

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“INFLUENCIA DEL REEMPLAZO DE CEMENTO POR PUZOLANA
VOLCÁNICA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO
COMPACTADO $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. BRIONES ARMAS, DIEGO JOSÉ

ASESOR:

Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

CAJAMARCA – PERÚ

2023

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y hermano, por su apoyo incondicional para cumplir mis metas personales y académicas.

A mi familia, amigos, asesor y a cada una de las personas que me ayudaron a realizar esta investigación.

Por último, a mi alma mater, a la Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a mi escuela de Ingeniería Civil. Por la exigencia académica en cada uno de los cursos dictados en mi carrera profesional.

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mis padres, por brindarme siempre el apoyo en cada paso de mi vida.

A mi hermano Renzo por darme motivos para no rendirme.

A mi hermana Karlita, que desde el cielo siempre nos cuidará

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	x
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Planteamiento del problema.....	13
1.2. Formulación del problema.....	14
1.3. Hipótesis general.....	14
1.4. Justificación de la investigación.....	14
1.5. Alcances de la investigación.....	15
1.6. Objetivos.....	16
1.6.1. Objetivo general.....	16
1.6.2. Objetivos específicos.....	16
1.7. Descripción de contenidos de los capítulos:.....	16
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes teóricos.....	18
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	18
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	19
2.1.3. Antecedentes locales.....	20
2.2. Bases teóricas.....	21
2.2.1. Concreto Compactado con Rodillo (CCR):.....	21
2.2.2. Propiedades del concreto compactado.....	25
2.2.3. Puzolana volcánica:.....	28
2.2.4. Dosificación de mezclas:.....	32
2.3. Definición de términos básicos.....	33
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1. Ubicación geográfica.....	35

3.1.1. Ubicación geográfica de la investigación	35
3.1.2. Ubicación geográfica de la cantera proveedora de agregados	36
3.1.3. Ubicación geográfica del origen de la puzolana volcánica	36
3.2. Tiempo de realización de la investigación.....	37
3.3. Metodología.....	37
3.3.1. Tipo, nivel y diseño de investigación.....	37
3.3.2. Población de estudio.....	37
3.3.3. Muestra.....	38
3.3.4. Unidad de análisis.....	38
3.4. Procedimiento.....	39
3.4.1. Selección de agregados y material cementante (puzolana volcánica).....	40
3.4.1.1. Agregado fino y grueso.....	40
3.4.1.2. Material cementante (puzolana volcánica).....	40
3.4.2. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados	40
3.4.2.1. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso	40
3.4.2.2. Especificaciones para agregados en concreto	40
3.4.2.3. Material más fino que pasa por el tamiz N.º 200.....	41
3.4.2.4. Contenido de humedad de agregados.....	41
3.4.2.5. Peso específico y absorción del agregado	41
3.4.2.6. Peso unitario del agregado.....	44
3.4.2.7. Resistencia a la degradación de agregados por abrasión.....	45
3.4.3. Diseño de ccr mediante la metodología de compactación de suelos.....	46
3.4.3.1. Gradación óptima de los agregados	47
3.4.3.2. Contenido de materiales cementicios.....	47
3.4.3.3. Contenido de humedad óptima	47
3.4.3.4. Proporción de los componentes de la mezcla.....	487
3.4.4. Dosificación de concreto – diseño de ccr mediante metodología de compactación de suelos.....	49
3.4.5. Elaboración de probetas cilíndricas.....	50
3.4.6. Determinación del peso unitario	511
3.4.7. Resistencia a la compresión de probetas.....	51
3.5. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados	51
3.5.1. Tratamiento y análisis de datos	51

3.5.2. Presentación de resultados	522
3.5.2.1. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados y puzolana volcánica	522
3.5.2.2. Dosificación del concreto – diseño de ccr mediante metodología de compactación de suelos	52
3.5.2.3. Peso unitario del concreto fresco	533
3.5.2.4. Resistencia a la compresión	544
CAPITULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	58
4.1. Análisis de los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados y puzolana	58
4.2. Análisis de los resultados obtenidos de la dosificación del concreto	58
4.3. Análisis de los resultados obtenidos del ensayo de peso unitario del concreto fresco ..	59
4.4. Análisis de los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión	59
4.5. Discusión de resultados contrastados con la hipótesis general	60
4.6. Discusión de resultados contrastados con antecedentes teóricos	60
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
5.1. Conclusiones	62
5.2. Recomendaciones	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXOS	68
Anexo N°01: Propiedades de los agregados	68
Anexo N°02: Ensayos para la dosificación por la metodología de compactación de suelos en concreto compactado	79
Anexo N°03: Diseño de mezclas	81
Anexo N°04: Ensayo de peso unitario del concreto	94
Anexo N°05: Resistencia a la compresión del concreto	96
Anexo N°06: Certificado de calibración – máquina para pruebas de abrasión	102
Anexo N°07: Ficha técnica cemento pacasmayo Tipo I	105
Anexo N°08: Constancia laboratorio de materiales	106
Anexo N°09: Panel fotográfico	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°01: Compactación con rodillo vibratorio.....	25
Figura N°02: Compactación con rodillo neumático.....	25
Figura N°03: Patrones típicos de fracturas	27
Figura N°04: Apisonadores utilizado en la elaboración de probetas de CCR (a) Apisonador Vibrador Hilti (b) Apisonador de Polo Neumático	28
Figura N°05: Ceniza volante y micrografía de partículas de ceniza volante (aumento 1000X)	30
Figura N°06: Vista de la microsíllice y su micrografía de partículas (aumento 20000X).....	31
Figura N°07: Vista de la micrografía de la ceniza de cáscara de arroz quemada en el horno del laboratorio de la UNI - FIC	31
Figura N°08: Región y Provincia de Cajamarca.....	315
Figura N°09: Distritos de Cajamarca.....	315
Figura N°10: Laboratorio de Materiales – Universidad Nacional de Cajamarca.....	35
Figura N°11: Ubicación de la cantera “Aguilar”	36
Figura N°12: Ubicación del Taller de Esculturas	37
Figura N°13: Diagrama del procedimiento realizado en la investigación	39
Figura N°14: Peso Unitario del Concreto Fresco	54
Figura N°15: Desv. Estándar - % de Reemplazo (a los 7 días)	55
Figura N°16: Desv. Estándar - % de Reemplazo (a los 14 días)	55
Figura N°17: Desv. Estándar - % de Reemplazo (a los 21 días)	56
Figura N°18: Resistencia a la compresión – Edad de Curado (Diag. Líneas)	57
Figura N°19: Resistencia a la compresión – Edad de Curado (Graf. Barras).....	57
Figura N°20: Ensayo N°01. Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Fino.....	68
Figura N°21: Ensayo N°02. Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Fino.....	69
Figura N°22: Ensayo N°03. Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Fino.....	70
Figura N°23: Ensayo N°01. Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Grueso. 73	
Figura N°24: Ensayo N°02. Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Grueso. 74	
Figura N°25: Ensayo N°03. Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Grueso. 75	
Figura N°26: Gradación Óptima de Agregados.....	79
Figura N°27: Curva de Compactación – Proctor Modificado	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°01: Factores que afectan las propiedades del CCR	26
Tabla N°02: Muestra en estudio	38
Tabla N°03: Gradación de las muestras de ensayo	46
Tabla N°04: Propiedades físicas y mecánicas de los agregados y puzolana volcánica	52
Tabla N°05: Dosificación del Concreto	53
Tabla N°06: Peso Unitario del concreto Fresco	53
Tabla N°07: Resistencia a la compresión – Edad: 7 días de curado	54
Tabla N°08: Resistencia a la compresión – Edad: 14 días de curado	55
Tabla N°09: Resistencia a la compresión – Edad: 28 días de curado	56
Tabla N°10: Resistencia a la compresión - Resumen	56
Tabla N°11: Comparación entre porcentajes obtenidos de 280 kg/cm^2 en diferentes dosificaciones y edades de curado	59
Tabla N°12: Ensayo N°01 de Análisis Granulométrico del Agregado Fino	68
Tabla N°13: Ensayo N°02 de Análisis Granulométrico del Agregado Fino	69
Tabla N°14: Ensayo N°03 de Análisis Granulométrico del Agregado Fino	70
Tabla N°15: Contenido de Humedad del Agregado Fino	71
Tabla N°16: Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Fino	71
Tabla N°17: Ensayo de Peso Específico del Agua	71
Tabla N°18: Factor del Molde para Agregado Fino	72
Tabla N°19: Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Fino	72
Tabla N°20: Peso Unitario Compactado del Agregado Fino	72
Tabla N°21: Porcentaje de Material que pasa el Tamiz N°200 del Agregado Fino	72
Tabla N°22: Ensayo N°01 de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso	73
Tabla N°23: Ensayo N°02 de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso	74
Tabla N°24: Ensayo N°03 de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso	75
Tabla N°25: Contenido de Humedad del Agregado Grueso	76
Tabla N°26: Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso	76
Tabla N°27: Ensayo de Peso Específico del Agua	76
Tabla N°28: Factor del Molde para Agregado Grueso	77
Tabla N°29: Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Grueso	77
Tabla N°30: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso	77

Tabla N°31: Porcentaje de Material que pasa el Tamiz N°200 del Agregado Grueso	77
Tabla N°32: Ensayo de Abrasión del Agregado Grueso	78
Tabla N°33: Contenido de Humedad de la Puzolana Volcánica	78
Tabla N°34: Ensayo de Peso Específico y Absorción de la Puzolana Volcánica.....	78
Tabla N°35: Gradación Óptima de los Agregados	79
Tabla N°36: Ensayo de Compactación – Proctor Modificado.....	79
Tabla N°37: Ensayo de Peso Unitario – Concreto Patrón	94
Tabla N°38: Ensayo de Peso Unitario – Concreto con Reemplazo del 8%	94
Tabla N°39: Ensayo de Peso Unitario – Concreto con Reemplazo del 12%	95
Tabla N°40: Ensayo de Peso Unitario – Concreto con Reemplazo del 16%	95
Tabla N°41: Resistencia a la Compresión – Concreto Patrón (07 días)	96
Tabla N°42: Resistencia a la Compresión – Concreto Patrón (14 días)	96
Tabla N°43: Resistencia a la Compresión – Concreto Patrón (28 días)	97
Tabla N°44: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 08% de puzolana (07 días)	97
Tabla N°45: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 08% de puzolana (14 días)	98
Tabla N°46: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 08% de puzolana (28 días)	98
Tabla N°47: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 12% de puzolana (07 días)	99
Tabla N°48: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 12% de puzolana (14 días)	99
Tabla N°49: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 12% de puzolana (28 días)	100
Tabla N°50: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 16% de puzolana (07 días)	100
Tabla N°51: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 16% de puzolana (14 días)	101
Tabla N°52: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 16% de puzolana (28 días)	101

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N°01: Obtención y traslado del agregado	107
Fotografía N°02: Lugar asignado para acopio de materiales.....	107
Fotografía N°03: Acopio de agregados	108
Fotografía N°04: Ensayo de granulometría de agregados	108
Fotografía N°05: Ensayo para determinar el material que pasa por el tamiz N°200	109
Fotografía N°06: Ensayo de peso específico de agregado fino y puzolana.....	109
Fotografía N°07: Ensayo de peso específico de agregado grueso	110
Fotografía N°08: Ensayo de abrasión del agregado grueso (Laboratorio GUERSAN).....	110
Fotografía N°09: Tamizado de roca traquita – puzolana volcánica.....	111
Fotografía N°10: Peso unitario del agregado fino y grueso.....	111
Fotografía N°11: Proctor modificado con el 13.50% de cemento	112
Fotografía N°12: Elaboración de anillo de extensión para probetas	112
Fotografía N°13: Compactado por capas en elaboración de concreto compactado	113
Fotografía N°14: Elaboración de probetas de concreto compactado.....	113
Fotografía N°15: Probetas cilíndricas de concreto compactado.....	114
Fotografía N°16: Peso de molde de probetas para determinar el peso unitario del concreto fresco	114
Fotografía N°17: Curado de probetas en pozo recubierto por plástico.....	115
Fotografía N°18: Rotura de probetas – Falla tipo 2.....	115
Fotografía N°19: Rotura de probetas de concreto compactado en máquina de compresión	116

RESUMEN

La presente investigación se realizó teniendo como objetivo principal, el determinar la influencia del reemplazo de cemento por puzolana volcánica, en los porcentajes de 8%, 12% y 16% de su peso en la dosificación de mezclas, en la elaboración de un concreto compactado para una resistencia propuesta de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$; para luego determinar sus resistencias a compresión a las edades de curado de 7, 14 y 28 días. Es por ello que, se realizó la elaboración de 120 probetas cilíndricas de concreto compactado, a través de la dosificación mediante pruebas de compactación de suelos descritas en la norma ACI 325-10R, las cuales fueron sometidas al ensayo de resistencia a compresión. Obteniéndose como resultados, que la dosificación con mejor comportamiento a la resistencia a compresión fue la del concreto compactado con reemplazo del 8% de cemento por puzolana volcánica, con un resultado promedio de resistencia a compresión de 301.41 kg/cm^2 a los 28 días de curado; representando un aumento de 5.89% en la resistencia a compresión, en relación al concreto patrón a la misma edad de curado. En el caso del reemplazo del 12%, se obtuvo una resistencia a la compresión de 289.86 kg/cm^2 , representando así un aumento del 1.84% en relación al concreto patrón. Por otro lado, al reemplazar el 16% de cemento por puzolana volcánica se obtuvo una disminución relativamente baja de 0.75% de la resistencia a compresión en relación al concreto patrón a la edad de curado de 28 días. Concluyendo así, que el reemplazo del 8% de cemento por puzolana volcánica influye aumentando su resistencia a compresión del concreto compactado en mayor porcentaje que el resto de dosificaciones.

Palabras Claves: Concreto compactado, resistencia a la compresión, puzolana volcánica, influencia, edad de curado.

ABSTRACT

The present investigation was carried out with the main objective of determining the influence of the replacement of cement by volcanic pozzolan, in the percentages of 8%, 12% and 16% of its weight in the dosage of mixtures, in the elaboration of a compacted concrete for a proposed resistance of $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$; to later determine their compressive strength at the curing ages of 7, 14 and 28 days. That is why, the elaboration of 120 cylindrical test pieces of compacted concrete was carried out, through the dosage through soil compaction tests described in the ACI 325-10R standard, which were subjected to the compression resistance test. Obtaining as results, that the dosage with the best behavior to compressive strength was that of compacted concrete with replacement of 8% of cement by volcanic pozzolan, with an average result of compressive strength of 301.41 kg/cm^2 at 28 curing days; representing a 5.89% increase in compressive strength, in relation to the standard concrete at the same curing age. In the case of 12% replacement, a compressive strength of 289.86 kg/cm^2 was obtained, thus representing an increase of 1.84% in relation to the standard concrete. On the other hand, when replacing 16% of cement by volcanic pozzolan, a relatively low decrease of 0.75% in compressive strength was obtained in relation to the standard concrete at a curing age of 28 days. Concluding in this way, that the replacement of 8% of cement by volcanic pozzolan influences increasing its resistance to compression of the compacted concrete in a higher percentage than the rest of dosages.

Keywords: Compacted concrete, influence on compressive strength, volcanic pozzolan, influence, curing age.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El concreto en la actualidad y desde hace mucho tiempo atrás, es uno de los principales materiales en cuanto al sector construcción esto debido a que nos ofrece una gran resistencia al esfuerzo de compresión, además de ser manejable y versátil a cualquier forma. Es por ello su uso en la mayoría de estructuras de nuestro alrededor ya sean viviendas, puentes, pavimentaciones, obras hidráulicas, entre otras.

En la necesidad de mejorar las propiedades del concreto, como lo es la resistencia a compresión, es que se busca analizar materiales que, al ser reemplazados parcialmente en los elementos conformantes a una mezcla de concreto, influyan aumentando su resistencia. De dichos elementos conformantes de una mezcla de concreto, uno de los principales es el cemento, por ello es necesario una correcta elección del mismo. La norma ASTM C150 nos describe la existencia de ocho tipos de cemento Portland, siendo el más común el Tipo I.

En la búsqueda de reemplazar parcialmente el cemento por otro material con características similares, donde la resistencia y propiedades del concreto no se vean afectadas, es que se plantea el uso de la puzolana volcánica como una opción viable al alcance de nuestra realidad y ecosistema.

