200 para el Agregado Grueso Reciclado
ASTM C117 / NTP 400.018

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de Muestra Original (g)	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra Lavada (g)	2982.00	2981.00	2979.00	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200 (g)	18.00	19.00	21.00	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	0.60%	0.63%	0.70%	0.64%

5. Contenido de Humedad (%)

Tabla N° 36: Ensayo de Contenido de Humedad del Agregado Grueso Reciclado
ASTM C566 / NTP 339.185

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del Recipiente (g)	135.00	127.00	134.00	
Peso del Recipiente + muestra Húmeda (g)	1990.00	1824.00	1282.00	
Peso del Recipiente + muestra Seca (g)	1981.00	1815.00	1276.00	
Peso del Agua (g)	9.00	9.00	6.00	
Peso Muestra Seca (g)	1846.00	1688.00	1142.00	
Contenido de Humedad (%)	0.49	0.53	0.53	0.52

6. Abrasión

Tabla N° 37: Ensayo de Abrasión del Agregado Grueso Reciclado
ASTM C 131 / NTP 400.019

Gradación - Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (rev./min)	N° de Rev	Tamaño Máx. Nominal	Peso de la Muestra en (gr.)
B - Máquina de los Ángeles	11	30 - 33	500.00	1/2"	5000.00
N° DE ENSAYOS			1°	2°	3°
Peso Inicial de la muestra seca al horno (gr.)			5000	5000	5000
Peso retenido en la malla N° 12 Lavado y secado al horno en (g)			3349	3344	3341
% Desg. =((Pi -Pf) / Pi) x 100			33.02	33.12	33.18
% Desg. Promedio			33.11		

**ANEXO N° 02: ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA DOSIFICACIÓN
POR LA METODOLOGÍA DE COMPACTACIÓN DE SUELOS**

GRADACIÓN ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS							
COMBINACION DE AGREGADOS							
AGREGADO FINO		55%					
AGREGADO GRUESO		45%					
<i>Tabla N° 38: Combinación de Agregados Fino y Grueso ACI 325.10R</i>							
Tamiz		Peso Retenido Parcial	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	HUSO GRANULOMÉTRICO	
N°	Abertura (mm)					ACI 325.10R	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	82	100
1/2"	12.70	487.00	12.18	12.18	87.83	72	93
3/8"	9.53	636.00	15.90	28.08	71.93	66	85
N°4	4.75	558.00	13.95	42.03	57.98	51	69
N°8	3.36	503.00	12.58	54.60	45.40	38	56
N 16	1.18	439.00	10.98	65.58	34.43	28	46
N 30	0.60	491.00	12.28	77.85	22.15	18	36
N 50	0.30	378.00	9.45	87.30	12.70	11	27
N 100	0.15	281.00	7.03	94.33	5.67	6	18
N 200	0.075	219.00	5.48	99.80	0.20	2	8
Cazoleta	--	8	0.20	100.00	0.00	-	-
TOTAL		4000.00					

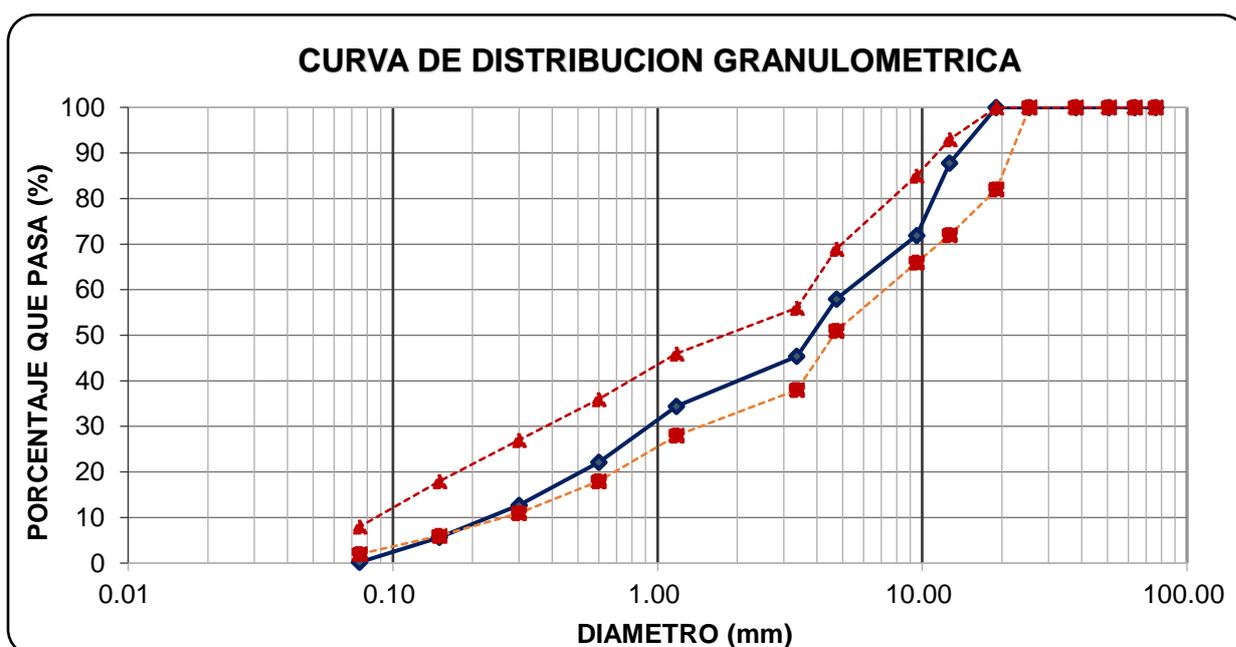


Figura N° 25: Curva de Distribución Granulométrica de la gradación óptima de los agregados

PROCTOR MODIFICADO

MUESTRA: AGREGADOS NATURALES(55 %AF+45%AG) / 10% CEMENTO PORTLAND TIPO I

Tabla N° 39: Ensayo de Compactación Proctor Modificado
ASTM D1557

MÉTODO DE ENSAYO :		"C"									
DENSIDAD	NÚMERO DE ENSAYO	1		2		3		4		5	
	N° de Capas	5		5		5		5		5	
	N° de Golpes por Capa	56		56		56		56		56	
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	7664.00		7781.00		7837.00		7869.00		7862.00	
	Peso Molde (gr)	2739.00		2739.00		2739.00		2739.00		2739.00	
	Peso Húmedo (gr)	4925.00		5042.00		5098.00		5130.00		5123.00	
	Volumen del Molde (cm³)	2124.00		2124.00		2124.00		2124.00		2124.00	
	Densidad Húmeda (gr/cm³)	2.319		2.374		2.400		2.415		2.412	
HUMEDAD	Ensayo	1		2		3		4		5	
	Peso Húmedo + Tara (gr)	324.81	347.63	396.18	425.08	462.96	429.58	538.20	351.50	457.28	419.30
	Peso Seco + Tara (gr)	313.54	335.48	379.07	406.71	440.12	408.31	504.87	331.07	426.11	391.37
	Peso Agua (gr)	11.27	12.15	17.11	18.37	22.84	21.27	33.33	20.43	31.17	27.93
	Peso Tara (gr)	56.50	58.00	56.06	58.00	59.50	58.62	57.25	55.49	58.40	56.80
	Peso Muestra Seca (gr)	257.04	277.48	323.01	348.71	380.62	349.69	447.62	275.58	367.71	334.57
	Contenido de Humedad (%)	4.39	4.38	5.30	5.27	6.00	6.08	7.45	7.41	8.48	8.35
	C. Humedad (%) promedio	4.38		5.28		6.04		7.43		8.41	
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	2.221		2.255		2.263		2.248		2.225		
DENSIDAD SECA MÁXIMA	2.264 gr/cm3				CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO				6.10 %		

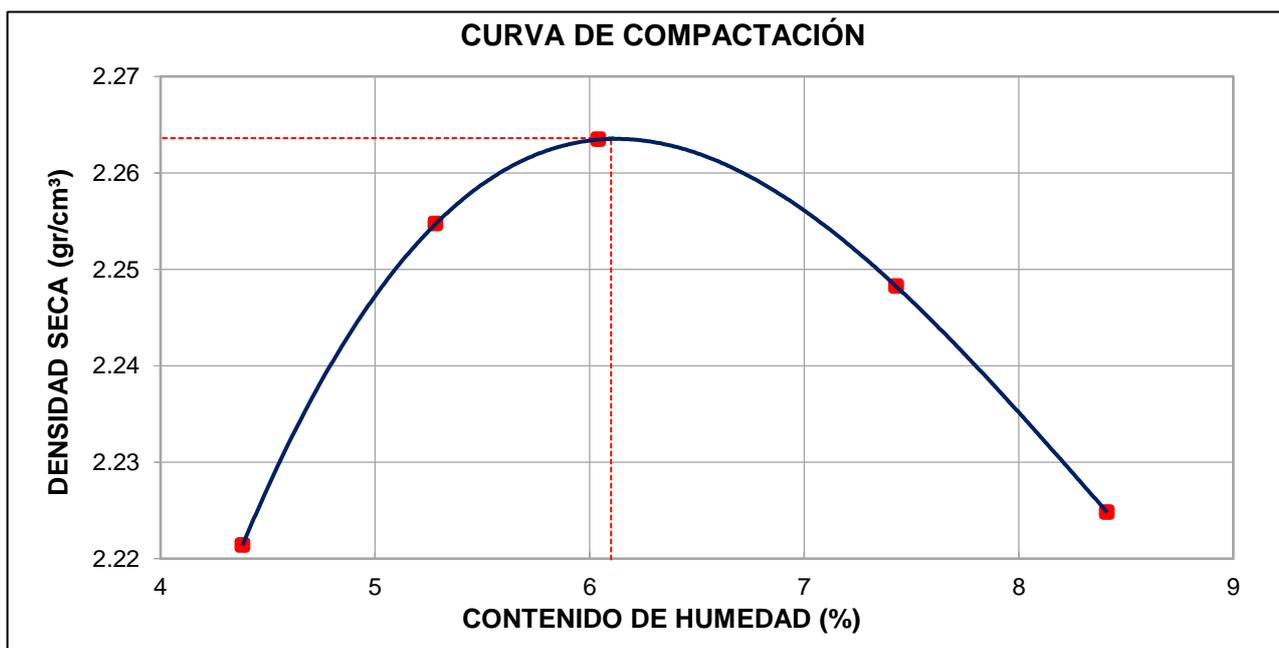


Figura N° 26: Curva de compactación

ANEXO N° 03: DISEÑOS DE MEZCLAS

DISEÑO DE MEZCLAS

TESIS : VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO

METODO : COMPACTACION DE SUELOS

DISEÑO : PATRON $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

1. CEMENTO

TIPO	PACASMAYO PORTLAND TIPO I
PESO ESPECIFICO	3.10 g/cm ³

2. CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

DESCRIPCION	UNIDAD	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		-	1/2"
Peso Específico de Masa	g/cm ³	2.627	2.619
Peso Específico SSS	g/cm ³	2.659	2.648
Peso Específico Aparente	g/cm ³	2.713	2.697
Peso Unitario Suelto Seco	Kg/m ³	1642	1427
Peso Unitario Compactado Seco	Kg/m ³	1794	1560
Contenido de Humedad	(%)	2.50	0.31
Absorción	(%)	1.21	1.11
Módulo de Finura		2.954	6.752
Abrasión	(%)	-	28.17
Partículas < Tamiz N° 200	(%)	3.30	0.43

3. DOSIFICACION PARA LA MEZCLA DE PROCTOR

CEMENTO	10%
AGREGADO FINO	55%
AGREGADO GRUESO	45%

4. PROCTOR-ASTM D1557

DENSIDAD SECA MÁXIMA	2.264 g/cm ³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO	6.10 %

5. PROCEDIMIENTO

A. PESO APROX MEZCLA COMPACT. **5.1 Kg**

MATERIALES COMPONENTES

CEMENTO =	0.437	Kg
AGUA =	0.293	Lt
AGREGADO FINO =	2.403	Kg
AGREGADO GRUESO =	1.966	Kg

VOLUMENES

CEMENTO =	0.000141	m ³
AGUA =	0.000293	m ³
AGREGADO FINO =	0.000915	m ³
AGREGADO GRUESO =	0.000751	m ³
SUMA =	0.002100	m³

B. AIRE ATRAPADO

Considerando para 1 m³:

AIRE ATRAPADO (%) = 2.5

Entonces:

VOLUMEN SIN AIRE = 0.975

C. FACTOR

Para 1 m³ de concreto, multiplicar el volumen de cada material por:

$$F = \frac{0.975}{0.002100}$$

$$F = 464.28$$

D. MATERIALES PARA 1 m3

<u>VOLUMEN</u>			<u>PESO</u>		
CEMENTO =	0.065	m3	CEMENTO =	202.84	Kg
AGUA =	0.136	m3	AGUA DE DISEÑO =	136.13	Lt
AGREGADO FINO =	0.425	m3	AGREGADO FINO SECO =	1115.85	Kg
AGREGADO GRUESO =	0.349	m3	AGREGADO GRUESO SECO =	912.96	Kg
AIRE =	0.025	m3	AIRE =	2.50	%
			RELACION A/C =	0.67	
			CEMENTO =	4.77	Bolsas/m3

E. MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

CEMENTO =	202.84	Kg		
AGUA EFECTIVA =	129.1	Lt		
AGREGADO FINO HUMEDO =	1144.00	Kg		
AGREGADO GRUESO HUMEDO =	916.00	Kg		
AIRE TOTAL =	2.50	%		
			RELACION A/C EFECTIVA=	0.64

F. PROPORCIONAMIENTO**PROPORCION EN PESO**

CEMENTO =	1	
A. FINO =	5.64	
A. GRUESO =	4.52	
AGUA =	27.1	(Lt / Bolsa)