Bernabeu y Quiñonez (2015) mencionan que “los materiales puzolánicos, finamente molidos, mezclados con el cemento Portland, permiten elaborar morteros y concreto de buenas propiedades, que pueden llegar a superar a los de aquellos que no contienen puzolanas” (p. 175). Es por ello que en la presente investigación la puzolana volcánica fue adquirida de la trituración de la roca traquita, estos residuos al ser utilizados como material en reemplazo parcial del cemento, representa una opción compatible al ser mezclado con el cemento Portland.

Por otro lado, si bien es cierto el uso del concreto en el Perú es masivo, sin embargo, aún existe desconocimiento o falta de práctica en la aplicación de métodos relativamente nuevos, que ayudarán en mejorar significativamente sus propiedades. Este es el caso del denominado Concreto Compacto con Rodillo (CCR).

El Concreto Compactado es un moderno procedimiento de construcción donde se adquieren rendimientos particulares. En sus propiedades distinguidas se puede descubrir una considerable resistencia en sus propiedades mecánicas con la asistencia mínima de cemento y también la utilidad de permitir colocar considerables volúmenes en una duración de tiempo reducido. (Gurreonero, 2020, p.15)

Además, en cuanto al uso de puzolana en la mezcla del concreto compactado, se dice que puede servir en reemplazo parcial del cemento y como un aditivo para aumento de finos y mejorar la maniabilidad al dosificar mezclas para volúmenes mínimos de pasta. (Escalaya 2006, p.13)

Es por ello, que en la presente investigación se propone el uso de la puzolana volcánica en reemplazo parcial del cemento en un diseño de Concreto Compactado con Rodillo (CCR). Para así lograr una influencia positiva en la resistencia a la compresión, además de una reducción de la cantidad de cemento necesaria.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿En cuánto influye el reemplazo porcentual del 8%, 12% y 16% de cemento por puzolana volcánica en la resistencia a compresión del concreto compactado $f^c=280 \text{ kg/cm}^2$ en la ciudad de Cajamarca?

1.3. HIPÓTESIS GENERAL

El reemplazo porcentual del 8%, 12% y 16% de cemento por puzolana volcánica en un concreto compactado $f^c=280 \text{ kg/cm}^2$, influye positivamente aumentando su resistencia a compresión en más del 5%.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la búsqueda por mejorar las propiedades del concreto, en cuanto a resistencia a la compresión, es que se propuso el reemplazo porcentual en peso del cemento por la puzolana volcánica. Debido a que dicho material finamente molido, según investigaciones previas, cumplen con funciones cementicias y pueden ser mezcladas con el cemento Portland. Además, la puzolana volcánica la podemos encontrar con facilidad en nuestro medio local a través de los residuos de los artesanos locales, de roca traquita. Lo cual hace que el material sea de fácil acceso en la ciudad de Cajamarca.

Por otro lado, el concreto compactado, por ser una técnica relativamente nueva en el Perú, aún es poco aplicada en nuestra sociedad a pesar de evidenciar buenos resultados en cuanto a la resistencia a compresión. Por ejemplo, Portland Cement Association – PCA (2010) menciona que “la resistencia a la compresión del concreto compactado es comparable a la del concreto convencional, y normalmente varía de 28 a 41 MPa (280 kg/cm^2 a 420 kg/cm^2)”.

En virtud de lo antes mencionado, la presente investigación buscó a través del reemplazo porcentual en peso de cemento por puzolana volcánica en el concreto compactado $f^c = 280 \text{ kg/cm}^2$, influir de manera positiva la resistencia a compresión del concreto compactado con una menor cantidad de uso del cemento, reemplazado parcialmente por puzolana volcánica, proveniente de la trituración de los desperdicios de roca traquita usados en la fabricación de artesanías de piedra, lo cual representa una alternativa de gran valor ambiental en nuestra sociedad.

1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

El principal alcance que se buscó en esta investigación es estudiar el comportamiento a la resistencia a compresión del concreto compactado $f^c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con reemplazo de cemento por puzolana volcánica en porcentajes de 8%, 12% y 16%. La evaluación se llevó a cabo en diferentes edades, las cuales fueron a los 7, 14 y 28 días.

La presente tesis se desarrolló mediante aspectos teóricos, con la revisión de investigaciones ya realizadas, además de la aplicación de normas técnicas en cada propiedad de los agregados y del concreto compactado.

La aplicación de las normas se realizó de manera experimental, a través de los ensayos de laboratorio. Elaborándose 120 probetas cilíndricas de concreto compactado, 30 para cada variación; es decir, para el concreto patrón y para cada uno de los reemplazos del 8%, 12% y 16% de cemento por puzolana volcánica. Estas probetas fueron puestas a prueba en la máquina a compresión, con la finalidad de evaluar su resistencia y así determinar mediante la comparación de resultados la influencia del reemplazo porcentual del cemento por puzolana volcánica en la resistencia a compresión.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la influencia del reemplazo porcentual del 8%, 12% y 16% de cemento por puzolana volcánica en la resistencia a compresión del concreto compactado $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ en la ciudad de Cajamarca.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la influencia del reemplazo del 8% de cemento por puzolana volcánica en la resistencia a compresión del concreto compactado $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, a los 7, 14 y 28 días de curado.
- Determinar la influencia del reemplazo del 12% de cemento por puzolana volcánica en la resistencia a compresión del concreto compactado $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, a los 7, 14 y 28 días de curado.
- Determinar la influencia del reemplazo del 16% de cemento por puzolana volcánica en la resistencia a compresión del concreto compactado $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, a los 7, 14 y 28 días de curado.

1.7. DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS DE LOS CAPÍTULOS:

- Capítulo I: Introducción.
En este capítulo se presenta el planteamiento y la formulación del problema, la justificación, los alcances de la investigación y los objetivos de la misma.
- Capítulo II: Marco Teórico.
En este capítulo se presenta los antecedentes teóricos de la presente investigación a nivel internacional, nacional y local; además de las bases teóricas que fundamentan la investigación y por último la definición de términos básicos.
- Capítulo III: Materiales y Métodos.
En este capítulo se presenta la ubicación geográfica donde se realizó la investigación, el tiempo en el cual se desarrolló; además del procedimiento realizado y el tratamiento, análisis y presentación de datos y resultados.

- **Capítulo IV: Análisis y Discusión de Resultados**

En este capítulo se realiza el análisis y discusión de los resultados obtenidos a través de los ensayos de laboratorio, los cuales son descritos y explicados.

- **Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.**

En este capítulo se establece las conclusiones de la investigación de acuerdo a los objetivos planteados; además se describe las recomendaciones consideradas oportunas para un mejor desarrollo de investigaciones relacionadas al tema en el futuro.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- **Borré (2017)**, en su trabajo de investigación “Estudio de la resistencia mecánica del hormigón compactado con rodillo utilizando material asfáltico molido para base de pavimento” realizado en Brasil. Destaca al concreto compactado con rodillo como un material donde su propuesta es reducir el consumo de cemento y tiempo de ejecución, y aun así tener una larga vida útil sin necesidad de mantenimiento, por lo tanto, lo convierte en una propuesta económica y técnica. En su estudio analiza el comportamiento de tres resistencias mecánicas del concreto compactado, con el reemplazo parcial de agregado grueso por triturado, en los porcentajes de 10% y 30%. Los resultados que obtiene son que el rendimiento de la mezcla con 10% de molienda es superior a los convencionales, sin embargo, hay una caída en cuanto a resistencia cuando la cantidad de molienda sube a 30%.
- **Castro (2020)**, en su trabajo de titulación “Estudio de la sustitución parcial de cemento de alta resistencia inicial por puzolana de ceniza volcánica en el diseño de hormigón” realizado en Ecuador. Menciona como objetivo principal de su investigación, evaluar el comportamiento de hormigón diseñado con reemplazo de puzolana de origen volcánico por cemento con propiedades de alta resistencia inicial, es por ello que realiza un análisis de las propiedades físicas del cemento y agregados para resistencias de $f'c = 14$ y 24 MPa, con reemplazo de porcentajes del 5%, 10%, 15% y 20% de puzolana de origen volcánico para las edades de 3, 7, 14 y 28 días, y así observar la variabilidad de propiedades mediante pruebas de compresión simple y módulo de elasticidad. Concluye exponiendo que los valores de resistencia a la edad de 28 días logran desarrollar su resistencia de diseño de 14 y 24 MPa, con excepción de los casos con el 20% de puzolana, donde quedan a un 93.73% y 97.16% de sus respectivas resistencias de diseño.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

- **Espinoza (2019)**, en su tesis titulada “Análisis del comportamiento mecánico del concreto compactado con rodillo (CCR) para la rehabilitación de las vías urbanas en la ciudad de Huánuco – 2017” realiza tres diseños de mezclas con 10%, 12% y 14% de cemento a tres y cuatro capas de compactado para poder determinar las propiedades físico – mecánicas del CCR. Llegando a concluir que el concreto relativamente seco con un bajo contenido de cemento, al ser sometido al esfuerzo de resistencia a compresión puede llegar a valores similares a uno construido bajo la técnica convencional. Las pruebas fueron realizadas a las edades de 7, 14 y 28 días de curado, donde el moldeo de los especímenes para la elaboración del CCR, con referencia a un concreto convencional $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, que muestra mejores resultados fue el de 14% de cemento y a cuatro capas de compactado con vibro compactador, llegando a un valor de $f'c = 222 \text{ kg/cm}^2$.
- **Requejo (2021)**, en su tesis titulada “Efecto en las propiedades físicas – mecánicas del concreto con resistencias 210 y 280 kg/cm^2 al sustituir material cementicio por costra producto de la elaboración del clínker” realizada en Trujillo. Se elaboró especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto para poder analizar sus propiedades, donde la costra adicionada al ensayo se obtuvo de la zona de desmonte de la empresa Cementos Pacasmayo S.A.A. la cual fue molida a una determinada finura. Las proporciones de sustitución fueron de 0%, 20%, 35% y 50% y las edades de evaluación a la resistencia a compresión fue 1, 3, 7 y 28 días. Teniendo como conclusión que el porcentaje de sustitución óptimo de costra por cemento fue al 20%, ya que en este porcentaje se presentó un aumento de resistencia a la compresión, mantiene la resistencia a flexión y permeabilidad, además que es un 10% más económico que el diseño patrón e influye positivamente en el cuidado del medio ambiente ya que reduce la emisión del CO₂ al ambiente ya que utiliza menor cantidad de cemento.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

- **Aguilar (2019)**, en su tesis titulada: “Variación de la resistencia a compresión de un concreto compactado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ al usar agregado grueso reciclado” realizada en la ciudad de Cajamarca. Propone el reciclaje de agregados proveniente de la trituración del concreto al ser una alternativa económica y ambiental. Por lo que presenta como objetivo de su investigación, determinar la variación de la resistencia a compresión del concreto compactado, al reemplazar el agregado grueso en porcentajes de 25, 50, 75 y 100% por agregado grueso reciclado para una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y usarlo en pavimentos rígidos. Se elaboraron especímenes cilíndricos de concreto para ser evaluados a las edades de 7, 14 y 28 días de curado, teniendo como resultado que el concreto curado a los 28 días y con 25% de reemplazo de agregado reciclado, presentó un aumento en su resistencia a compresión de 6.04% con respecto del concreto elaborado con agregados naturales, en cambio al reemplazar el 100% de agregado reciclado, presentó una disminución en cuanto a su resistencia a compresión de 10.98%.
- **Mendoza (2017)**, en su tesis titulada “Determinación de las propiedades físico – mecánicas de un concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de puzolana volcánica en Cajamarca” realizada en la ciudad de Cajamarca. Investigó sobre la comparación entre un concreto convencional y un concreto con la adición de puzolana volcánica (roca traquita pulverizada) en porcentajes de 10%, 15% y 20% para una resistencia de diseño de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Teniendo como resultado que, a la edad de 60 días de curado, el concreto con dosificación de 10% de adición de puzolana volcánica, aumentó su resistencia a la compresión en un 13%, por lo tanto, considera que 10% es la dosificación óptima en el diseño de concreto.

2.2.BASES TEÓRICAS

2.2.1. CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR):

2.2.1.1.CONSIDERACIONES GENERALES:

El CCR difiere del concreto convencional principalmente en sus requerimientos de consistencia; para una consolidación efectiva, el concreto debe estar seco a fin de evitar el hundimiento del equipo de rodillo vibrador, pero suficientemente mojado para permitir una distribución adecuada del mortero cementante en todo el material durante las operaciones de mezclado y compactación vibratoria. El concepto convencional de minimizar la relación de agua/cemento para maximizar la resistencia no se aplica aquí; el mejor compactado da la mejor resistencia y el mejor compactado ocurre en la mezcla más mojada que soporte la operación del rodillo vibrador. En otras palabras, el requisito de consistencia juega una parte importante en la selección de los materiales y de las relaciones de la mezcla. (Mehta y Monteiro, 1998, p.311)

Según Gutiérrez (2003) las ventajas del concreto compactado son las siguientes:

- Reduce los costos hasta en un 30% por el bajo contenido de cemento.
- Se pueden utilizar los equipos convencionales de construcción, tales como, mezcladoras, volquetas para transportar la mezcla, vibrocompactadores de rodillo liso, etc.
- Reduce el tiempo de construcción. (pp. 110-111)

Lo cual contrasta con lo que menciona American Concrete Institute (ACI 325.10R, 1995), donde indica que, las ventajas de usar CCR incluyen el ahorro de costos como resultado del método de construcción y la mayor velocidad de colocación del pavimento. Los pavimentos CCR no utilizan refuerzos de acero ni formas. Esto también da como resultado ahorros significativos en comparación con el costo de los pavimentos de hormigón construidos convencionalmente. (p.2)

2.2.1.2.CONCEPTO DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR) PARA PAVIMENTOS

El concreto compactado con rodillo para pavimentos se define como una mezcla relativamente rígida de agregados (tamaño máximo usualmente no mayor a 3/4 pulg. (19 mm)), materiales cementosos y agua, que es compactada por rodillos vibratorios y endurecida en concreto. Cuando se utiliza CCR como capa superficial, generalmente se especifica una resistencia a la compresión mínima de 280 kg/cm^2 (27,6 MPa). (ACI 325.10R, 1995, p.2)

Mientras que para Santaella (1999), el concreto compactado con rodillo (CCR) se define como un concreto de consistencia seca, asiento nulo, que se coloca de forma continua y su consolidación se realiza con un rodillo vibrante. Es decir, el concreto compactado (CCR) es un material porque su dosificación y consistencia difieren del concreto convencional, y técnica puesto que su manejo requiere un procedimiento diferente al utilizado en el concreto convencional. (p. 10)

2.2.1.3.USOS Y APLICACIONES:

Para Alvarado (2014) la aplicación de CCR se debe considerar cuando es económicamente competitivo con otros métodos de construcción. Este concreto se utiliza principalmente para:

- Represas hidroeléctricas
- Pavimentos
- Diques de gravedad
- Contrapisos
- Losas industriales donde se requiera soportar las cargas a la flexión
- Bacheos. (p.p. 23-24)

En el Concreto Compactado, el contenido de cemento es similar al concreto convencional y varía de 300 a 360 kg/m^3 y la resistencia a compresión es cerca de 280 a 420 kg/cm^2 o 30 a 40 MPa (4000 a 6000 lb/pulg^2). El tamaño máximo nominal del agregado se limita a 19 mm (3/4 pulg.) para proveer una superficie suave y densa. Para texturas superficiales aún mejores, se recomienda un tamaño máximo del agregado de 16 mm (5/8 pulg.). (Kosmatka et al., 2004, p.388)

2.2.1.4.MATERIALES PARA MEZCLAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

CEMENTO PORTLAND:

El cemento portland en la norma del American Society for Testing and Materials (ASTM C 219, 2003) está definido como aquel “cemento hidráulico producido por pulverización de Clinker de cemento portland, y que generalmente contiene sulfato de calcio”. (p.3)

Además, en la norma ASTM C 150 (2003) se describe los ocho tipos de cemento Portland, los cuales son:

- Tipo I: Para ser usado cuando no se requiere propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.
- Tipo IA: Cemento con aire incorporado para los mismos usos que el Tipo I, donde se desee aplicar aire incorporado.
- Tipo II: Para uso general, especialmente cuando se desea resistencia al sulfato moderado o al calor de hidratación moderado.
- Tipo IIA: Cemento con aire incorporado para los mismos usos que el Tipo II, donde se desee aplicar aire incorporado.
- Tipo III: Para ser usado cuando se desee una alta resistencia inicial.
- Tipo IIIA: Cemento con aire incorporado para los mismos usos que el Tipo III, donde se desea aplicar aire incorporado.
- Tipo IV: Para ser usado cuando se desea bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Para ser usado cuando se desea una alta resistencia al sulfato. (p.1)

Para el caso de la elección del cemento portland idóneo aplicado en un concreto compactado con rodillo se indica lo siguiente:

En la Asociación de Productores de Cemento, Rocha (1994) menciona que “el cemento a utilizar podrá ser un portland común, de alta resistencia inicial, escoria granulada de alto horno, puzolánico u otro”. (p. 7)

Por otro lado, el ACI 325 10R (1995) nos dice que la selección del tipo de cemento debe basarse dependiendo de la fuerza de diseño y la edad en que este esfuerzo será requerido. Además, que muchos de los pavimentos de CCR se han construido utilizando cemento Portland Tipo I o II y cenizas volantes Clase F o Clase C. (p.7)

PUZOLANA:

Escalaya (2006) nos dice que el uso de puzolana en la mezcla CCR puede servir como reemplazo parcial del cemento para reducir la generación del calor, para reducir costos y como un aditivo para aumento de finos y mejorar la maniabilidad al dosificar mezclas para volúmenes mínimos de pasta.

Además, indica que una de las principales funciones de la puzolana o cualquier otro material fino apropiado, es la de ocupar espacio que de otra forma sería ocupada por el cemento o el agua. Ocupar este espacio con agua, obviamente dará como resultado una reducción en la resistencia del concreto. (p. 5)

AGREGADOS:

Según Rocha (1994), las gravas y arenas pueden ser de cualquier tipo y tener cualquier origen, siempre que cumplan determinados requisitos, los cuales dependerán de las condiciones de carga del pavimento; pueden ser utilizados materiales naturales o productos de trituración que cumplan ciertas exigencias de granulometría, dureza, ausencia de materia orgánica y arcilla. También recomienda la utilización de agregados en dos o tres grupos según tamaños, por ejemplo: separar arena, grava de 0 a 5 mm y de 5 mm al tamaño máximo; cuando se requiere que el CCR tenga una alta capacidad de soporte inicial, se incentiva el uso de grava triturada, lo que permite el tráfico inmediato sobre el pavimento después de la construcción. (p. 6)

Por otro lado, el ACI 325.10R (1995) nos menciona que:

- Los agregados comprenden aproximadamente del 75 al 85 por ciento del volumen de una mezcla de pavimento de CCR y que la selección adecuada de agregados adecuados resultará en una mayor economía en la construcción y mayor capacidad de servicio de pavimentos CCR. En CCR recién mezclado, las propiedades de los agregados afectan la trabajabilidad de una mezcla y su potencial para segregarse y la facilidad con la que se consolidará adecuadamente bajo un rodillo vibratorio.
- El agregado generalmente consiste en grava triturada o sin triturar, piedra triturada, o una combinación de los mismos. El agregado fino puede consistir en arena natural, arena manufacturada o una combinación de ambas.
- Para CCR de alta calidad, tanto el agregado grueso como el fino, deben estar compuestas de partículas duras y duraderas, y la calidad de cada uno debe evaluarse mediante pruebas estándar.
- El CCR que contiene grava sin triturar generalmente requiere menos agua para lograr una consistencia dada, que la que contiene grava triturada o roca. El CCR que contiene grava o piedra triturada puede requerir más esfuerzo para compactar, y es menos probable que se segregue. Está también más estable durante la compactación y por lo general proporciona una mayor resistencia a la flexión.
- Las mezclas de CCR generalmente no son tan cohesivas como el concreto convencional y, por lo tanto, la segregación de agregados es una preocupación importante.
- Se puede lograr una mayor economía usando el agregado de tamaño máximo nominal práctico más grande. Sin embargo, para minimizar la segregación durante

la manipulación y colocación de CCR y para proporcionar una textura de superficie de pavimento relativamente suave, el tamaño máximo nominal no debe exceder 3/4 pulg (19mm). (pp 4 - 5)



Figura N°01: Compactación con rodillo vibratorio

Fuente: Informe sobre Pavimentos de Concreto Compactado con Rodillo (ACI 325.10R, p.4)



Figura N°02: Compactación con rodillo neumático

Fuente: Informe sobre Pavimentos de Concreto Compactado con Rodillo (ACI 325.10R, 1995, p.5)

2.2.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO COMPACTADO

Según Espinoza (2019) en su estudio menciona que el concreto pasa por dos etapas fundamentales que son el estado fresco y por el estado endurecido que es hasta que este quede totalmente sólido. El fin es poder asegurar una buena calidad del concreto, por ello, no solo basta con tener los materiales correctos sino también lograr la uniformidad a lo largo del

producto. Las propiedades de resistencia dependen fundamentalmente del contenido de cemento, calidad de los áridos y el grado de compactación. (p. 86)

Para Rocha (1994) 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, fisuración y, cuando existen problemas de congelamiento, la permeabilidad del material. (p. 10)

Propiedad	Factores que afectan las propiedades del CCR									
	C	TC	W	E	G	TA	A	Cur	Ed	TS
Resistencia a la compresión	x	x	x	x	x		x	x	x	
Resistencia a la tracción por flexión	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Módulo de elasticidad	x	x	x	x		x			x	
Deformación elástica	x			x		x			x	
Retracción por secado	x	x	x	x		x	x		x	
Durabilidad	x	x	x	x			x	x		x
Permeabilidad	x		x				x	x	x	x

Tabla N°01: Factores que afectan las propiedades del CCR

Fuente: Estado del arte de los pavimentos de concreto compactado con rodillo (Rocha, 1994, p.30)

Donde:

- C = Consumo de cemento
- TC = Tipo de Cemento
- W = Humedad
- E = Energía de compactación o porosidad del concreto
- TA = Tipo de agregado
- A = Aditivo
- Cur = Curado

- Ed = Edad
- TS = Terminación superficial

2.2.2.1.RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La norma ACI 116, define a la resistencia a la compresión como la máxima resistencia medida de una probeta de concreto o mortero a carga de compresión axial; se expresa como fuerza por unidad de superficie de la sección transversal; también la resistencia especificada que se usa en los cálculos de diseño. (p.87)

Por otro lado, la NTP 339.034, describe el tipo de fractura de manera gráfica mediante la siguiente figura. (p.17)

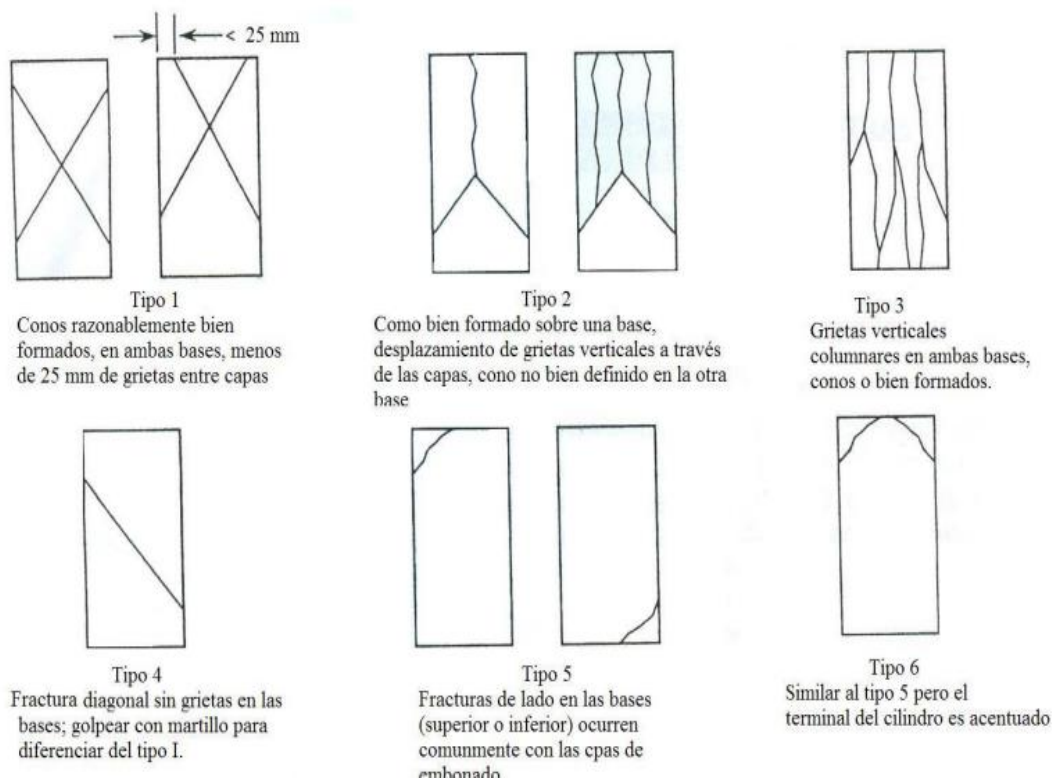


Figura N°03: Patrones típicos de fracturas

Fuente: NTP. 339.034

Además, Escalaya (2006) menciona que los cilindros para ensayo de CCR son del mismo tamaño que los cilindros convencionales de concreto: 152mm (6 pulg) de diámetro por 304mm (12pulg) de altura. En la aproximación a suelos, hay dos métodos comunes para preparar cilindros de CCR:

- Usando el martillo del Proctor Modificado y aplicando el mismo esfuerzo de compactación del Proctor Modificado (ASTM D 1557)

- Usando un martillo vibrador Hilti o un apisonador de polo neumático, mostrados en las Figura N° (a) y (b). (p. 7)



(a)



(b)

Figura N°04: Apisonadores utilizado en la elaboración de probetas de CCR (a) Apisonador Vibrador Hilti (b) Apisonador de Polo Neumático

Fuente: Diseño de Mezclas de Concreto Compactado con Rodillo utilizando conceptos de Compactación de Suelos (Escalaya 2006)

2.2.2.2.PESO UNITARIO

Por lo general el peso unitario de un concreto convencional como el de pavimentos, edificaciones u otros están entre los valores de 2140 y 2400 kg/m^3 . Ese mismo peso unitario también llamado densidad del concreto va a variar en función a la cantidad y a la densidad relativa de los áridos, del aire en la masa y del contenido del agua y cemento, los mismos que serán influenciados por el máximo tamaño del agregado. (Espinoza, 2017, p. 44)

Además, en su investigación, Alvarado (2014) menciona que “la densidad del CCR depende principalmente de la dosificación utilizada y del grado de compactación. Los valores típicos se encuentran entre 2240 y 2560 kg/m^3 ”. (p. 27)

2.2.3. PUZOLANA VOLCÁNICA:

2.2.3.1.CONSIDERACIONES GENERALES:

En el boletín de ingeniería de Portland Cement Association (Kosmatka, 2004) relata que las puzolanas naturales se usan desde hace siglos El término “puzolana” viene de una ceniza volcánica extraída en Pozzuoli, un pueblo de Nápoles, Italia. Esta ceniza fue

resultado de la erupción del Monte Vesuvio, en 79 DC. Sin embargo, el empleo de la ceniza volcánica y de la arcilla calcinada en otras culturas data de 2000 AC o tal vez antes. Muchas de las estructuras romanas, griegas, indianas y egipcias, producidas con concreto de puzolana, se las pueden visitar aún hoy, comprobando la durabilidad de estos materiales. (p. 80)

Los materiales puzolánicos, finamente molidos, mezclados con el cemento portland, con cal o bien con mezclas de ambos conglomerantes, permiten elaborar morteros y hormigones de buenas propiedades, que pueden llegar a superar a los de aquellos que no contienen puzolanas. De esta forma, la sustitución parcial del cemento portland por puzolana, incluso mezclas puzolanas con cal, sin necesidad de cemento portland, abarataría de forma considerable el coste final, además de ser más amigable medioambientalmente, ya que la producción de cemento portland es una actividad contaminante por la gran producción de dióxido de carbono. (Bernabeu & Quiñonez 2015, p. 175).

2.2.3.2.DEFINICIÓN:

Para el ACI 116 (1999), la puzolana es un “material silíceo y aluminoso que en sí mismo posee escaso valor cementicio pero que, en forma finamente dividida y en presencia de humedad reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas habituales formando compuestos que poseen propiedades cementicias”. (p.83)

2.2.3.3.CLASIFICACIÓN:

Según la Norma Técnica Peruana (NTP 334.104, 2011) las cenizas volantes se clasifican de la siguiente manera:

- Clase N: Puzolanas naturales crudas o calcinadas, tal como algunas tierras diatomáceas; lutitas y calcedonias opalinas; tufos y cenizas volcánicas o pumitas, calcinadas o sin calcinar; y varios materiales que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias, tales como arcillas y lutitas.
- Clase F: Esta clase de ceniza volante tiene propiedades puzolánicas.
- Clase C: Esta clase de ceniza volante, además de tener propiedades puzolánicas, también tiene propiedades hidráulicas. (p.3)

Villegas (2012), en su trabajo de investigación también las clasifica en puzolanas naturales y artificiales, de la siguiente manera:

Puzolanas Naturales:

- Cenizas Volcánicas: Se forman por erupciones de carácter explosivo, en pequeñas partículas que son templadas a temperatura ambiente, originando la formación del estado vítreo.
- Tufos o tobas volcánicas (zeolitas): Producto de la acción hidrotermal sobre las cenizas volcánicas y de su posterior cementación diagenética.
- Tierras de diatomeas (diatomitas): Puzolanas de origen orgánico. Depósitos de caparzones silíceos de microscópicas algas acuáticas unicelulares (diatomeas).

Puzolanas Artificiales:

- Cenizas Volantes (fly ash): Subproducto de centrales termoeléctricas que utilizan carbón pulverizado como combustible. Se separan de los gases de combustión por precipitación mecánicas o electrostática. Polvo fino constituido esencialmente de partículas esféricas.



Figura N°05: Ceniza volante y micrografía de partículas de ceniza volante (aumento 1000X)

Fuente: Utilización de puzolanas naturales en la elaboración de prefabricados con base cementicia destinado a la construcción de viviendas de bajo costo (Villegas – 2012)

- Arcillas activadas térmicamente: Las arcillas naturales no presentan actividad puzolánica a menos que su estructura cristalina sea destruida mediante un tratamiento térmico a temperaturas del orden de 600 a 900 °C.
- Microsilíce (sílica fume): Subproducto de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón en hornos de arco eléctrico para la producción de silicio o aleaciones de ferro silicio.