PROPORCION EN VOLUMEN

CEMENTO =	1	
A. FINO =	5.030	
A. GRUESO =	4.730	
AGUA =	27.1	(Lt / Bolsa)

MATERIALES PARA TANDA (aproximado para 3 especímenes)

TANDA (m3) :	0.02
CEMENTO (g) =	4057
AGUA EFECTIVA (cm3)=	2583
AGREGADO FINO (g) =	22880
AGREGADO GRUESO (g) =	18320

DISEÑO DE MEZCLAS

TESIS : VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO

METODO : COMPACTACION DE SUELOS

DISEÑO : 25% AGREGADO GRUESO RECICLADO $F'_c =$ **210** Kg/cm^2

1. CEMENTO

TIPO	PACASMAYO PORTLAND TIPO I
PESO ESPECIFICO	3.10 g/cm ³

2. CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

DESCRIPCION	UNIDAD	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AG. GRUESO RECICLADO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		-	1/2"	1/2"
Peso Específico de Masa	g/cm ³	2.627	2.619	2.264
Peso Específico SSS	g/cm ³	2.659	2.648	2.368
Peso Específico Aparente	g/cm ³	2.713	2.697	2.528
Peso Unitario Suelto Seco	Kg/m ³	1642	1427	1264
Peso Unitario Compactado Seco	Kg/m ³	1794	1560	1375
Contenido de Humedad	(%)	2.50	0.31	0.52
Absorción	(%)	1.215	1.113	5.50
Módulo de Finura		2.954	6.752	6.729
Abrasión	(%)	-	28.17	33.11
Partículas < Tamiz N° 200	(%)	3.30	0.43	0.64

3. PROCTOR-ASTM D1557

DENSIDAD SECA MÁXIMA	2.264 g/cm ³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO	6.10 %

4. PROCEDIMIENTO

A. MATERIALES PARA 1 m³ CON AGREGADOS NATURALES

PESO			
CEMENTO =	202.84	Kg	
AGUA DE DISEÑO =	136.13	Lt	RELACION A/C = 0.67
AGREGADO FINO SECO =	1115.85	Kg	CEMENTO = 4.77 Bolsas/m ³
AGREGADO GRUESO SECO =	912.96	Kg	
AIRE =	2.50	%	

B. MATERIALES PARA 1 m³ CON REEMPLAZO DE 25% AGREGADO GRUESO RECICLADO

PESO		
CEMENTO =	202.84	Kg
AGUA DE DISEÑO =	136.13	Lt
AGREGADO FINO SECO =	1115.85	Kg
AGREGADO GRUESO SECO =	684.72	Kg
AGREGADO GRUESO RECICLADO =	197.32	Kg
AIRE =	2.50	%

C. MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

CEMENTO =	202.84	Kg
AGUA EFECTIVA =	137.1	Lt
AGREGADO FINO HUMEDO =	1143.70	Kg
AGREGADO GRUESO HUMEDO =	686.86	Kg
AG GRUESO RECICLADO HUMEDO =	198.34	Kg
AIRE TOTAL =	2.50	%

F. PROPORCIONAMIENTO**PROPORCION EN PESO**

CEMENTO =	1	
A. FINO =	5.64	
A. GRUESO =	3.39	
A. GRUESO REC. =	0.98	
AGUA =	28.7	(Lt / Bolsa)

PROPORCION EN VOLUMEN

CEMENTO =	1	
A. FINO =	5.030	
A. GRUESO =	3.550	
A. GRUESO REC. =	1.160	
AGUA =	28.7	(Lt / Bolsa)

MATERIALES PARA TANDA (aproximado para 3 especímenes)

TANDA 25% AGR (m3) :	0.02
CEMENTO (g) =	4057
AGUA EFECTIVA (cm3)=	2743
AGREGADO FINO (g) =	22874
AGREGADO GRUESO (g) =	13737
AGREGADO GRUESO REC (g) =	3967

DISEÑO DE MEZCLAS

TESIS : VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO

METODO : COMPACTACION DE SUELOS

DISEÑO : 50% AGREGADO GRUESO RECICLADO **F_c = 210 Kg/cm²**

1. CEMENTO

TIPO	PACASMAYO PORTLAND TIPO I
PESO ESPECIFICO	3.10 g/cm ³

2. CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

DESCRIPCION	UNIDAD	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AG. GRUESO RECICLADO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		-	1/2"	1/2"
Peso Específico de Masa	g/cm ³	2.627	2.619	2.264
Peso Específico SSS	g/cm ³	2.659	2.648	2.368
Peso Específico Aparente	g/cm ³	2.713	2.697	2.528
Peso Unitario Suelto Seco	Kg/m ³	1642	1427	1264
Peso Unitario Compactado Seco	Kg/m ³	1794	1560	1375
Contenido de Humedad	(%)	2.50	0.31	0.52
Absorción	(%)	1.215	1.113	5.50
Módulo de Finura		2.954	6.752	6.729
Abrasión	(%)	-	28.17	33.11
Partículas < Tamiz N° 200	(%)	3.30	0.43	0.64

3. PROCTOR-ASTM D1557

DENSIDAD SECA MÁXIMA	2.264 g/cm ³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO	6.10 %

4. PROCEDIMIENTO

A. MATERIALES PARA 1 m³ CON AGREGADOS NATURALES

<u>PESO</u>				
CEMENTO =	202.84	Kg		
AGUA DE DISEÑO =	136.13	Lt	RELACION A/C =	0.67
AGREGADO FINO SECO =	1115.85	Kg	CEMENTO =	4.77 Bolsas/m ³
AGREGADO GRUESO SECO =	912.96	Kg		
AIRE =	2.50	%		

B. MATERIALES PARA 1 m³ CON REEMPLAZO DE 50% AGREGADO GRUESO RECICLADO

<u>PESO</u>		
CEMENTO =	202.84	Kg
AGUA DE DISEÑO =	136.13	Lt
AGREGADO FINO SECO =	1115.85	Kg
AGREGADO GRUESO SECO =	456.48	Kg
AGREGADO GRUESO RECICLADO =	394.65	Kg
AIRE =	2.50	%

C. MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

CEMENTO =	202.84	Kg
AGUA EFECTIVA =	145.2	Lt
AGREGADO FINO HUMEDO =	1143.70	Kg
AGREGADO GRUESO HUMEDO =	457.91	Kg
AG GRUESO RECICLADO HUMEDO =	396.68	Kg
AIRE TOTAL =	2.50	%

F. PROPORCIONAMIENTO**PROPORCION EN PESO**

CEMENTO =	1	
A. FINO =	5.64	
A. GRUESO =	2.26	
A. GRUESO REC. =	1.96	
AGUA =	30.4	(Lt / Bolsa)

PROPORCION EN VOLUMEN

CEMENTO =	1	
A. FINO =	5.030	
A. GRUESO =	2.370	
A. GRUESO REC. =	2.310	
AGUA =	30.4	(Lt / Bolsa)