Figura N°06: Vista de la microsílíce y su micrografía de partículas (aumento 20000X)

Fuente: Utilización de puzolanas naturales en la elaboración de prefabricados con base cementicia destinado a la construcción de viviendas de bajo costo (Villegas – 2012)

- Cenizas de cáscara de arroz: Producida por la calcinación controlada de la cáscara de arroz (% ceniza – 20% peso de la cáscara), de forma general se puede indicar algunas características de estas cenizas que consisten básicamente en: Sílice amorfa (>90%), estructura celular de gran área superficial (50 a 60 m^2/g) y posee gran actividad puzolánica. (p.p. 10-13)

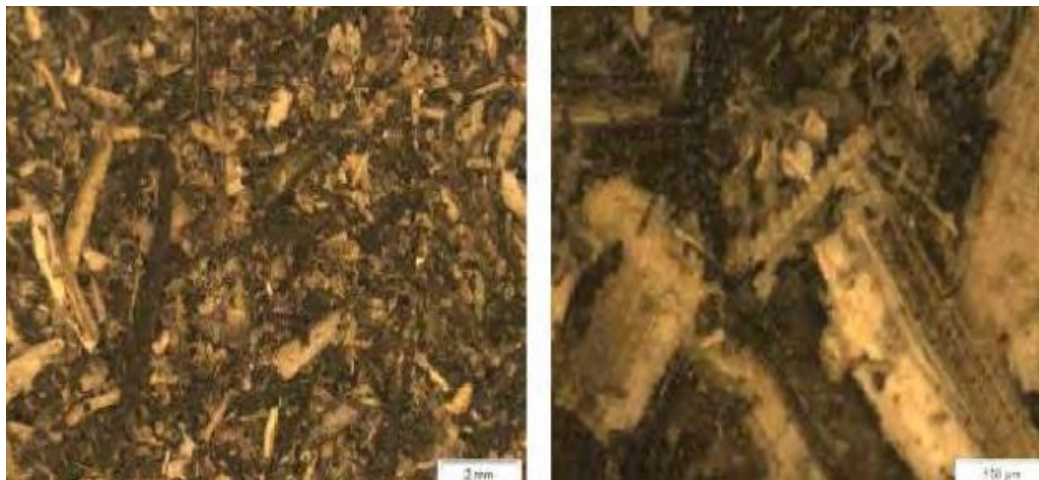


Figura N°07: Vista de la micrografía de la ceniza de cáscara de arroz quemada en el horno del laboratorio de la UNI - FIC

Fuente: Utilización de puzolanas naturales en la elaboración de prefabricados con base cementicia destinado a la construcción de viviendas de bajo costo (Villegas – 2012)

2.2.3.4.APLICACIONES:

Para Cambroner et al. (2002) en su estudio sobre la aplicabilidad de materiales volcánicos como material de construcción, concluye que la roca volcánica es un material adecuado desde el punto de vista como adición puzolánica a un cemento, eliminando la cubierta superficial de material meteorizado que ha perdido su actividad puzolánica. Además, considera que es un medio para abaratar los materiales de construcción en zonas sísmicas, pero que a su vez dan suficiente resistencia. (p. 726)

2.2.4. DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS:

Portland Cement Association (2010), menciona que al igual que con la selección de materiales, la dosificación correcta de los materiales es fundamental para la producción de mezclas de CCR de calidad. El proceso de diseño de la mezcla no debe utilizar un enfoque de prueba y error, sino un enfoque científico y sistemático que tengan en cuenta las propiedades de ingeniería deseadas, los requisitos de construcción y economía. (p.33)

Además, la norma ACI 325-10R (1995) nos dice que en CCR las mezclas deben tener suficiente volumen de pasta para llenar los vacíos internos en la masa del agregado y que varios métodos han sido utilizados para dosificar mezclas de pavimentos de CCR, los cuales se pueden colocar en dos categorías amplias:

- Dosificación mediante pruebas de consistencia del concreto.
- Dosificación mediante pruebas de compactación del suelo. (p.9)

2.2.4.1.DOSIFICACIÓN MEDIANTE PRUEBAS DE CONSISTENCIA DEL CONCRETO

Según el ACI 325-10R (1995), “este método consiste esencialmente en dosificar el CCR mezcla para una trabajabilidad óptima del nivel requerido de fuerza, usando un aparato como el Vebe descrito en ACI 211.3”. (p.9)

2.2.4.2.DOSIFICACIÓN MEDIANTE PRUEBAS DE COMPACTACIÓN DEL SUELO

Para el ACI 325-10R (1995) los métodos que utilizan estas pruebas implican establecer una relación entre el peso unitario seco o húmedo y el contenido de humedad del CCR mediante la compactación de especímenes en un rango de contenidos de humedad. Es similar al método utilizado para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario de suelos y mezclas de suelo y agregados. El aparato y esfuerzo de

compactación utilizados para fabricar los especímenes de densidad de humedad corresponden a los descritos en ASTM D1557. (p.9)

También el ACI 325-10R (1995) menciona que el contenido de material cementoso está determinado por los requisitos de resistencia y durabilidad del pavimento, y es a menudo expresado como porcentaje del peso total seco de los materiales (cementosos y agregados). Los contenidos que oscilan entre el 10 y el 17 por ciento por peso seco son típicos para las mezclas de pavimento de CCR. Este rango corresponde a aproximadamente 350 a 600 lb de material cementoso por yd^3 (208 a $356\text{ kg}/m^3$) de CCR. (p.9)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- Agregados: Material granular, tal como la arena. Grava, piedra molida, hormigón de cemento hidráulico molido o escoria de alto horno molida, empleando junto con un medio de cemento hidráulico para elaborar hormigón o mortero. (ACI 116, p 6)
- Cemento Portland: Cemento hidráulico que se produce pulverizando clinker de cemento portland y que generalmente contiene sulfato de calcio. (ACI 116, p 25)
- Concreto compactado con rodillo: Se define como un concreto de consistencia seca, asiento nulo, que se coloca de forma continua y su compactación se realiza con un rodillo normalmente vibrante. (Escalaya, 2006, p 1)
- Consistencia: Movilidad relativa o capacidad de fluir de un hormigón o mortero fresco; los indicadores habituales son el asentamiento para el hormigón, el flujo para el mortero y la resistencia a la penetración para la pasta cementicia pura. (ACI 116, p 30)
- Contenido de humedad de un agregado: Relación entre la masa de agua presente en una masa granular dada y el peso seco de la masa, expresada como porcentaje. (ACI 116, p 31)
- Curado: Mantenimiento de un contenido de humedad y una temperatura satisfactorios en el hormigón durante sus etapas tempranas de manera que se puedan desarrollar las propiedades deseadas. (ACI 116, p 32)

- Hormigón (Concreto): Material compuesto que consiste esencialmente en un medio ligante dentro del cual hay partículas o fragmentos de agregado, generalmente una combinación de agregado fino y agregado grueso; en el hormigón de cemento portland el ligante es una mezcla de cemento portland y agua. (ACI 116, p. 53)
- Puzolana natural: Material natural sin procesar o calcinado que tiene propiedades puzolánicas (por ejemplo, ceniza volcánica o pumicita, chert opalino y esquistos, tufa y algunas tierras diatomáceas). (ACI 116, p 83)
- Relación agua cemento: Relación entre la cantidad de agua, excluyendo solamente aquella absorbida por los agregados, y la cantidad de cemento en un mortero, hormigón o pasta cementicia; preferentemente expresada en forma decimal y abreviada w/c. (ACI 116, p 85)
- Resistencia a la compresión: Máxima resistencia medida de una probeta de hormigón o mortero a carga de compresión axial; se expresa como fuerza por unidad de superficie de la sección transversal; también la resistencia especificada que se usa en los cálculos de diseño. (ACI 116, p 87)
- Segregación: Concentración diferencial de los componentes del hormigón mezclado, los agregados o similares que provoca una dosificación no uniforme en la masa. (ACI 116, p 91)
- Trabajabilidad: Propiedad del hormigón o motero fresco que determina la facilidad y homogeneidad con que se puede mezclar, colocar, compactar y acabar. (ACI 116, p 99)

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente tesis se realizó en el Laboratorio de Suelos y Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz” pertenecientes a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en la ciudad, provincia y región de Cajamarca.

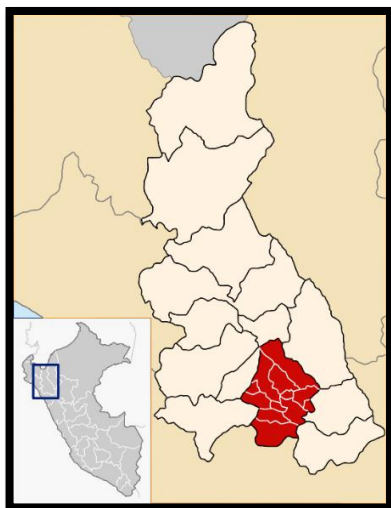


Figura N°08: Región y Provincia de Cajamarca

Fuente: Wikipedia



Figura N°09: Distritos de Cajamarca

Fuente: Peru Tourist Guide

Coordenadas UTM	
Este	776620
Norte	9206999



Figura N°10: Laboratorio de Materiales – Universidad Nacional de Cajamarca

Fuente: Google Earth

3.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CANTERA PROVEEDORA DE AGREGADOS

La presente tesis se realizó utilizando agregados naturales de la cantera “Aguilar”, ubicada en el distrito de Los Baños del Inca de la provincia y región de Cajamarca.

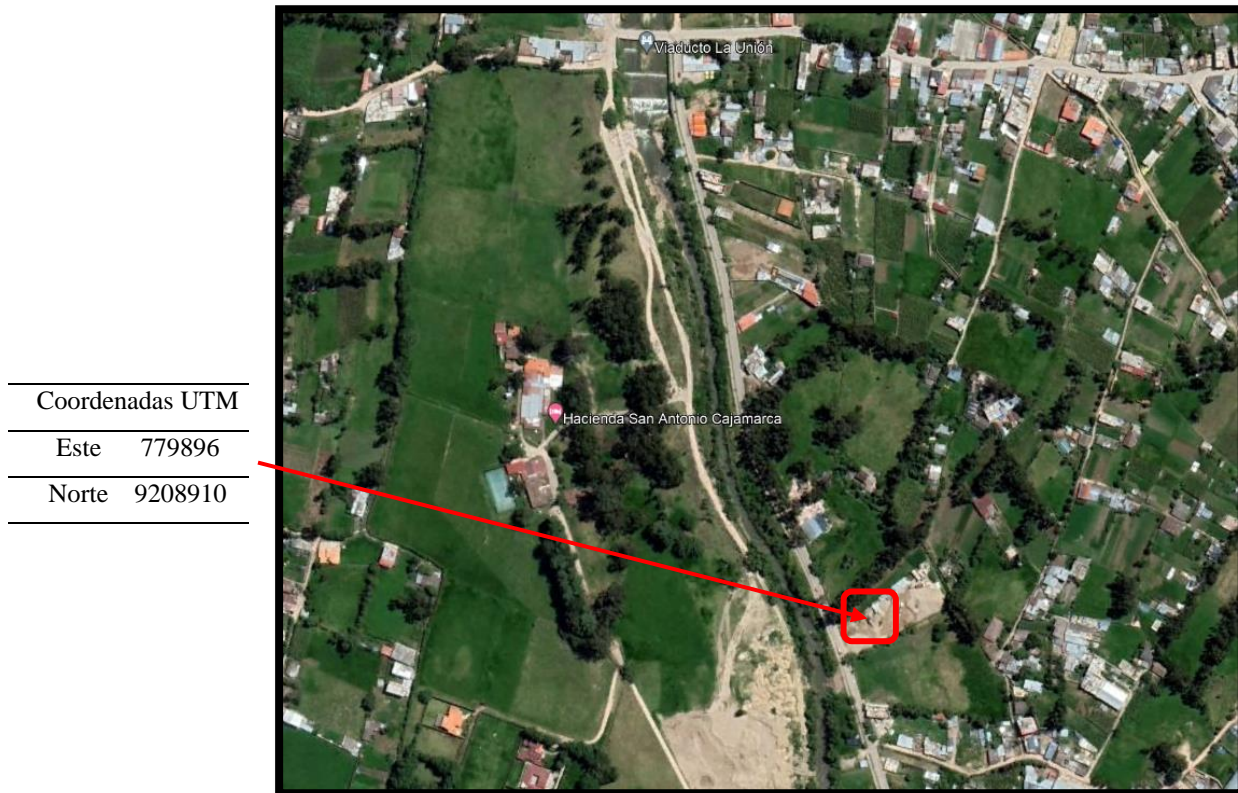


Figura N°11: Ubicación de la cantera “Aguilar”
Fuente: Google Earth

3.1.3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ORIGEN DE LA PUZOLANA VOLCÁNICA

La presente tesis se realizó utilizando puzolana volcánica obtenida de la pulverización de roca traquita producto de los desechos al momento de realizar artesanías de esta roca en el taller de esculturas “Rodolfo Terán”, ubicado en el centro poblado de Huambocancha Alta, provincia y región de Cajamarca.

Coordenadas UTM	
Este	769114
Norte	9214844



Figura N°12: Ubicación del Taller de Esculturas
Fuente: Google Earth

3.2. TIEMPO DE REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó entre los meses de Octubre del año 2022 y Enero del año 2023.

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

- **Tipo:** Aplicada - Cuantitativa
- **Nivel:** Correlacional
- **Diseño:** Experimental

3.3.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población está conformada por el diseño de mezcla de un concreto patrón y tres diseños con reemplazo del 8%, 12% y 16% de cemento por puzolana volcánica de probetas cilíndricas de concreto compactado. Obteniendo una población de estudio total de 120 probetas, debido a que se evaluó a los 7, 14 y 28 días de edad curado, donde se elaboró 10 probetas en cada diseño para cada una de las edades de curado indicadas.

3.3.3. MUESTRA

La selección de la muestra se realizó empleando un muestreo no probabilístico de tipo intencional, debido a la necesidad de obtener un resultado de mayor nivel de confianza en la presente investigación, es que la muestra planteada está constituida por 10 probetas cilíndricas para cada dosificación de concreto compactado indicada, en las edades de curado de 7, 14 y 28 días.

DOSIFICACIÓN DE CCR	CANTIDAD POR EDAD		
	7 días	14 días	28 días
Concreto Patrón	10	10	10
Concreto con 8% de reemplazo	10	10	10
Concreto con 12% de reemplazo	10	10	10
Concreto con 16% de reemplazo	10	10	10
TOTAL		120	

Tabla N°02: Muestra en estudio

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis en la presente investigación es la probeta cilíndrica de concreto compactado.

3.4.PROCEDIMIENTO

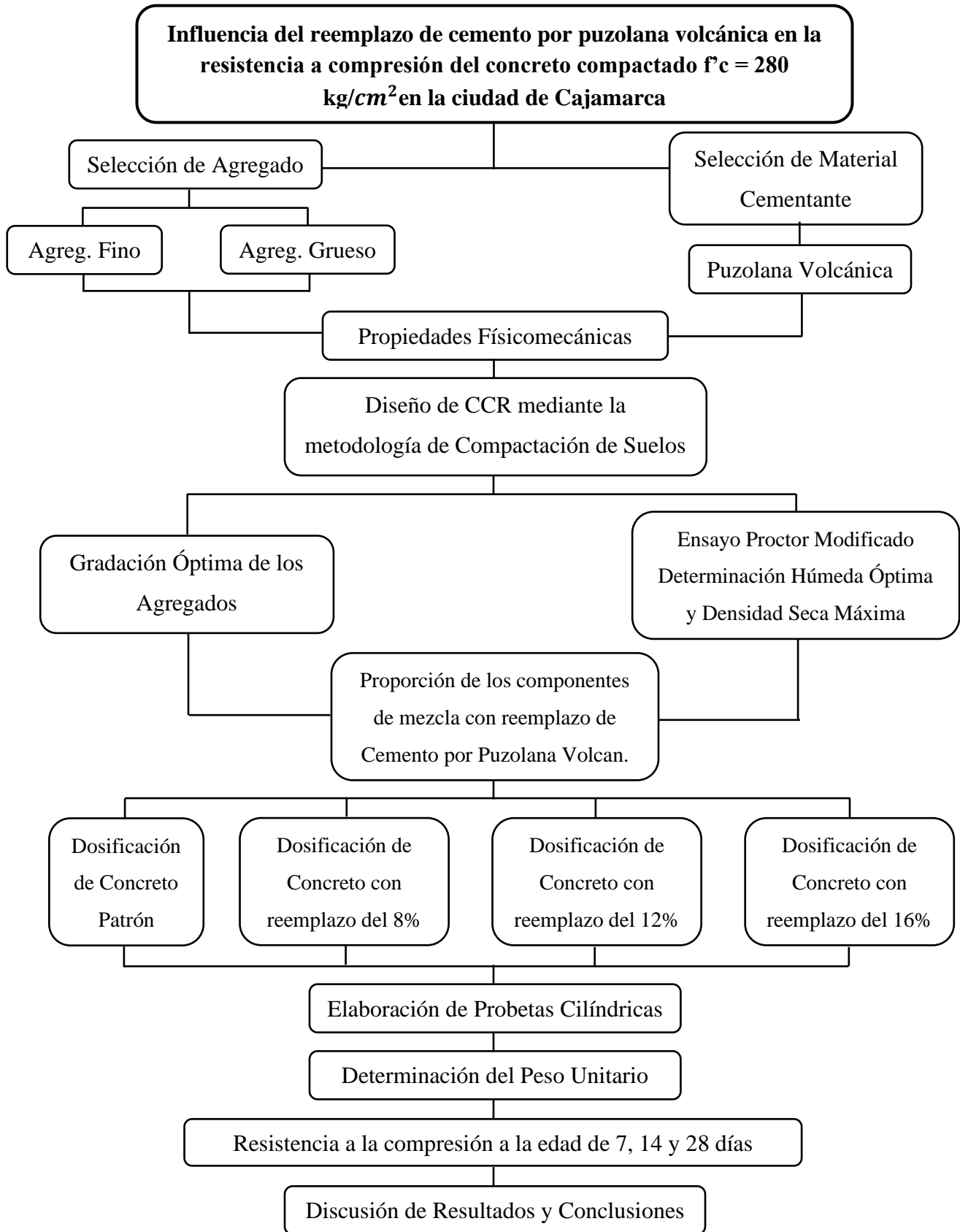


Figura N°13: Diagrama del procedimiento realizado en la investigación
Fuente: Elaboración propia

3.4.1. SELECCIÓN DE AGREGADOS Y MATERIAL CEMENTANTE (PUZOLANA VOLCÁNICA)

3.4.1.1. AGREGADO FINO Y GRUESO

El agregado fino y grueso utilizado en la presente investigación fue obtenido de la cantera “Aguilar”, cuya ubicación geográfica fue descrita en el punto 3.1.2.