MATERIALES PARA TANDA (aproximado para 3 especímenes)

TANDA 50% AGR (m3) :	0.02
CEMENTO (g) =	4057
AGUA EFECTIVA (cm3)=	2903
AGREGADO FINO (g) =	22874
AGREGADO GRUESO (g) =	9158
AGREGADO GRUESO REC (g) =	7934

DISEÑO DE MEZCLAS

TESIS : VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO

METODO : COMPACTACION DE SUELOS

DISEÑO : 75% AGREGADO GRUESO RECICLADO $F_c =$ **210** Kg/cm^2

1. CEMENTO

TIPO	PACASMAYO PORTLAND TIPO I
PESO ESPECIFICO	3.10 g/cm^3

2. CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

DESCRIPCION	UNIDAD	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AG. GRUESO RECICLADO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		-	1/2"	1/2"
Peso Específico de Masa	g/cm^3	2.627	2.619	2.264
Peso Específico SSS	g/cm^3	2.659	2.648	2.368
Peso Específico Aparente	g/cm^3	2.713	2.697	2.528
Peso Unitario Suelto Seco	Kg/m^3	1642	1427	1264
Peso Unitario Compactado Seco	Kg/m^3	1794	1560	1375
Contenido de Humedad	(%)	2.50	0.31	0.52
Absorción	(%)	1.215	1.113	5.50
Módulo de Finura		2.954	6.752	6.729
Abrasión	(%)	-	28.17	33.11
Partículas < Tamiz N° 200	(%)	3.30	0.43	0.64

3. PROCTOR-ASTM D1557

DENSIDAD SECA MÁXIMA	2.264 g/cm^3
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO	6.10 %

4. PROCEDIMIENTO

A. MATERIALES PARA 1 m3 CON AGREGADOS NATURALES

<u>PESO</u>			
CEMENTO =	202.84	Kg	
AGUA DE DISEÑO =	136.13	Lt	RELACION A/C = 0.67
AGREGADO FINO SECO =	1115.85	Kg	CEMENTO = 4.77 Bolsas/m3
AGREGADO GRUESO SECO =	912.96	Kg	
AIRE =	2.50	%	

B. MATERIALES PARA 1 m3 CON REEMPLAZO DE 75% AGREGADO GRUESO RECICLADO

<u>PESO</u>		
CEMENTO =	202.84	Kg
AGUA DE DISEÑO =	136.13	Lt
AGREGADO FINO SECO =	1115.85	Kg
AGREGADO GRUESO SECO =	228.24	Kg
AGREGADO GRUESO RECICLADO =	591.97	Kg
AIRE =	2.50	%

C. MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

CEMENTO =	202.84	Kg
AGUA EFECTIVA =	153.2	Lt
AGREGADO FINO HUMEDO =	1143.70	Kg
AGREGADO GRUESO HUMEDO =	228.95	Kg
AG GRUESO RECICLADO HUMEDO =	595.02	Kg
AIRE TOTAL =	2.50	%

F. PROPORCIONAMIENTO**PROPORCION EN PESO**

CEMENTO =	1	
A. FINO =	5.64	
A. GRUESO =	1.13	
A. GRUESO REC. =	2.93	
AGUA =	32.1	(Lt / Bolsa)

PROPORCION EN VOLUMEN

CEMENTO =	1	
A. FINO =	5.030	
A. GRUESO =	1.180	
A. GRUESO REC. =	3.470	
AGUA =	32.1	(Lt / Bolsa)

MATERIALES PARA TANDA (aproximado para 3 especímenes)

TANDA 75% AGR (m3) :	0.02
CEMENTO (g) =	4057
AGUA EFECTIVA (cm3)=	3063
AGREGADO FINO (g) =	22874
AGREGADO GRUESO (g) =	4579
AGREGADO GRUESO REC (g) =	11900

DISEÑO DE MEZCLAS

TESIS : VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO

METODO : COMPACTACION DE SUELOS

DISEÑO : 100% AGREGADO GRUESO RECICLADO **F'c =** **210** **Kg/cm²**

1. CEMENTO

TIPO	PACASMAYO PORTLAND TIPO I
PESO ESPECIFICO	3.10 g/cm ³

2. CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

DESCRIPCION	UNIDAD	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AG. GRUESO RECICLADO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		-	1/2"	1/2"
Peso Específico de Masa	g/cm ³	2.627	2.619	2.264
Peso Específico SSS	g/cm ³	2.659	2.648	2.368
Peso Específico Aparente	g/cm ³	2.713	2.697	2.528
Peso Unitario Suelto Seco	Kg/m ³	1642	1427	1264
Peso Unitario Compactado Seco	Kg/m ³	1794	1560	1375
Contenido de Humedad	(%)	2.50	0.31	0.52
Absorción	(%)	1.215	1.113	5.50
Módulo de Finura		2.954	6.752	6.729
Abrasión	(%)	-	28.17	33.11
Partículas < Tamiz N° 200	(%)	3.30	0.43	0.64

3. PROCTOR-ASTM D1557

DENSIDAD SECA MÁXIMA	2.264 g/cm ³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO	6.10 %

4. PROCEDIMIENTO

A. MATERIALES PARA 1 m³ CON AGREGADOS NATURALES

<u>PESO</u>				
CEMENTO =	202.84	Kg		
AGUA DE DISEÑO =	136.13	Lt	RELACION A/C =	0.67
AGREGADO FINO SECO =	1115.85	Kg	CEMENTO =	4.77 Bolsas/m ³
AGREGADO GRUESO SECO =	912.96	Kg		
AIRE =	2.50	%		

B. MATERIALES PARA 1 m³ CON REEMPLAZO DE 100% AGREGADO GRUESO RECICLADO

<u>PESO</u>		
CEMENTO =	202.84	Kg
AGUA DE DISEÑO =	136.13	Lt
AGREGADO FINO SECO =	1115.85	Kg
AGREGADO GRUESO SECO =	0.00	Kg
AGREGADO GRUESO RECICLADO =	789.29	Kg
AIRE =	2.50	%

C. MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

CEMENTO =	202.84	Kg
AGUA EFECTIVA =	161.2	Lt
AGREGADO FINO HUMEDO =	1143.70	Kg
AGREGADO GRUESO HUMEDO =	0.00	Kg
AG GRUESO RECICLADO HUMEDO =	793.36	Kg
AIRE TOTAL =	2.50	%

F. PROPORCIONAMIENTO**PROPORCION EN PESO**

CEMENTO =	1	
A. FINO =	5.64	
A. GRUESO =	0.00	
A. GRUESO REC. =	3.91	
AGUA =	33.8	(Lt / Bolsa)

PROPORCION EN VOLUMEN

CEMENTO =	1	
A. FINO =	5.030	
A. GRUESO =	0.000	
A. GRUESO REC. =	4.620	
AGUA =	33.8	(Lt / Bolsa)

MATERIALES PARA TANDA (aproximado para 3 especímenes)

TANDA 100% AGR (m3) :	0.02
CEMENTO (g) =	4057
AGUA EFECTIVA (cm3)=	3223
AGREGADO FINO (g) =	22874
AGREGADO GRUESO (g) =	0
AGREGADO GRUESO REC (g) =	15867

ANEXO N° 04: RESULTADOS DE ENSAYOS DE PESO UNITARIO

Tabla N° 40: Resultados del ensayo de Peso Unitario del diseño Patrón

ENSAYO DE PESO UNITARIO DE CONCRETO									
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO								
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel								
DISEÑO:	: PATRON								
N° DE ESPECIMENES:	10								
DESCRIPCION	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - ESTADO FRESCO							P.U. (kg/cm ³)	
	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	VOL (cm ³)	PESO MOLDE (g)	PESO MOLDE + CONCRETO (g)	PESO CONCRETO (g)		
1	15.21	30.20	181.70	5487.26	6475.00	19794.00	13319.00	2427.26	
2	15.18	30.30	180.98	5483.73	6439.00	19818.00	13379.00	2439.76	
3	15.15	30.20	180.27	5444.05	6314.00	19527.00	13213.00	2427.05	
4	15.22	30.20	181.94	5494.47	6636.00	19928.00	13292.00	2419.16	
5	15.10	30.10	179.08	5390.27	6503.00	19590.00	13087.00	2427.89	
6	15.20	30.20	181.46	5480.04	6571.00	19860.00	13289.00	2424.98	
7	15.28	30.30	183.37	5556.22	7636.00	21164.00	13528.00	2434.75	
8	15.21	30.30	181.70	5505.43	6614.00	19975.00	13361.00	2426.88	
9	15.24	30.20	182.41	5508.92	8365.00	21749.00	13384.00	2429.51	
10	15.27	30.30	183.13	5548.95	9119.00	22568.00	13449.00	2423.70	
PROMEDIO								13330.10	2428.10

Tabla N° 41: Resultados del ensayo de Peso Unitario del diseño con 25% Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE PESO UNITARIO DE CONCRETO									
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO								
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel								
DISEÑO:	: 25% AGR								
N° DE ESPECIMENES:	10								
DESCRIPCION	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - ESTADO FRESCO							P.U. (kg/cm ³)	
	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	VOL (cm ³)	PESO MOLDE (g)	PESO MOLDE + CONCRETO (g)	PESO CONCRETO (g)		
1	15.26	30.30	182.89	5541.68	6695.00	19851.00	13156.00	2374.01	
2	15.21	30.25	181.70	5496.34	6614.00	19685.00	13071.00	2378.13	
3	15.29	30.30	183.61	5563.49	7110.00	20389.00	13279.00	2386.81	
4	15.28	30.30	183.37	5556.22	6636.00	19891.00	13255.00	2385.62	
5	15.31	30.40	184.09	5596.47	6475.00	19784.00	13309.00	2378.11	
6	15.24	30.20	182.41	5508.92	8565.00	21756.00	13191.00	2394.48	
7	15.27	30.30	183.13	5548.95	6571.00	19778.00	13207.00	2380.09	
8	15.28	30.35	183.37	5565.39	8119.00	21395.00	13276.00	2385.46	
9	15.20	30.20	181.46	5480.04	6571.00	19594.00	13023.00	2376.44	
10	15.25	30.25	182.65	5525.29	7110.00	20286.00	13176.00	2384.67	
PROMEDIO								13194.30	2382.38

Tabla N° 42: Resultados del ensayo de Peso Unitario del diseño con 50% Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE PESO UNITARIO DE CONCRETO								
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO							
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel							
DISEÑO:	: 50% AGR							
N° DE ESPECIMENES:	10							
DESCRIPCION	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - ESTADO FRESCO							
	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	VOL (cm ³)	PESO MOLDE (g)	PESO MOLDE + CONCRETO (g)	PESO CONCRETO (g)	P.U. (kg/cm ³)
1	15.27	30.30	183.13	5548.95	6695.00	19917.00	13222.00	2382.79
2	15.21	30.20	181.70	5487.26	6614.00	19607.00	12993.00	2367.85
3	15.18	30.20	180.98	5465.63	6439.00	19411.00	12972.00	2373.38
4	15.24	30.20	182.41	5508.92	8565.00	21663.00	13098.00	2377.60
5	15.30	30.35	183.85	5579.96	9119.00	22315.00	13196.00	2364.89
6	15.24	30.20	182.41	5508.92	6475.00	19530.00	13055.00	2369.79
7	15.28	30.35	183.37	5565.39	6636.00	19778.00	13142.00	2361.38
8	15.29	30.30	183.61	5563.49	7110.00	20271.00	13161.00	2365.60
9	15.18	30.10	180.98	5447.53	6503.00	19432.00	12929.00	2373.37
10	15.20	30.10	181.46	5461.90	6571.00	19570.00	12999.00	2379.94
PROMEDIO							13076.70	2371.66

Tabla N° 43: Resultados del ensayo de Peso Unitario del diseño con 75% Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE PESO UNITARIO DE CONCRETO								
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO							
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel							
DISEÑO:	: 75% AGR							
N° DE ESPECIMENES:	10							
DESCRIPCION	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - ESTADO FRESCO							
	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	VOL (cm ³)	PESO MOLDE (g)	PESO MOLDE + CONCRETO (g)	PESO CONCRETO (g)	P.U. (kg/cm ³)
1	15.28	30.40	183.37	5574.55	6636.00	19822.00	13186.00	2365.39
2	15.32	30.40	184.33	5603.78	9119.00	22327.00	13208.00	2356.98
3	15.25	30.30	182.65	5534.42	8565.00	21637.00	13072.00	2361.95
4	15.29	30.30	183.61	5563.49	7110.00	20282.00	13172.00	2367.58
5	15.24	30.20	182.41	5508.92	6475.00	19549.00	13074.00	2373.24
6	15.22	30.30	181.94	5512.67	6571.00	19608.00	13037.00	2364.92
7	15.27	30.30	183.13	5548.95	6695.00	19851.00	13156.00	2370.90
8	15.30	30.40	183.85	5589.16	6614.00	19783.00	13169.00	2356.17
9	15.20	30.20	181.46	5480.04	6503.00	19442.00	12939.00	2361.11
10	15.18	30.20	180.98	5465.63	6439.00	19391.00	12952.00	2369.72