3.4.1.2. MATERIAL CEMENTANTE (PUZOLANA VOLCÁNICA)

El material cementante que utilizaremos en reemplazo parcial del cemento portland tipo I en la elaboración del concreto compactado, será la puzolana volcánica. La puzolana la obtendremos de la trituración de roca traquita, posteriormente se lo tamizó por la malla N°200 (Fotografía N° 09), para obtener un tamaño de partícula similar al del cemento y así poder homogenizar al momento de realizar el remplazo parcial de cemento por puzolana volcánica.

3.4.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

Las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, además de la puzolana volcánica se describirán en el Anexo N°01.

3.4.2.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO Y GRUESO

La NTP 400.012 nos menciona que este ensayo se realizará con una muestra de agregado seco, el cual fue tamizado mediante una serie de tamices de mayor a menor abertura, para así obtener la distribución en porcentaje del tamaño de las partículas.

También se describe en esta norma la manera de calcular el módulo de fineza, que se realizará sumando el porcentaje acumulado retenido de ciertos tamices y dividir la suma entre 100, como se muestra a continuación:

Sumatoria % acumulado retenido (N°100, N°50, N°30, N°16, N°8, N°4, 3/8", 3/4" y 1 1/2")

100

3.4.2.2. ESPECIFICACIONES PARA AGREGADOS EN CONCRETO

De acuerdo a la NTP 400.037 esta norma nos menciona los requisitos de gradación y calidad de los agregados para ser usados en el concreto.

Además, también describe los conceptos de tamaño máximo del agregado, que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra del agregado grueso, y que a

diferencia del tamaño máximo nominal del agregado, es el que corresponde al menor tamiz donde se produce el primer retenido entre 5% y 10%.

3.4.2.3. MATERIAL MÁS FINO QUE PASA POR EL TAMIZ N.º 200

La norma que nos describe el procedimiento a seguir es la NTP 400.018, con la cual se determinó, a través de la vía húmeda, el contenido de polvo o material que pasa por el tamiz N.º.200. En la norma se incluyen dos tipos de procedimientos, uno utilizando solo agua para el lavado, y otro que incluye un agente dispersante. En la presente investigación, se utilizó el primer tipo de procedimiento en mención. Para calcular la cantidad de material que pasa por el tamiz N.º.200, se utilizó la siguiente fórmula:

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

Donde:

- A = Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz N.º.200 por vía húmeda.
- P_1 = Peso seco de la muestra original (g).
- P_2 = Peso seco de la muestra ensayada (g).

3.4.2.4. CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS

El procedimiento para determinar el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado fino o grueso por secado se encuentra descrita en la norma NTP 339.185, la cual se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{(W - D)}{D} \times 100 \quad \dots (02)$$

Donde:

- P = Contenido de humedad total de la muestra (%).
- W = Masa de la muestra húmeda original (g).
- D = Masa de la muestra seca (g).

3.4.2.5. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO

La norma NTP 400.021 para el agregado grueso y la norma NTP 400.022 en el caso de agregado fino, nos describe el procedimiento para determinar la densidad (peso específico) promedio de partículas de agregado, además de la densidad relativa y la absorción del agregado. Los cuales se definirá a continuación:

Densidad secada al horno (OD): Se define como la masa de las partículas de agregado secado al horno por unidad de volumen de partículas del agregado, incluyendo su volumen

de poros permeables e impermeables, pero sin incluir los espacios vacíos entre las partículas.

Densidad saturada superficialmente seca (SSD): Se define como la masa del agregado saturado superficialmente y seco por unidad de volumen, incluyendo el volumen de poros permeables e impermeables, poros llenos de agua dentro de las partículas, pero sin incluir los espacios vacíos entre los mismos.

Peso específico de masa (Densidad relativa): Es la relación entre la densidad secada al horno y la densidad del agua a temperatura indicada.

Peso específico de masa saturada con superficie seca (Densidad relativa): Es la relación entre la densidad saturada superficialmente seca y la densidad del agua a temperatura indicada.

Peso específico aparente (Densidad relativa aparente): Es la relación de la densidad aparente de los agregados y la densidad del agua a temperatura indicada.

Absorción: Se define como el aumento de la masa del agregado debido al agua que penetra en los poros de las partículas, sin incluir el agua adherida en la superficie exterior de las partículas.

Los procedimientos para la obtención de datos serán:

Para el agregado grueso:

1. Secar la muestra seleccionada en un horno a temperatura constante, luego dejar enfriar durante 1 a 3 horas. Posteriormente sumergir el agregado en agua a temperatura ambiente durante 24 horas.
2. Retirar la muestra del agua y secar superficialmente las partículas de agregado con un paño absorbente. Luego determinar la masa de la muestra saturada superficialmente seca.
3. Después, la masa saturada superficialmente seca se lo ingresa en un recipiente para ser sumergidos totalmente en agua, luego se registra este peso. El peso del recipiente sumergido en agua sin el agregado también será registrado.
4. Secar la muestra de agregado en un horno a temperatura constante, luego dejar enfriar durante 1 a 3 horas y determinar su masa.

Los cálculos para el agregado grueso serán de la siguiente manera:

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{(B - C)} \quad \dots (03)$$

Peso específico de masa saturada con superficie seca

$$= \frac{B}{(B - C)} \quad \dots (04)$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(A - C)} \quad \dots (05)$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{(B - A)}{A} \times 100 \quad \dots (06)$$

Donde:

- A = Peso en el aire de la muestra secada al horno.
- B = Peso de la muestra saturada con superficie seca.
- C = Peso en el agua de la muestra saturada.

Para el agregado fino:

1. Colocar la muestra para el ensayo en un recipiente y secar en el horno a temperatura constante, luego dejar que se enfríe hasta una temperatura apropiada para manipular. Posteriormente cubrir con agua durante 24 horas.
2. Se decanta el agua del recipiente y se lo extiende sobre una superficie plana donde estará expuesta a una corriente suave de aire caliente. Secar la muestra hasta que la prueba ha alcanzado una condición de superficie seca, esto se logrará mediante la prueba de humedad superficial.
3. Prueba de humedad superficial: Se coloca el molde en una superficie plana, posteriormente se le añade una porción de agregado fino suelto parcialmente seco hasta el tope del molde, luego se lo apisona ligeramente con 25 golpes con la barra compactadora. Si al retirar el molde existe una ligera caída del agregado moldeado, significa que ha llegado a un estado de superficie seca.
4. Luego se llena parcialmente el picnómetro con agua y se introduce 500 gramos de la muestra de agregado fino saturado superficialmente seca. Se completa de llenar de agua hasta el 90% de su capacidad para proceder a eliminar las burbujas de aire mediante la agitación del picnómetro.
5. Después de la eliminación de las burbujas de aire, se completa de llenar hasta la marca de calibración del picnómetro. Se determina su masa.
6. Luego se retira el agregado fino del picnómetro en un recipiente, se lo seca en un horno a temperatura constante. Al retirar del horno dejar enfriar a temperatura ambiente y determinar su masa.

7. Se determina la masa del picnómetro lleno de agua hasta su capacidad de calibración.

Los cálculos para el agregado fino serán de la siguiente manera:

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{(B + S - C)} \quad \dots (07)$$

$$\begin{aligned} \text{Peso específico de masa saturada con superficie seca} \\ = \frac{S}{(B + S - C)} \quad \dots (08) \end{aligned}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(B + A - C)} \quad \dots (09)$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{(S - A)}{A} \times 100 \quad \dots (10)$$

Donde:

- A = Peso de la muestra secada en el horno.
- B = Peso de la fiola más agua hasta el menisco.
- C = Peso de la fiola más agua hasta el menisco más muestra.
- S = Peso de la muestra superficialmente seca.

3.4.2.6. PESO UNITARIO DEL AGREGADO

La norma NTP 400.017 describe como determinar la densidad de masa (peso unitario), del agregado en condición suelto o compactado.

La densidad de masa o más conocido como peso unitario es definida como la masa o peso de una unidad de volumen de agregado y el volumen de vacíos entre partículas.

Los procedimientos para la obtención de datos serán:

1. Seleccionar el tamaño de la muestra, que será aproximadamente el 125% a 200% de la cantidad requerida para llenar el recipiente.
2. Calibrar el recipiente. Los pasos a seguir serán, determinar la masa de la placa de vidrio y recipiente, luego llenar el recipiente con agua a temperatura ambiente y cubrirlo con la placa de vidrio de tal forma que eliminaremos las burbujas y exceso de agua. Finalmente determinamos la masa del agua, placa de vidrio y recipiente para con esto poder calcular el factor F mediante la siguiente ecuación:

$$F = \frac{D}{(W - M)} \quad \dots (11)$$

Donde:

- D = Densidad del agua (kg/m^3).

- W = Peso del agua, placa de vidrio y recipiente (kg).
- M = Peso de la placa de vidrio y recipiente

Peso Unitario Suelto:

1. Posteriormente para determinar el peso unitario suelto, se debe llenar el recipiente hasta el reboce con un cucharón, luego se debe nivelar la superficie con una espátula.
2. Se determina la masa del recipiente vacío y también del recipiente más su contenido.

Peso Unitario Compactado:

3. Para determinar el peso unitario compactado, se debe llenar un tercio del recipiente, nivelar con los dedos y apisonar la capa con 25 golpes con la varilla de apisonado uniformemente distribuido.
4. Realizar el mismo procedimiento al momento de llenar el segundo y tercer tercio del recipiente. Luego se debe nivelar la superficie con una espátula.
5. Se determina la masa del recipiente vacío y también del recipiente más su contenido.

Por último, para calcular el peso unitario ya sea suelto o compactado, lo realizaremos mediante la siguiente ecuación:

$$M = (G - T) \times F \quad \dots (12)$$

Donde:

- M = Peso unitario del agregado (kg/m^3).
- G = Peso del molde más la muestra suelta o compactada (kg).
- T = Peso del molde (kg).
- F = Factor para el recipiente ($1/\text{m}^3$)

3.4.2.7. RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE AGREGADOS POR ABRASIÓN

La descripción del procedimiento para la determinación de la resistencia por abrasión de los agregados la encontraremos en la norma NTP 400.019, la cual nos indica que este ensayo se realizará para agregados gruesos de tamaños menores de 1 ½” pulgadas, esto mediante el uso de la máquina de Los Ángeles.

El procedimiento del ensayo será de la siguiente manera:

1. Se obtendrá una muestra de agregado grueso, la cuál será lavada y posteriormente secada en un horno a temperatura constante.
2. La gradación de la muestra se clasificará de acuerdo a la siguiente tabla:

Tamiz mm (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½ pulg)	25,0 mm (1 pulg)	1250 ± 25	.....	.....	.....
25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (¾ pulg)	1250 ± 25	.....	.....	.....
19,0 mm (¾ pulg)	12,5 mm (½ pulg)	1250 ± 10	2500 ± 10	.....	.....
12,5 mm (½ pulg)	9,5 mm (3/8 pulg)	1250 ± 10	2500 ± 10	.....	.....
9,5 mm (3/8 pulg)	6,3 mm (¼ pulg)	.....	.....	2500 ± 10	.....
6,3 mm (¼ pulg)	4,75 mm (N°4)	.....	.....	2500 ± 10	.....
4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°8)	.....	.....	.....	5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Tabla N°03: Gradación de las muestras de ensayo

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.019

1. La muestra del ensayo se colocará en la máquina de Los Ángeles y se rotará a una velocidad de 30 rpm a 33 rpm, por 500 revoluciones. Al culminar el número de revoluciones prescritos se descargará el material de la máquina.
2. Luego el material descargado de la máquina será tamizado y lavado por la malla N.º 12. Se determinará la masa del material retenido luego ser secado en el horno.
3. El cálculo del desgaste por abrasión se realizará mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Desgaste por abrasión (\%)} = \frac{(A - B)}{A} * 100 \quad \dots (13)$$

Donde:

- A = Peso inicial de la muestra seca (g).
- B = Peso retenido en la malla N.º 12 lavado y seco (g).

Cabe mencionar que dicho ensayo de resistencia a la degradación por abrasión del agregado grueso se realizó en instalaciones del laboratorio de suelos GUERSAN, debido a que la máquina de Los Ángeles con la que cuenta el Laboratorio de Materiales no se encontraba en funcionamiento. En el Anexo N°08 se presenta el certificado de calibración de dicha máquina del laboratorio GUERSAN.

3.4.3. DISEÑO DE CCR MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE COMPACTACIÓN DE SUELOS

El diseño de concreto compactado en la presente investigación se realizó mediante la metodología de compactación de suelos, descritas en las normas del ACI, exactamente en las normas ACI 211.3R y ACI 325.10R.

Los ensayos correspondientes al diseño del concreto compactado serán presentados en el Anexo N°02

3.4.3.1. GRADACIÓN ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS

Según la norma ACI 211.3R, los volúmenes de agregado fino y grueso usados en el diseño del concreto compactado se determinará después de la realización del contenido óptimo de agua de la mezcla.

3.4.3.2. CONTENIDO DE MATERIALES CEMENTICIOS

De acuerdo con la norma ACI 211.3R el contenido de cemento en el diseño de la mezcla del concreto compactado se expresa como porcentaje de la masa seca del agregado. También nos menciona que los porcentajes oscilan entre el 10% y el 17%, este rango corresponde a aproximadamente 210 kg/cm^2 a 360 kg/cm^2 .

En la presente investigación interpolamos los valores antes mencionados, por lo cual para una resistencia propuesta de 280 kg/cm^2 utilizaremos 13.5% de la masa seca del agregado, como contenido de cemento. El cemento utilizado en esta tesis es el cemento Pacasmayo Tipo I, cuya ficha técnica se encuentra en el Anexo N°07.

Además, al plantear el reemplazo porcentual de cemento por puzolana volcánica en un diseño de concreto compactado (CCR), es que se considera también como material cementicio a la puzolana volcánica obtenida de la trituración y posterior tamizaje por la malla N°200 de la roca traquita.

3.4.3.3. CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMA

El contenido de humedad óptima se realizó mediante del ensayo de Proctor modificado especificado en la norma ASTM D1557, aplicado en la muestra producto de la combinación de los agregados y la del porcentaje especificado de cemento.

Cabe mencionar que el uso de la norma ASTM D1557 para hallar el contenido de humedad óptimo está especificado en la norma ACI 211.3R como parte del diseño de un concreto compactado (CCR).

El método utilizará un molde de 6 pulgadas de diámetro, distribuido en 5 capas y se aplicarán 56 golpes por cada capa. En la tesis realizaremos cinco ensayos, variando el contenido de humedad, para así realizar la curva entre densidad seca y humedad. De la curva realizada se obtuvo la densidad seca máxima y la humedad óptima. Los resultados serán presentados en el Anexo N°02.

3.4.3.4. PROPORCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA

Para la proporción de los componentes de la mezcla del concreto compactado, se usará las ecuaciones expuestas en la investigación de tesis de post grado de Escalaya (2006), las cuales serán:

$$P = P_W + P_S + P_C + P_f \dots (a)$$

$$w = \frac{P_w}{P_S + P_C + P_f} \dots (b)$$

$$P_c + P_f = \frac{n}{100} P_s \dots (c)$$

$$P_t = P_s(1 + w_i) \dots (d)$$

Donde:

- P = Peso total de la mezcla (en el molde) después de la compactación.
- P_W = Peso del agua.
- P_s = Peso seco de los agregados.
- P_c = Peso del cemento.
- P_f = Peso de la puzolana.
- w = Contenido de humedad óptimo.
- P_t = Peso total del agregado.
- w_i = Contenido inicial de agua del agregado.

El procedimiento a seguir para obtener la masa tanto de agregado fino como grueso será la siguiente:

1. Se tiene como datos iniciales, la densidad seca máxima (2.261 g/cm^3), humedad óptima (4.93%) y porcentaje de masa seca del agregado (13.50%).
2. Reemplando la ecuación (c) en la ecuación (b), obteniendo:

$$4.93 = \frac{P_w}{P_s + \frac{13.5xP_s}{100}}$$

$$0.056 x P_s = P_w$$

3. Teniendo como peso de la muestra húmeda (volumen molde) igual a 4977.8 gramos, lo aproximamos a 5000 gramos, luego reemplazamos en la ecuación (a):

$$5000 = 0.056P_s + P_s + \frac{13.5}{100} P_s$$

$$P_s = 4198.15 \text{ g}$$

4. Del paso número 2 obtenemos:

$$P_w = 235.09 \text{ ml}$$

5. De la ecuación (c), el peso cementante será:

$$P_c + P_f = 566.75 \text{ g}$$

6. Teniendo el contenido de humedad inicial del agregado, obtendremos de la ecuación (d) el peso total del agregado:

$$P_t = P_s(1 + w_i)$$

$$P_t = 4233.46 \text{ g}$$

7. Del peso total del agregado distribuiremos en porcentajes el agregado fino y grueso de acuerdo a la gradación óptima antes mencionada.

$$\text{Peso agregado fino} = 56\% \times 4233.46 = 2370.74 \text{ g}$$

$$\text{Peso agregado grueso} = 44\% \times 4233.46 = 1862.72 \text{ g}$$

3.4.4. DOSIFICACIÓN DE CONCRETO – DISEÑO DE CCR MEDIANTE METODOLOGÍA DE COMPACTACIÓN DE SUELOS

La norma ACI 211.3R describe los pasos a seguir para realizar la dosificación del concreto de acuerdo a la metodología de compactación de suelos. Los cuales se pueden resumir en los siguientes pasos:

1. Una vez contando con la proporción de los materiales componentes de la mezcla, se divide con sus pesos específicos correspondientes, obteniendo sus volúmenes.
2. Se asume el contenido de aire atrapado de 2.5% en el concreto para 1 m^3 , esto debido a que el tamaño máximo nominal del diseño de mezclas es de $1/2''$.
3. De la relación entre el paso 2 y la suma de volúmenes del paso 1 se determina el factor.
4. Al multiplicar el paso 1 por el factor se determina los materiales para 1 m^3 , luego se multiplica por sus densidades o pesos específicos y así se obtiene sus pesos.
5. De los pesos obtenidos, se determina la relación agua cemento y la cantidad de bolsas de cemento por m^3 .
6. Se corrige los materiales por humedad y se determina su relación agua cemento efectiva.
7. Posteriormente se determina su proporción en peso y proporción en volumen de cada material componente de la mezcla.
8. Finalmente se presenta la cantidad de materiales necesarios para la elaboración de una tanda de 03 especímenes de probetas de concreto.

La dosificación para el concreto patrón, al igual que para la dosificación del concreto con reemplazo del 8%, 12% y 16% de cemento por puzolana volcánica son presentados en el Anexo N°03.

3.4.5. ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS

La elaboración de las probetas se realizó de acuerdo al ensayo de Proctor Modificado especificado en la norma ASTM D1557, método C. Esto debido a que la norma ACI 325.10R, especifica que el esfuerzo de compactación utilizados para fabricar especímenes, corresponden a la norma del ensayo de Proctor Modificado.

Se elaboraron en moldes metálicos de 6 pulg de diámetro por 12 pulg de altura, compactando cada capa con 56 golpes de un pisón de 10,00 lbf que se dejará caer desde una distancia de 457.2 mm.

A diferencia del método C de la norma ASTM D1557 que indica la elaboración del molde en 05 capas, en la presente investigación distribuiremos la elaboración de cada probeta en solo 04 capas, esto debido a investigaciones previas que mencionan que existe una mejor resistencia a la compresión cuando una probeta de concreto compactado es elaborada con este número de capas. Como las siguiente:

Escalaya (2006) nos menciona que, “considerando la apariencia de las probetas, el mínimo porcentaje de avería en los agregados y la densidad más próxima a la obtenida en el Proctor modificado, se eligió elaborar las probetas de Concreto Compactado en 04 capas”. (p.54)

Además, Espinoza (2019) concluye que, el moldeo de los especímenes para la elaboración del Concreto Compactado con un 14% de cemento y a cuatro capas de compactado, fue el que presentó mejores resultados semejantes a la resistencia de un concreto convencional $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ usado como referencia. (p.169)

Por otro lado, debido a algunas complicaciones al momento de compactar la última capa, se elaboró un collar de extensión metálica de 3 pulg, de altura (Fotografía N°12), que fue de gran ayuda para mejorar su compactación, posteriormente se procedió a enrasar cada probeta al momento de retirar dicho collar.

A las 24 horas de elaboradas las probetas, se procedió a desmoldar cada una y se sumergió en una poza llena de agua para el proceso de curado. Cada probeta fue mantenida completamente sumergida en el agua hasta un día antes de su ensayo a compresión.

3.4.6. DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO

Para la determinación del peso unitario de una probeta de concreto compactado fue necesario registrar ciertos datos, como los siguientes: la medición del diámetro y altura de cada probeta, el peso del molde y el peso del molde más el concreto. Luego de obtener estos datos, el peso unitario se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Peso Unitario} = \frac{P_1 - P_2}{V} \quad \dots (14)$$

Donde:

- P_1 = Peso del molde más el concreto.
- P_2 = Peso del molde.
- V = Volumen de la probeta.

3.4.7. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS

De acuerdo con la norma NTP 339.034 la resistencia a compresión del espécimen es calculado por la división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección transversal del espécimen. Además, menciona que el método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados.

Los resultados de los ensayos a resistencia a compresión se muestran en el Anexo N°05.

3.5. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.5.1. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

La investigación en estudio fue experimental para la recolección de datos, esto mediante los ensayos que se presenta a continuación, los cuales fueron elaborados en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca y en concordancia con las normas técnicas expuestas durante el desarrollo de esta investigación.

El tratamiento y análisis de datos se realizaron con la ayuda de tablas con resultados promedios de los ensayos, además de gráficos de barras, columnas y líneas; donde se compararon el concreto compactado patrón y el concreto compactado con variaciones de reemplazo porcentual de cemento por puzolana volcánica.

Para el tratamiento y análisis de datos de la presente investigación, se hizo uso del software denominado Excel, el cual nos permitió la elaboración de cálculos, tablas y gráficas de los datos obtenidos en los ensayos realizados.

3.5.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.5.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS Y PUZOLANA VOLCÁNICA

Las propiedades físicas y mecánicas de los agregados y puzolana se presentan en una tabla resumen, donde se promediaron los tres ensayos realizados por cada propiedad. Los resultados de cada probeta se muestran en el Anexo N°01.

DESCRIPCIÓN	UND	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	PUZOLANA
Tamaño Máximo del Agregado	-	-	3/4"	-
Módulo de Fineza	-	3.081	6.747	-
Contenido de Humedad	%	2.67	0.43	4.65
Peso Específico de Masa	g/cm ³	2.617	2.612	2.404
Porcentaje de Absorción	%	1.262	1.272	5.761
Peso Unitario Suelto Seco	kg/m ³	1650	1463	-
Peso Unitario Compactado Seco	kg/m ³	1793	1535	-
% de Material que pasa tamiz N°200	%	3.97	0.37	-
Abrasión (Desgaste Promedio)	%	-	29.59	-

Tabla N°04: Propiedades físicas y mecánicas de los agregados y puzolana volcánica
Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.2. DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO – DISEÑO DE CCR MEDIANTE METODOLOGÍA DE COMPACTACIÓN DE SUELOS

La dosificación del concreto compactado, se presentan en una tabla resumen de los materiales que serán necesarios para la elaboración de 1m³ de concreto. Los resultados para la dosificación del concreto patrón, además de la dosificación para el reemplazo del 8%, 12% y 16% de cemento por puzolana, se muestran en el Anexo N°03.

Cabe mencionar que la dosificación del concreto compactado fue realizada siguiendo el procedimiento indicado en la norma ACI 211.3R (detallado en el ítem 3.4.4.), donde se obtiene un peso total del material cementante, y es de este peso que se reemplaza porcentualmente el cemento por puzolana volcánica, en porcentajes de 8%, 12% y 16%. Debido a ello, al tener diferente peso específico entre el cemento y la puzolana volcánica es que la sumatoria de pesos de los materiales para 1m³ de cada reemplazo porcentual, varía ligeramente.

MATERIALES PARA 1 m ³	Concreto Patrón	Reemplazo de cemento por puzolana volcánica		
		Concreto con reemplazo 08%	Concreto con reemplazo 12%	Concreto con reemplazo 16%
CEMENTO (kg)	271.28	249.06	237.98	226.93
PUZOLANA (kg)	0.00	22.66	33.96	45.23
AGREGADO FINO (kg)	1165.05	1162.63	1161.42	1160.22
AGREGADO GRUESO (kg)	895.40	893.55	892.62	891.70
AGUA (l)	104.11	104.13	104.15	104.16

Tabla N°05: Dosificación del Concreto
Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.3. PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO

El peso unitario es presentado en una tabla resumen de los promedios del concreto patrón y variaciones del porcentaje de reemplazo de cemento por puzolana, además los promedios son comparados en un gráfico de barras. Los resultados de cada probeta se muestran en el Anexo N°04.

DOSIFICACIÓN	PESO UNITARIO (kg/m ³)
Concreto Patrón	2435.93
Concreto con reemplazo del 08% por puzolana	2431.05
Concreto con reemplazo del 12% por puzolana	2428.52
Concreto con reemplazo del 16% por puzolana	2427.45

Tabla N°06: Peso Unitario del concreto Fresco
Fuente: Elaboración Propia

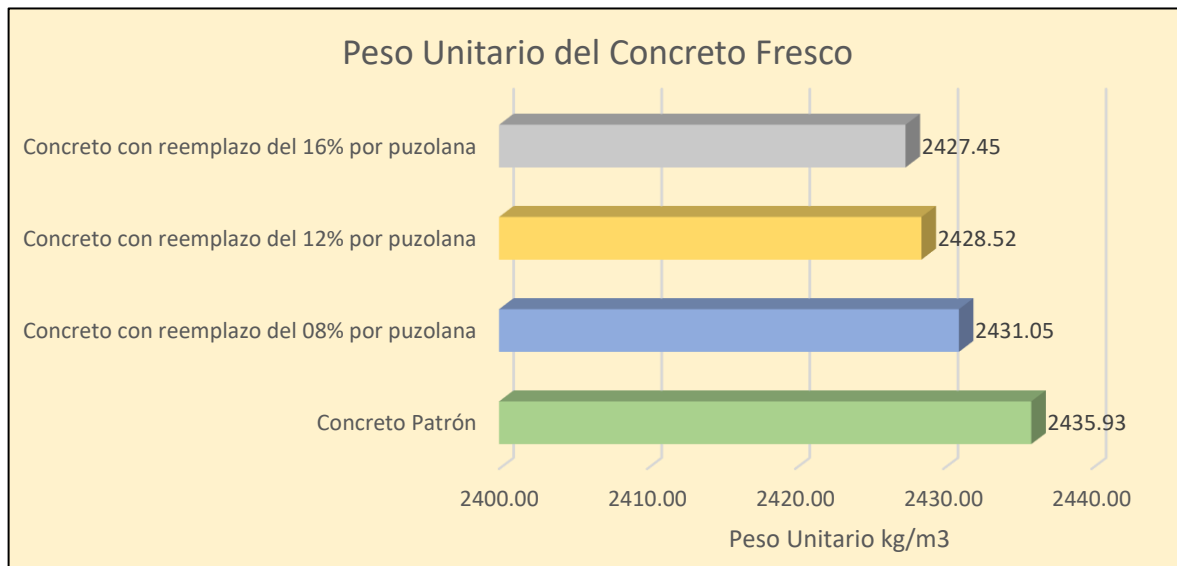


Figura N°14: Peso Unitario del Concreto Fresco

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a compresión será presentada en una tabla resumen, gráfico de líneas y un gráfico de barras. Los resultados de cada probeta se muestran en el Anexo N°05.

DOSIFICACIÓN	Edad: a los 7 días		
	f'c Obtenido (kg/cm ²)	Desviación Estándar	Varianza
Concreto Patrón	199.734	4.059	16.477
Concreto con reemplazo del 08% por puzolana	206.124	4.659	21.708
Concreto con reemplazo del 12% por puzolana	195.718	4.336	18.804
Concreto con reemplazo del 16% por puzolana	192.324	4.540	20.614

Tabla N°07: Resistencia a la compresión – Edad: 7 días de curado

Fuente: Elaboración Propia

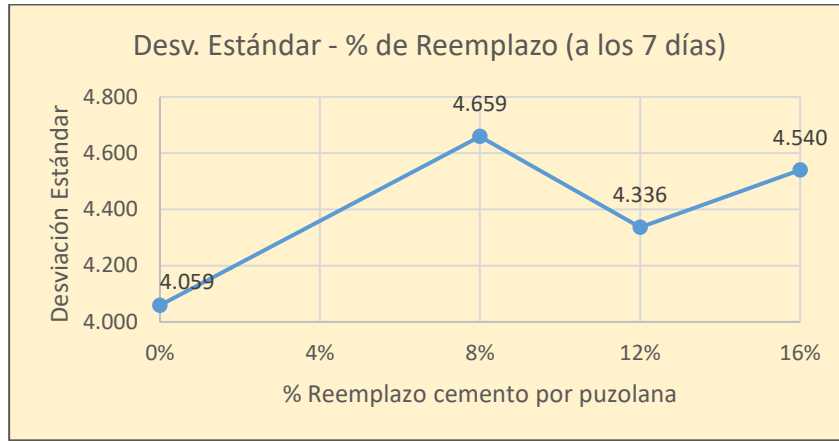


Figura N°15: Desv. Estándar - % de Reemplazo (a los 7 días)
Fuente: Elaboración Propia

DOSIFICACIÓN	Edad: a los 14 días		
	f'c Obtenido (kg/cm ²)	Desviación Estándar	Varianza
Concreto Patrón	254.954	3.269	10.683
Concreto con reemplazo del 08% por puzolana	265.050	3.487	12.160
Concreto con reemplazo del 12% por puzolana	257.653	3.945	15.566
Concreto con reemplazo del 16% por puzolana	247.621	3.784	14.321

Tabla N°08: Resistencia a la compresión – Edad: 14 días de curado
Fuente: Elaboración Propia

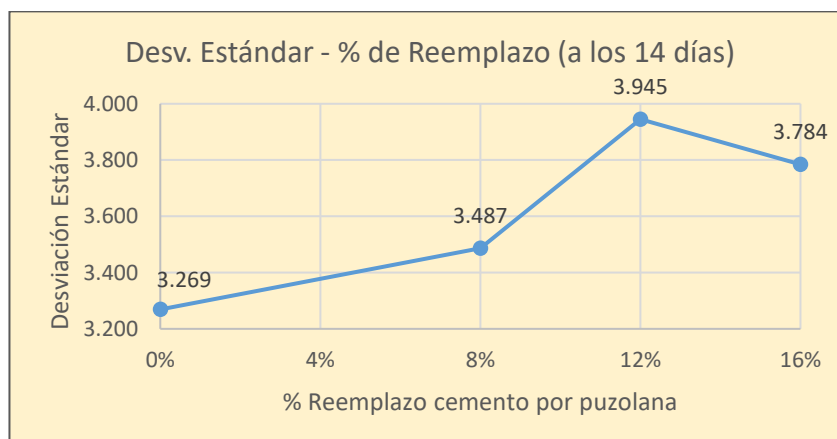


Figura N°16: Desv. Estándar - % de Reemplazo (a los 14 días)
Fuente: Elaboración Propia

DOSIFICACIÓN	Edad: a los 28 días		
	f'c Obtenido (kg/cm ²)	Desviación Estándar	Varianza
Concreto Patrón	285.629	4.472	20.000
Concreto con reemplazo del 08% por puzolana	301.406	4.736	22.427
Concreto con reemplazo del 12% por puzolana	289.864	3.466	12.014
Concreto con reemplazo del 16% por puzolana	282.496	5.042	25.418