Tabla N° 44: Resultados del ensayo de Peso Unitario del diseño con 100% Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE PESO UNITARIO DE CONCRETO								
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO							
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel							
DISEÑO:	: 100% AGR							
N° DE ESPECIMENES:	10							
DESCRIPCION	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - ESTADO FRESCO							
	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	VOL (cm ³)	PESO MOLDE (g)	PESO MOLDE + CONCRETO (g)	PESO CONCRETO (g)	P.U. (kg/cm ³)
1	15.32	30.40	184.33	5603.78	7110.00	20256.00	13146.00	2345.92
2	15.30	30.30	183.85	5570.77	9119.00	22289.00	13170.00	2364.12
3	15.24	30.10	182.41	5490.68	6475.00	19418.00	12943.00	2357.27
4	15.25	30.10	182.65	5497.89	8565.00	21511.00	12946.00	2354.72
5	15.16	30.10	180.50	5433.19	5034.00	17802.00	12768.00	2350.00
6	15.28	30.10	183.37	5519.54	6636.00	19670.00	13034.00	2361.43
7	15.20	30.10	181.46	5461.90	6571.00	19433.00	12862.00	2354.86
8	15.27	30.10	183.13	5512.32	6695.00	19721.00	13026.00	2363.07
9	15.21	30.10	181.70	5469.09	6614.00	19503.00	12889.00	2356.70
10	15.20	30.10	181.46	5461.90	6503.00	19352.00	12849.00	2352.48
PROMEDIO							12963.30	2356.06

ANEXO N° 05: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla N° 45: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 7 días del diseño
Patrón

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO						
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c=210$ kg/cm ² AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
DISEÑO	: PATRON					
EDAD	:07 Días	f'c DE DISEÑO:			210 kg/cm ²	
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA DE ROTURA (kg)	f'c OBT (kg/cm ²)	%DEL f'c	TIPO FALLA
M-1	15.21	181.70	27764.94	152.81	72.77	5
M-2	15.18	180.98	28212.59	155.89	74.23	5
M-3	15.15	180.27	29697.31	164.74	78.45	5
M-4	15.22	181.94	29611.65	162.76	77.50	5
M-5	15.10	179.08	28120.82	157.03	74.78	5
M-6	15.20	181.46	27818.98	153.31	73.00	5
M-7	15.28	183.37	28709.20	156.56	74.55	6
M-8	15.21	181.70	27490.63	151.30	72.05	6
M-9	15.24	182.41	29042.65	159.21	75.82	5
M-10	15.27	183.13	28133.06	153.62	73.15	5
PROMEDIO			28460.18	156.72	74.63	

Tabla N° 46: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 14 días del diseño Patrón

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO						
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c=210$ kg/cm ² AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
DISEÑO	: PATRON					
EDAD	:14 Días	f'c DE DISEÑO:			210 kg/cm ²	
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA DE ROTURA (kg)	f'c OBT (kg/cm ²)	%DEL f'c	TIPO FALLA
M-11	15.20	181.46	34434.92	189.77	90.37	5
M-12	15.18	180.98	35361.85	195.39	93.04	5
M-13	15.11	179.32	34822.42	194.20	92.47	6
M-14	15.23	182.18	36158.25	198.48	94.51	5
M-15	15.20	181.46	36752.75	202.54	96.45	5
M-16	15.22	181.94	36629.36	201.33	95.87	5
M-17	15.27	183.13	34567.49	188.76	89.88	5
M-18	15.30	183.85	36877.15	200.58	95.51	6
M-19	15.28	183.37	36188.84	197.35	93.98	5
M-20	15.22	181.94	35686.12	196.15	93.40	6
PROMEDIO			35747.92	196.45	93.55	

Tabla N° 47: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 28 días del diseño Patrón

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO						
TESIS	:VARIACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c=$ 210 kg/cm ² AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
DISEÑO	: PATRON					
EDAD	:28 Días	f_c DE DISEÑO:			210 kg/cm ²	
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA DE ROTURA (kg)	f_c OBT (kg/cm ²)	%DEL f_c	TIPO FALLA
M-21	15.28	183.37	39500.00	215.41	102.57	5
M-22	15.22	181.94	41050.00	225.63	107.44	5
M-23	15.25	182.65	38635.15	211.52	100.72	5
M-24	15.20	181.46	38791.17	213.77	101.80	6
M-25	15.27	183.13	40222.86	219.64	104.59	5
M-26	15.19	181.22	40760.25	224.92	107.11	6
M-27	15.21	181.70	39189.88	215.69	102.71	5
M-28	15.30	183.85	40394.17	219.71	104.62	5
M-29	15.23	182.18	38564.79	211.69	100.80	5
M-30	15.20	181.46	38664.72	213.08	101.47	5
PROMEDIO			39577.30	217.11	103.38	

Tabla N° 48: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 7 días del diseño con 25% Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO						
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c=$ 210 kg/cm ² AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
DISEÑO	: 25%AGR					
EDAD	:07 Días	f_c DE DISEÑO:			210 kg/cm ²	
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA DE ROTURA (kg)	f_c OBT (kg/cm ²)	%DEL f_c	TIPO FALLA
M-1	15.32	184.33	32297.59	175.21	83.43	5
M-2	15.35	185.06	31369.65	169.51	80.72	5
M-3	15.34	184.82	32113.02	173.76	82.74	6
M-4	15.31	184.09	30570.19	166.06	79.07	5
M-5	15.30	183.85	31208.53	169.75	80.83	5
M-6	15.24	182.41	30653.80	168.04	80.02	6
M-7	15.30	183.85	29716.68	161.63	76.97	5
M-8	15.26	182.89	31187.12	170.52	81.20	5
M-9	15.32	184.33	29380.17	159.38	75.90	5
M-10	15.19	181.22	31345.17	172.97	82.37	5
PROMEDIO			30984.19	168.68	80.33	

Tabla N° 49: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 14 días del diseño con 25% Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO						
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
DISEÑO	: 25%AGR					
EDAD	:14 Días	f_c DE DISEÑO:			210 kg/cm^2	
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (kg)	f_c OBT (kg/cm²)	% DEL f_c	TIPO FALLA
M-11	15.26	182.89	37392.11	204.45	97.36	6
M-12	15.21	181.70	35836.02	197.23	93.92	5
M-13	15.29	183.61	37318.69	203.25	96.78	5
M-14	15.28	183.37	37676.61	205.46	97.84	5
M-15	15.31	184.09	36857.78	200.21	95.34	6
M-16	15.24	182.41	37231.00	204.10	97.19	5
M-17	15.27	183.13	37498.16	204.76	97.50	3
M-18	15.28	183.37	36926.10	201.37	95.89	6
M-19	15.20	181.46	35670.83	196.58	93.61	5
M-20	15.25	182.65	36262.26	198.53	94.54	5
PROMEDIO			36866.96	201.59	96.00	

Tabla N° 50: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 28 días del diseño con 25% Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO						
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
DISEÑO	: 25%AGR					
EDAD	:28 Días	f_c DE DISEÑO:			210 kg/cm^2	
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (kg)	f_c OBT (kg/cm²)	% DEL f_c	TIPO FALLA
M-21	15.32	184.33	42000.00	227.85	108.50	5
M-22	15.22	181.94	41500.00	228.10	108.62	5
M-23	15.31	184.09	42603.90	231.42	110.20	5
M-24	15.28	183.37	42065.49	229.40	109.24	5
M-25	15.22	181.94	41245.63	226.70	107.95	5
M-26	15.27	183.13	43816.35	239.26	113.93	6
M-27	15.21	181.70	41359.84	227.63	108.40	5
M-28	15.30	183.85	42651.83	231.99	110.47	5
M-29	15.28	183.37	41162.02	224.47	106.89	6
M-30	15.25	182.65	42992.41	235.38	112.08	5
PROMEDIO			42139.75	230.22	109.63	