Tabla N°09: Resistencia a la compresión – Edad: 28 días de curado

Fuente: Elaboración Propia

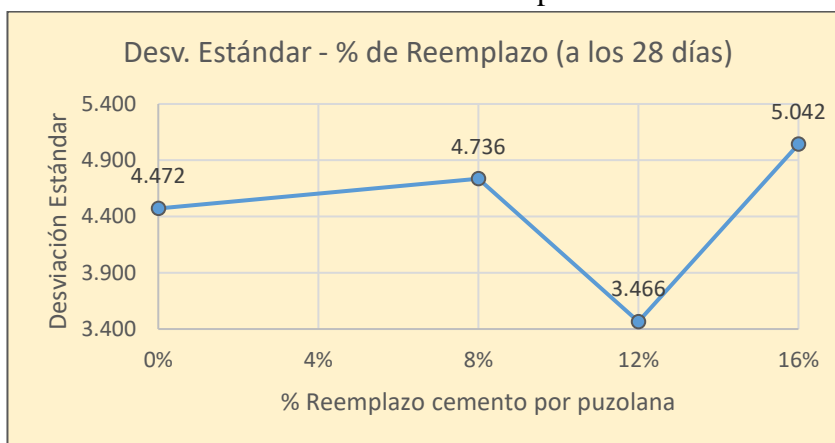


Figura N°17: Desv. Estándar - % de Reemplazo (a los 28 días)

Fuente: Elaboración Propia

DOSIFICACIÓN	Edad: a los 7 días		Edad: a los 14 días		Edad: a los 28 días	
	Carga de Rotura (Tn)	f'c Obtenido (kg/cm ²)	Carga de Rotura (Tn)	f'c Obtenido (kg/cm ²)	Carga de Rotura (Tn)	f'c Obtenido (kg/cm ²)
Concreto Patrón	36.30	199.734	46.35	254.954	51.65	285.629
Concreto con reemplazo del 08% por puzolana	37.45	206.124	48.40	265.050	54.75	301.406
Concreto con reemplazo del 12% por puzolana	35.65	195.718	46.90	257.653	52.75	289.864
Concreto con reemplazo del 16% por puzolana	34.85	192.324	45.20	247.621	51.20	282.496

Tabla N°10: Resistencia a la compresión - Resumen

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°18: Resistencia a la compresión – Edad de Curado (Diag. Líneas)
Fuente: Elaboración Propia

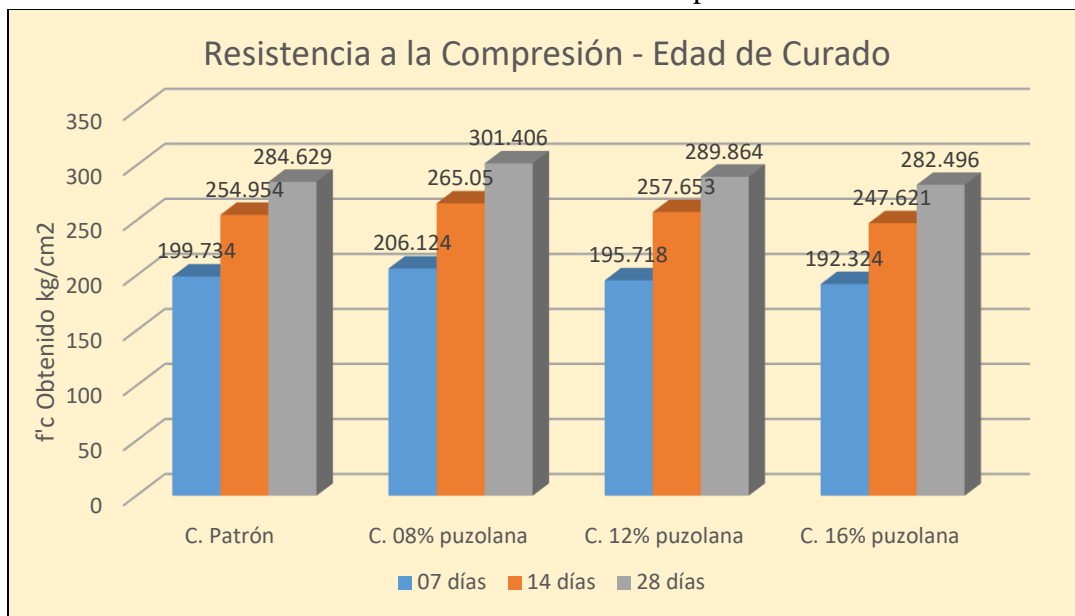


Figura N°19: Resistencia a la compresión – Edad de Curado (Graf. Barras)
Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

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

Del Anexo N°01 se puede decir que tanto el agregado grueso como fino cumplen con los requisitos de gradación establecidas en la norma NTP 400.037.

En cuanto al huso granulométrico se puede decir que el agregado grueso se encuentra dentro de los límites establecidos en el Huso “67”, mientras que en el agregado fino se encuentra dentro del Huso “M”.

En el agregado fino el módulo de fineza es 3.081, lo cual se encuentra dentro de los límites permisibles (2.3 – 3.1). Por otro lado, el porcentaje de material que pasa por el tamiz N°200 es de 3.97%, lo que se encuentra también por debajo del límite permitido (5%).

Del agregado grueso se puede mencionar que el porcentaje de material que pasa por el tamiz N°200 es de 0.37, lo que se encuentra por debajo del límite permitido (1%). Mientras que el desgaste promedio (abrasión) es de 29.59%, que también se encuentra debajo de su máximo valor (50%).

Por último, se puede mencionar que en cuanto a la puzolana volcánica analizamos 03 propiedades. El contenido de humedad que es de 4.65%, el peso específico de masa que fue de 2.404; lo cual no varía significativamente de los valores del agregado fino y grueso (Tabla N°.04). Mientras que en la propiedad de absorción se obtuvo un resultado de 5.761%, este valor si varía significativamente de los resultados obtenidos del agregado grueso (1.272%) y el agregado fino (1.262%).

4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO

De la tabla N°.05 en cuanto a la dosificación del concreto compactado se puede decir que los agregados fino y grueso, además del agua, no varían significativamente. Los únicos materiales variables serán el cemento y puzolana volcánica en cada diseño, que como el propio nombre de la investigación lo dice, existe un reemplazo de cemento por puzolana volcánica en los porcentajes de 08%, 12% y 16%.

4.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO

El peso unitario del concreto fresco se analiza de acuerdo a la tabla N°.06, en la cual se presenta el promedio de cada dosificación evaluada. Los valores obtenidos disminuyen ligeramente en cuanto se aumenta el porcentaje de reemplazo de cemento por puzolana volcánica. Pero en resumen se pudo observar que todos los promedios presentados son levemente superiores a 2400 kg/m^3 , que es el valor típico del peso unitario del concreto convencional.

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

En la tabla presentada a continuación se puede observar la comparación de los porcentajes obtenidos en relación a la resistencia a compresión del concreto de 280 kg/cm^2 propuesto en la presente investigación. A la edad de 07 días de curado, la resistencia a compresión de probetas, el concreto patrón y las tres variaciones con reemplazo de cemento por puzolana varían entre 68% y 74% de los 280 kg/cm^2 propuestos. A la edad de 14 días varían entre un 88% y 95%, mientras que a la edad de los 28 días el porcentaje obtenido superó ligeramente el propuesto, llegando a valores entre el 102% y el 108%.

DOSIFICACIÓN	Edad: a los 7 días		Edad: a los 14 días		Edad: a los 28 días	
	f'c	% Obtenido	f'c	% Obtenido	f'c	% Obtenido
	Obtenido (kg/cm^2)	de 280 (kg/cm^2)	Obtenido (kg/cm^2)	de 280 (kg/cm^2)	Obtenido (kg/cm^2)	de 280 (kg/cm^2)
Concreto Patrón	199.734	71.33	254.954	91.05	285.629	102.01
Concreto con reemplazo del 08% por puzolana	206.124	73.62	265.050	94.66	301.406	107.64
Concreto con reemplazo del 12% por puzolana	195.718	69.90	257.653	92.02	289.864	103.52
Concreto con reemplazo del 16% por puzolana	192.324	68.69	247.621	88.44	282.496	100.89

Tabla N°11: Comparación entre porcentajes obtenidos de 280 kg/cm^2 en diferentes dosificaciones y edades de curado

Fuente: Elaboración Propia

Estos datos se validan mediante los resultados mostrados en las figuras N°15, 16 y 17, donde se muestra que para una edad de curado de 7 días la desviación estándar varía entre los 4.05 y 4.66. Mientras que, para los 14 días de curado, la desviación estándar varía entre los 3.26 y 3.95. Por último, a la edad de curado de 28 días, la desviación estándar varía los 3.46 y 5.05. En cuanto a las figuras N°18 y 19, que realiza una comparación entre la resistencia a compresión de las distintas dosificaciones y el tiempo de curado, podemos mencionar que la dosificación con mejor comportamiento fue la del concreto con reemplazo del 08% de cemento por puzolana volcánica en todas las edades en estudio, obteniendo una máxima resistencia a los 28 días de curado de 301.41 kg/cm^2 , lo cual representa el 107.64% de los 280 kg/cm^2 propuestos. Por otro lado, la dosificación con peor comportamiento fue la del concreto con reemplazo del 16%, obteniendo una resistencia de 282.50 kg/cm^2 a los 28 días de curado, que incluso es ligeramente inferior a la resistencia del concreto patrón a la misma edad de curado.

4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON LA HIPÓTESIS GENERAL

La hipótesis general se contrasta en la dosificación del reemplazo del 08% de cemento por puzolana volcánica en el concreto compactado, debido a que la resistencia a la compresión del concreto compactado a los 28 días de curado aumentó en más del 5%, valor que fue planteado en la hipótesis de la presente investigación. Aumentando exactamente en 5.89% con respecto al concreto patrón.

Por otro parte, en las dosificaciones del reemplazo del 12 y 16% de reemplazo de cemento por puzolana volcánica no se contrastó la hipótesis planteada. Ya que, para el 12% de reemplazo solo se alcanzó un aumento del 1.84% en la resistencia a compresión y para el 16% de reemplazo, la resistencia a compresión disminuyó en 0.75% con respecto al concreto patrón.

4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON ANTECEDENTES TEÓRICOS

Cabe mencionar que no se pudo encontrar alguna investigación previa a esta, donde se analice la resistencia a compresión del reemplazo de cemento por puzolana volcánica en un concreto compactado, es por ello que se decidió comparar por separado los resultados obtenidos con los antecedentes teóricos donde se analice el comportamiento de la puzolana volcánica en un concreto convencional; y por otro lado, los resultados obtenidos en investigaciones sobre el diseño de concreto compactado. Es por ello que:

Al comparar los resultados de la presente investigación con los antecedentes teóricos presentados, se puede observar que se contrasta parcialmente con los resultados de Castro (2020) ya que en su estudio compara la resistencia del concreto con reemplazo de cemento por puzolana en porcentajes de 5, 10, 15 y 20%, concluyendo que, en todos los porcentajes, menos en el caso del reemplazo del 20%, logran alcanzar su resistencia diseño a la edad de curado de 28 días. En el caso del reemplazo del 20% de puzolana, existió una ligera disminución en su resistencia. En la presente investigación, existe un aumento en la resistencia a compresión al 08 y 12% de reemplazo de cemento por puzolana, pero al reemplazar el 16% existió una ligera disminución en cuanto a la resistencia.

Por otra parte, existe una discrepancia con Mendoza (2017), ya que en su investigación afirma que el porcentaje óptimo de reemplazo de cemento por puzolana volcánica, en concreto convencional, es del 10% con un aumento de resistencia a compresión de un 13%. Mientras que, en el presente estudio, los resultados para el diseño de un concreto compactado, nos dice que el mejor porcentaje de reemplazo de cemento por puzolana es del 08%, llegando solamente a un aumento de resistencia a compresión del 5.89% en relación al concreto patrón.

Con respecto a los resultados del diseño de concreto compactado, en cuanto a su dosificación y la relación con la resistencia a compresión se puede contrastar los resultados con Espinoza (2019), que nos muestra un estudio donde se analizan tres diseños de mezclas, variando el porcentaje de cemento a usar con relación a su peso total de agregados. Teniendo un mejor resultado en el diseño con el componente cemento en un 14% del peso total de agregados, lo cual se contrasta con nuestra investigación, donde diseñamos el concreto compactado con el componente cemento en un 13.5% del peso de los agregados.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

- Se determinó que, a los 7, 14 y 28 días de curado del concreto, el reemplazo del 08% de cemento por puzolana volcánica en el concreto compactado $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, influye de manera positiva en cuanto a la resistencia a compresión. Como se puede observar en la resistencia obtenida a los 28 días de curado, donde se obtuvo una resistencia promedio de 301.41 kg/cm^2 , lo cual representa un aumento de 5.89% con respecto a lo obtenido en el diseño del concreto patrón a la misma edad de curado. Cabe mencionar que la resistencia a compresión para los 7 y 14 días de curado también aumentó, en los porcentajes de 3.20% y 3.96% respectivamente.
- Se determinó que, a los 14 y 28 días de curado del concreto, el reemplazo del 12% de cemento por puzolana volcánica en el concreto compactado $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, influye de manera positiva en cuanto a la resistencia a compresión. Como se puede observar en la resistencia obtenida a los 28 días de curado, donde se obtuvo una resistencia promedio de 289.864 kg/cm^2 , lo cual representa un ligero aumento de 1.84% con respecto a lo obtenido en el diseño del concreto patrón a la misma edad de curado. Cabe mencionar que la resistencia que para los 14 días evidenció un aumento en su resistencia del 1.06%. Por el contrario, la resistencia a compresión para los 7 días de curado disminuyó en 2.01% con respecto al concreto patrón a la misma edad de curado.
- Se determinó que, a los 7, 14 y 28 días de curado del concreto, el reemplazo del 16% de cemento por puzolana volcánica en el concreto compactado $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, influye de manera negativa en cuanto a la resistencia a compresión. Como se puede observar en la resistencia obtenida a los 28 días de curado, donde se obtuvo una resistencia promedio de 282.496 kg/cm^2 , lo cual representa una ligera disminución del 0.75% con respecto a lo obtenido en el diseño del concreto patrón a la misma edad de curado que tuvo una resistencia de 284.629 kg/cm^2 . Cabe mencionar que la resistencia a compresión para los 7 y 14 días de curado también disminuyó, en los porcentajes de 3.71% y 2.88% respectivamente, con respecto al concreto patrón.
- De la investigación en general se concluye que, la resistencia compresión en todas las edades evaluadas, tiene una mejoría con el reemplazo del 8% y 12% de

cemento por puzolana volcánica, por otro lado, al ser reemplazado en un 16% existió una ligera disminución de la resistencia a compresión en relación del concreto patrón. Esta información se puede apreciar gráficamente en la figura N°15.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el análisis del concreto compactado con reemplazo de cemento por puzolana volcánica en porcentajes menores al 8%.
- También se recomienda, realizar el estudio del concreto compactado con el reemplazo de cemento por algún tipo de ceniza volante, y así determinar si influye positivamente o no en la resistencia a compresión.
- Además, se recomienda realizar un análisis de costos unitarios completo, para demostrar que el concreto compactado es una alternativa económica en comparación a la elaboración del concreto convencional.
- Por último, se recomienda realizar investigaciones sobre el concreto compactado con reemplazo parcial del cemento por puzolana volcánica, usando aditivos retardantes de fraguado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilar, D. (2019) Variación de la resistencia a compresión de un concreto compactado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ al usar agregado grueso reciclado. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
2. Alvarado, J. (2014) Estudio descriptivo de la tecnología del concreto compactado con rodillo y su aplicabilidad en pavimentos. Universidad Militar de Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
3. Bernabeu, J. & Quiñonez, J. (2015) Caracterización de puzolanas de origen volcánico de Guatemala: Posibilidad de uso en materiales prefabricados para construcción y rehabilitación de viviendas sociales. Universidad de San Carlos, Guatemala.
4. Borré, G (2017) Estudio de resistencia de concreto compactado con rodillo utilizando material asfáltico molido para base de piso. Universidad Federal de Santa María, Brasil.
5. Castro, P (2020) Estudio de la sustitución parcial de cemento de alta resistencia inicial por puzolana de ceniza volcánica en el diseño de hormigón. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
6. Cambronero, L., Alique, A., Moraño, A., Ruiz, J. (2002) Estudio sobre la aplicabilidad de materiales volcánicos de carácter ácido procedentes de El Salvador como material de construcción. Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos, Gandía, España.
7. Escalaya (2006) Diseño de mezclas de concreto compactado con rodillo utilizando conceptos de compactación de suelos. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
8. Espinoza, P (2019) Análisis del comportamiento mecánico del concreto compactado con rodillo (CCR) para la rehabilitación de las vías urbanas en la ciudad de Huánuco – 2017. Universidad de Huánuco, Perú.
9. Gurreonero, J. (2020) Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de un concreto convencional y un concreto compactado con rodillo para pavimentos, Lima 2019. Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
10. Gutiérrez, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