Tabla N° 51: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 7 días del diseño con 50%
Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO						
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c=$ 210 kg/cm ² AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
DISEÑO	: 50%AGR					
EDAD	:07 Días			f_c DE DISEÑO:	210 kg/cm ²	
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (kg)	f_c OBT (kg/cm²)	%DEL f_c	TIPO FALLA
M-1	15.27	183.13	30410.09	166.05	79.07	5
M-2	15.21	181.70	30746.60	169.22	80.58	5
M-3	15.18	180.98	29296.56	161.88	77.08	5
M-4	15.24	182.41	29283.30	160.53	76.44	5
M-5	15.30	183.85	27968.88	152.13	72.44	6
M-6	15.24	182.41	28277.86	155.02	73.82	6
M-7	15.28	183.37	30111.31	164.21	78.19	5
M-8	15.29	183.61	29534.15	160.85	76.59	5
M-9	15.18	180.98	28705.12	158.61	75.53	5
M-10	15.20	181.46	28409.40	156.56	74.55	6
PROMEDIO			29274.33	160.51	76.43	

Tabla N° 52: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 14 días del diseño con 50% Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO						
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c=$ 210 kg/cm ² AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
DISEÑO	: 50%AGR					
EDAD	:14 Días			f_c DE DISEÑO:	210 kg/cm ²	
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (kg)	f_c OBT (kg/cm²)	%DEL f_c	TIPO FALLA
M-11	15.28	183.37	35623.92	194.27	92.51	6
M-12	15.23	182.18	36411.14	199.87	95.18	5
M-13	15.10	179.08	34813.24	194.40	92.57	5
M-14	15.35	185.06	35408.76	191.34	91.11	6
M-15	15.19	181.22	34589.92	190.87	90.89	5
M-16	15.25	182.65	36247.99	198.45	94.50	5
M-17	15.30	183.85	37445.14	203.67	96.98	5
M-18	15.27	183.13	36564.10	199.66	95.08	5
M-19	15.19	181.22	37656.22	207.79	98.95	6
M-20	15.23	182.18	36690.55	201.40	95.91	5
PROMEDIO			36145.10	198.17	94.37	

Tabla N° 53: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 28 días del diseño con 50% Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO						
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c=210$ kg/cm ² AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
DISEÑO	: 50%AGR					
EDAD	:28 Días		f'c DE DISEÑO:		210 kg/cm ²	
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (kg)	f'c OBT (kg/cm²)	%DEL f'c	TIPO FALLA
M-21	15.25	182.65	41000.00	224.47	106.89	6
M-22	15.28	183.37	39040.00	212.90	101.38	5
M-23	15.30	183.85	40493.08	220.25	104.88	5
M-24	15.27	183.13	40682.75	222.15	105.78	5
M-25	15.06	178.13	40313.61	226.31	107.77	6
M-26	15.18	180.98	39314.28	217.23	103.44	6
M-27	15.27	183.13	40500.22	221.15	105.31	5
M-28	15.24	182.41	39105.24	214.38	102.08	3
M-29	15.20	181.46	40014.83	220.52	105.01	5
M-30	15.30	183.85	41104.91	223.57	106.46	5
PROMEDIO			40156.89	220.29	104.90	

Tabla N° 54: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 7 días del diseño con 75% Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO						
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c=210$ kg/cm ² AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
DISEÑO	: 75%AGR					
EDAD	:07 Días		f'c DE DISEÑO:		210 kg/cm ²	
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (kg)	f'c OBT (kg/cm²)	%DEL f'c	TIPO FALLA
M-1	15.10	179.08	27695.60	154.66	73.65	6
M-2	15.14	180.03	28650.05	159.14	75.78	6
M-3	15.18	180.98	25443.03	140.58	66.94	5
M-4	15.10	179.08	27663.98	154.48	73.56	5
M-5	15.12	179.55	28489.96	158.67	75.56	6
M-6	15.20	181.46	27626.25	152.25	72.50	5
M-7	15.30	183.85	28691.86	156.06	74.31	5
M-8	15.28	183.37	27252.02	148.61	70.77	5
M-9	15.23	182.18	28428.77	156.05	74.31	6
M-10	15.32	184.33	27038.90	146.68	69.85	5
PROMEDIO			27698.04	152.72	72.72	

Tabla N° 55: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 14 días del diseño con 75% Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO						
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
DISEÑO	: 75%AGR					
EDAD	:14 Días			f_c DE DISEÑO:	210 kg/cm^2	
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (kg)	f_c OBT (kg/cm²)	%DEL f_c	TIPO FALLA
M-11	15.30	183.85	33386.65	181.59	86.47	3
M-12	15.21	181.70	32476.04	178.74	85.11	5
M-13	15.18	180.98	32047.76	177.08	84.32	6
M-14	15.29	183.61	34507.32	187.93	89.49	6
M-15	15.16	180.50	32592.29	180.56	85.98	6
M-16	15.12	179.55	33120.51	184.46	87.84	5
M-17	15.08	178.60	32304.73	180.87	86.13	5
M-18	15.15	180.27	31872.37	176.81	84.19	5
M-19	15.10	179.08	33403.99	186.53	88.83	6
M-20	15.12	179.55	32214.99	179.42	85.44	6
PROMEDIO			32792.67	181.40	86.38	

Tabla N° 56: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 28 días del diseño con 75% Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO						
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
DISEÑO	: 75%AGR					
EDAD	:28 Días			f_c DE DISEÑO:	210 kg/cm^2	
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (kg)	f_c OBT (kg/cm²)	%DEL f_c	TIPO FALLA
M-21	15.28	183.37	36000.00	196.32	93.49	5
M-22	15.32	184.33	38000.00	206.15	98.17	5
M-23	15.25	182.65	36010.39	197.15	93.88	6
M-24	15.29	183.61	35561.72	193.68	92.23	5
M-25	15.24	182.41	38005.98	208.35	99.21	5
M-26	15.22	181.94	36656.89	201.48	95.94	6
M-27	15.27	183.13	35880.89	195.93	93.30	6
M-28	15.30	183.85	37433.92	203.61	96.96	5
M-29	15.20	181.46	35683.06	196.65	93.64	5
M-30	15.18	180.98	37260.57	205.88	98.04	5
PROMEDIO			36649.34	200.52	95.49	

Tabla N° 57: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 7 días del diseño con 100% Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO						
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
DISEÑO	: 100%AGR					
EDAD	:07 Días			f_c DE DISEÑO:	210 kg/cm^2	
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (kg)	f_c OBT (kg/cm²)	%DEL f_c	TIPO FALLA
M-1	15.10	179.08	25693.88	143.48	68.32	5
M-2	15.00	176.71	24405.98	138.11	65.77	5
M-3	15.14	180.03	27357.05	151.96	72.36	5
M-4	15.15	180.27	27892.40	154.73	73.68	6
M-5	15.15	180.27	26303.68	145.92	69.48	5
M-6	15.28	183.37	26968.53	147.07	70.03	5
M-7	15.32	184.33	27997.43	151.88	72.33	6
M-8	15.24	182.41	26421.96	144.85	68.97	5
M-9	15.30	183.85	26037.53	141.62	67.44	5
M-10	15.16	180.50	26799.26	148.47	70.70	5
PROMEDIO			26587.77	146.81	69.91	

Tabla N° 58: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 14 días del diseño con 100% Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO						
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
DISEÑO	: 100%AGR					
EDAD	:14 Días			f_c DE DISEÑO:	210 kg/cm^2	
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (kg)	f_c OBT (kg/cm²)	%DEL f_c	TIPO FALLA
M-11	15.32	184.33	33820.03	183.47	87.37	6
M-12	15.30	183.85	31283.99	170.16	81.03	5
M-13	15.24	182.41	32484.20	178.08	84.80	6
M-14	15.25	182.65	32837.02	179.78	85.61	5
M-15	15.16	180.50	32094.67	177.81	84.67	5
M-16	15.28	183.37	32196.64	175.58	83.61	6
M-17	15.20	181.46	32619.82	179.76	85.60	5
M-18	15.27	183.13	31709.21	173.15	82.45	5
M-19	15.21	181.70	32814.59	180.60	86.00	5
M-20	15.20	181.46	34629.69	190.84	90.88	5
PROMEDIO			32648.99	178.92	85.20	

Tabla N° 59: Resultados de resistencia a la compresión del concreto a los 28 días del diseño con 100% Agregado Grueso Reciclado

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO						
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c=$ 210 kg/cm ² AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
DISEÑO	: 100%AGR					
EDAD	:28 Días			f_c DE DISEÑO:	210 kg/cm ²	
CODIGO	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (kg)	f_c OBT (kg/cm²)	% DEL f_c	TIPO FALLA
M-21	15.21	181.70	34300.00	188.78	89.89	5
M-22	15.10	179.08	34200.00	190.98	90.94	5
M-23	15.30	183.85	34938.67	190.03	90.49	5
M-24	15.30	183.85	35933.91	195.45	93.07	5
M-25	15.12	179.55	37215.70	207.27	98.70	6
M-26	15.24	182.41	34834.65	190.96	90.94	5
M-27	15.32	184.33	35578.03	193.01	91.91	5
M-28	15.28	183.37	34548.11	188.40	89.72	5
M-29	15.22	181.94	35816.65	196.86	93.74	3
M-30	15.17	180.74	34509.36	190.93	90.92	6
PROMEDIO			35187.51	193.27	92.03	

ANEXO N° 06: ENSAYO A COMPRESIÓN UNIAXIAL DE NÚCLEOS DE CONCRETO ENDURECIDO

Tabla N° 60: Resultados de resistencia a la compresión del Concreto Reciclado

ENSAYO A COMPRESION UNIAXIAL DE NUCLEOS O CORAZONES DIAMANTINOS DE CONCRETO ENDURECIDO						
TESIS	:VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE UN CONCRETO COMPACTADO $f_c = 210$ kg/cm ² AL USAR AGREGADO GRUESO RECICLADO					
TESISTA	:AGUILAR CORO, Diana Isabel					
LUGAR	:Jr Cinco Esquinas Cdra 10- CAJAMARCA-CAJAMARCA					
ENSAYO N°	DIÁMETRO-d (cm)	Altura - h (cm)	CARGA DE ROTURA (kg)	ESBELTEZ (h/d)	FACTOR DE CORRECCIÓN POR ESBELTEZ	RESISTENCIA CORREGIDA (kg/cm ²)
M-1	9.97	17.75	15662.90	1.78	0.982	197.10
M-2	9.96	17.70	15045.97	1.78	0.982	189.70
M-3	10.00	17.90	15473.23	1.79	0.983	193.70
					PROMEDIO	193.50

ANEXO N° 07: HOJA TECNICA CEMENTO PORTLAND TIPO I



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
 Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
 Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
 Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04
 Versión 03

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
 Pacasmayo, 20 de Setiembre del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.3	Máximo 6.0
SO3	%	2.7	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.92	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	7	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie Especifica	cm ² /g	3750	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.10	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	26.1 (266)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	33.9 (346)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	42.3 (431)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	138	Mínimo 45
Fraguado Final	min	267	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-08-2017 al 31-08-2017.

La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Julio 2017.

(*) Requisito opcional.

Ing. Gabriel G. Mansilla Fiestas
 Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por :

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

ANEXO N° 08: PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía N° 1: Obtención de concreto reciclado



Fotografía N° 2: Extracción de núcleo de concreto endurecido



Fotografía N° 3: Determinación de la resistencia a compresión del núcleo de concreto endurecido



Fotografía N° 4: Trituración de concreto reciclado para obtener agregado grueso reciclado



Fotografía N° 5: Extracción de agregados de la Cantera Aguilar – Chilete



Fotografía N° 6: Ensayo de análisis granulométrico de agregados



Fotografía N° 7: Ensayo de peso específico de agregado fino



Fotografía N° 8: Ensayo de Peso específico del agregado grueso



Fotografía N° 9: Ensayo de Peso unitario suelto del agregado fino



Fotografía N° 10: Ensayo de Peso unitario suelto del agregado grueso



Fotografía N° 11: Ensayo de Peso unitario compactado del agregado fino



Fotografía N° 12: Ensayo de Peso unitario compactado del agregado grueso reciclado



Fotografía N° 13: Ensayo de porcentaje de finos que pasan el tamiz N°200.



Fotografía N° 14: Determinación del contenido de humedad mediante el ensayo Proctor Modificado



Fotografía N° 15: Ensayo de Proctor Modificado



Fotografía N° 16: Toma de muestras representativas para la obtención del contenido de humedad



Fotografía N°17: Mezclado de materiales del concreto



Fotografía N° 18: Elaboración y compactación de los especímenes de concreto.



Fotografía N° 19: Elaboración y compactación de los especímenes de concreto..



Fotografía N° 20: Probetas de concreto compactado elaboradas con agregados naturales



Fotografía N° 21: Probetas de concreto compactado elaboradas con reemplazo de agregados grueso por agregado grueso reciclado



Fotografía N° 22: Identificación y codificación de probetas de concreto



Fotografía N° 23: Curado de probetas de concreto con cal



Fotografía N° 24: Determinación del peso de probetas, para calcular el peso unitario del concreto fresco



Fotografía N° 25: Máquina Universal para determinar resistencia a la compresión



Fotografía N° 26: Ensayo de resistencia a la compresión



Fotografía N° 27: Falla tipo 5