11. Kosmatka, S. & Kerkhoff, B. (2004) Diseño de mezclas de concreto. Portland Cement Association.
12. Mancipe, J. & Pereira, L (2007) Diseño de concretos de alta resistencia a partir de una puzolana natural. Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.
13. Mendoza, A. (2017) Determinación de las propiedades físico – mecánicas de un concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de puzolana volcánica en Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
14. Metha, K. & Monteiro, P. (1998) Concreto. Estructura, propiedades y materiales. Universidad de California, Berkeley, Estados Unidos.
15. Portland Cement Association - PCA (2010) Guide for Roller – Compacted Concrete Pavements. Iowa State University, Estados Unidos.
16. Requejo, L (2021) Efecto en las propiedades físicas – mecánicas del concreto con resistencias 210 y 280 kg/cm^2 al sustituir material cementicio por costra producto de la elaboración del clínker. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
17. Rocha, P. (1994) Estado del arte de los pavimentos de concreto compactado con rodillo. Asociación de Productores de Cemento.
18. Rosales, V. (2012) Geología y caracterización física de puzolanas de la zona oriental de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.
19. Santaella, L. (1999) Comentarios sobre el concreto compactado con rodillo. Universidad Militar de Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
20. Villegas, C. (2012) Utilización de puzolanas naturales en la elaboración de prefabricados con base cementicia destinados a la construcción de viviendas de bajo costo. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

NORMAS

1. ACI 116 (1999) Cement and Concrete Terminology. American Concrete Institute.
2. ACI 211 (2009) Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete. ACI 211.3R-02, American Concrete Institute.
3. ACI 318 (2014) Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. ACI 318S – 2014. American Concrete Institute.
4. ACI Committe 325 (1995) Report on Roller – Compacted Concrete Pavements, ACI 325.10R, American Concrete Institute.

5. ASTM C33 (2013) Standard specifications for aggregates. American Society for Testing and Materials.
6. ASTM C150 (2003) Standard Specification for Portland Cement. American Society for Testing and Materials.
7. ASTM C219 (2003) Standard Terminology Relating to Hydraulic and Other Inorganic Cements. American Society for Testing and Materials.
8. ASTM D1557 (2009) Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort. American Society for Testing and Materials.
9. N.T.E. E.060 (2009) Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
10. NTP 334.104 (2011) CEMENTOS. Ceniza volante y puzolana natural cruda o calcinada para uso en concreto. Especificaciones. Norma Técnica Peruana.
11. NTP 339.034 (2015) CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Norma Técnica Peruana.
12. NTP 339.185 (2002) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Norma Técnica Peruana.
13. NTP 400.012 (2018) AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Norma Técnica Peruana.
14. 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 los agregados. Norma Técnica Peruana.
15. NTP 400.018 (2002) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75um (N° 200) por lavado en agregados. Norma Técnica Peruana.
16. NTP 400.019 (2002) 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 Angeles. Norma Técnica Peruana.
17. NTP 400.021 (2018) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Norma Técnica Peruana.

18. NTP 400.022 (2013) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Norma Técnica Peruana.
19. NTP 400.037 (2014) Agregados especificaciones normalizadas para concreto. Norma Técnica Peruana.

ANEXOS

ANEXO N°01: PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

A. AGREGADO FINO:

1. Análisis Granulométrico:

Ensayo N°01

AGREGADO FINO					
Peso Seco Inicial (g) = 1000					
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa
Nº	Abertura (mm)				
3/8"	9.53	0	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.75	58	5.80	5.80	94.20
Nº 8	3.36	197	19.70	25.50	74.50
Nº 16	1.18	192	19.20	44.70	55.30
Nº 30	0.6	142	14.20	58.90	41.10
Nº 50	0.3	206	20.60	79.50	20.50
Nº 100	0.15	144	14.40	93.90	6.10
Nº 200	0.075	41	4.10	98.00	2.00
Cazoleta		20	2.00	100.00	0.00
TOTAL		1000			
MÓDULO DE FINEZA =				3.083	

Tabla N°12: Ensayo N°01 de Análisis Granulométrico del Agregado Fino

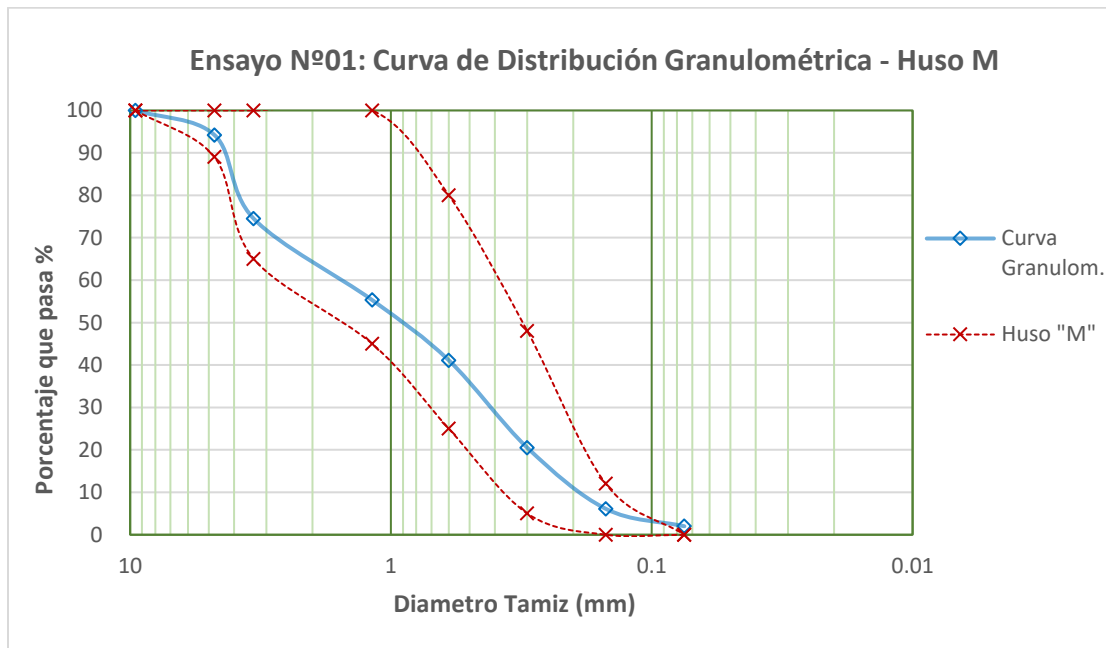


Figura N°20: Ensayo N°01. Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Fino

Ensayo N°02

AGREGADO FINO					
Peso Seco Inicial (g) = 1000					
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa
Nº	Abertura (mm)				
3/8"	9.53	0	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.75	60	6.00	6.00	94.00
Nº 8	3.36	191	19.10	25.10	74.90
Nº 16	1.18	198	19.80	44.90	55.10
Nº 30	0.6	149	14.90	59.80	40.20
Nº 50	0.3	188	18.80	78.60	21.40
Nº 100	0.15	152	15.20	93.80	6.20
Nº 200	0.075	41	4.10	97.90	2.10
Cazoleta		21	2.10	100.00	0.00
TOTAL		1000			
MÓDULO DE FINEZA =				3.082	

Tabla N°13: Ensayo N°02 de Análisis Granulométrico del Agregado Fino

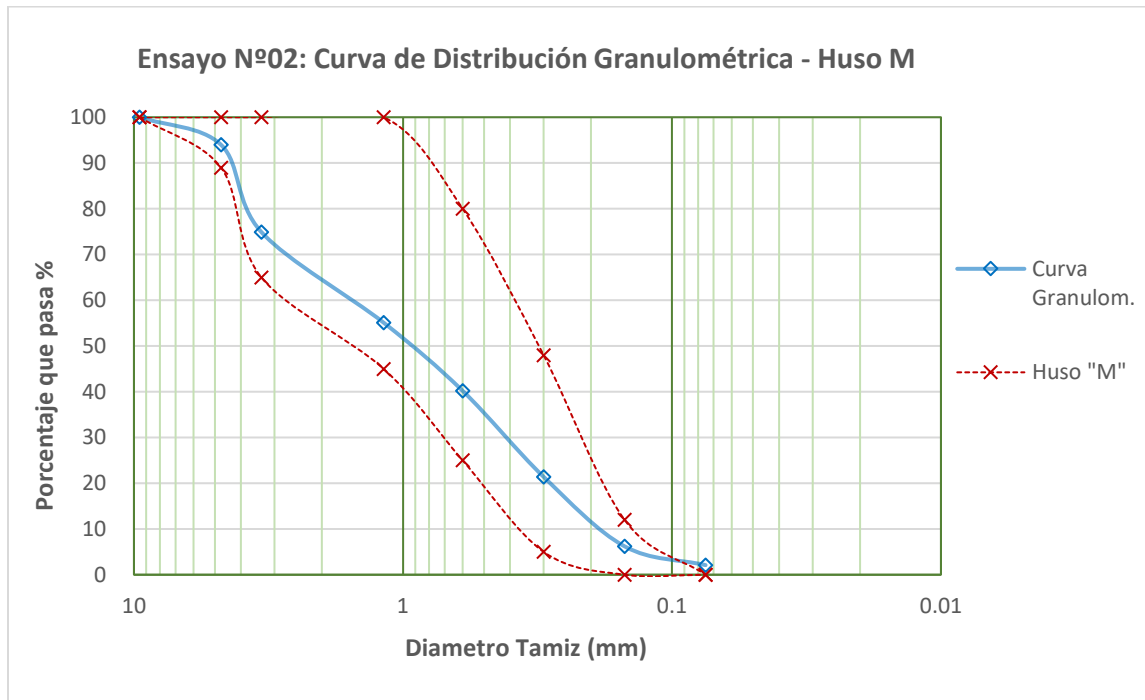


Figura N°21: Ensayo N°02. Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Fino

Ensayo N°03

AGREGADO FINO					
Peso Seco Inicial (g) =					1000
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa
Nº	Abertura (mm)				
3/8"	9.53	0	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.75	65	6.50	6.50	93.50
Nº 8	3.36	187	18.70	25.20	74.80
Nº 16	1.18	205	20.50	45.70	54.30
Nº 30	0.6	141	14.10	59.80	40.20
Nº 50	0.3	169	16.90	76.70	23.30
Nº 100	0.15	172	17.20	93.90	6.10
Nº 200	0.075	43	4.30	98.20	1.80
Cazoleta		18	1.80	100.00	0.00
TOTAL		1000			
MÓDULO DE FINEZA =					3.078

Tabla N°14: Ensayo N°03 de Análisis Granulométrico del Agregado Fino

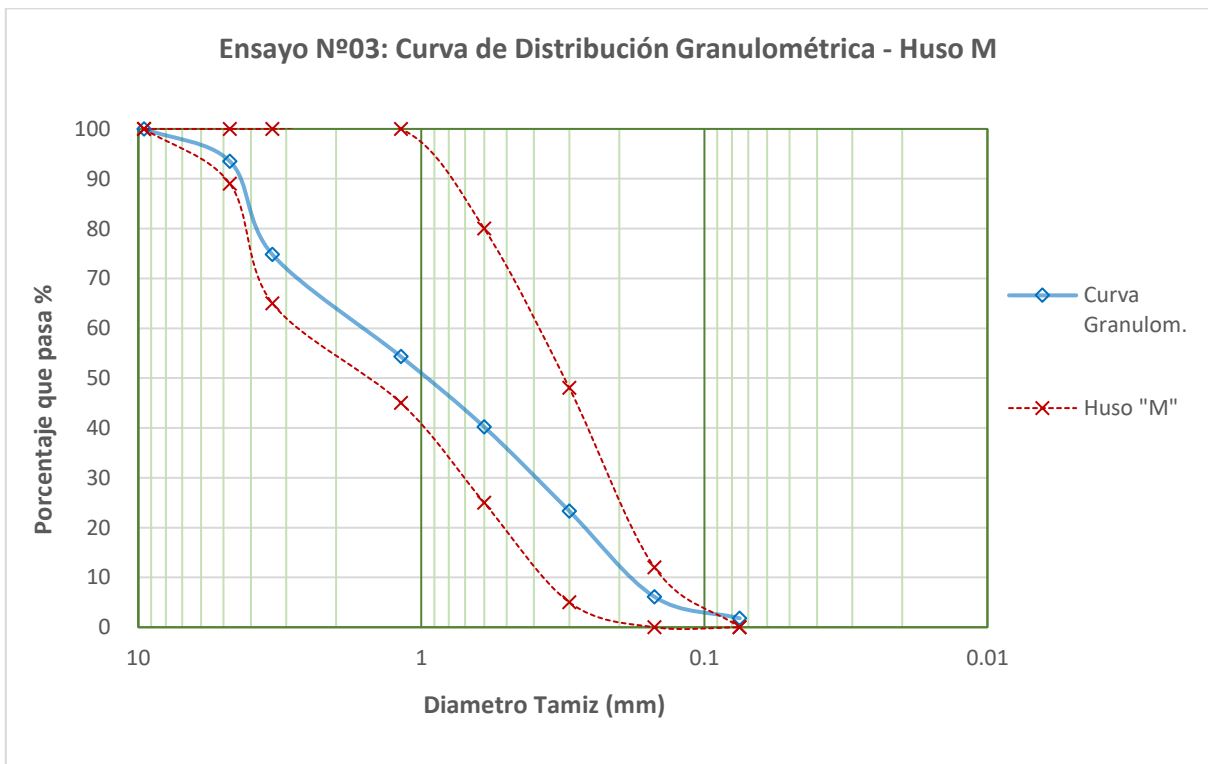


Figura N°22: Ensayo N°03. Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Fino

2. Contenido de Humedad:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso del Recipiente	g	110	115	108	
Peso del Recipiente + muestra húmeda	g	885	889	907	
Peso del Recipiente + muestra seca	g	865	868	887	
Peso del Agua	g	20	21	20	
Peso Muestra Seca	g	755	753	779	
Contenido de Humedad	%	2.65	2.79	2.57	2.67

Tabla N°15: Contenido de Humedad del Agregado Fino

3. Peso Específico y Absorción:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso de la fiola	g	163.2	163.2	145	
Peso de la fiola + agua hasta menisco	g	661	660	640	
Peso de la fiola + agua + muestra	g	973	971	951	
Peso de la muestra superficialmente seca	g	500	500	500	
Peso de la muestra secada en el horno	g	493.8	493.5	494	
Volumen de agua añadida al frasco	g	309.8	307.8	306	
Peso Específico de Masa	g/m³	2.627	2.611	2.614	2.617
Peso Específico de Masa SSS	g/m³	2.660	2.646	2.646	2.650
Peso Específico Aparente	g/m³	2.716	2.704	2.699	2.707
Absorción	%	1.256	1.317	1.215	1.262

Tabla N°16: Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Fino

4. Peso Unitario:

4.1. Peso Específico del Agua:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso de la fiola	g	163.20	163.20	163.20	
Peso de la fiola + agua	g	661.50	660.90	661.20	
Volumen de la fiola	cm ³	500.00	500.00	500.00	
Peso específico	g/cm³	0.9966	0.9954	0.996	0.9960
Peso específico	kg/cm³	996.60	995.40	996.00	996.00

Tabla N°17: Ensayo de Peso Específico del Agua

4.2. Factor del Molde:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso de molde	g	3873	3873	3873	
Peso de molde + vidrio	g	4402	4402	4402	
Peso de molde + vidrio + agua	g	7374	7371	7373	
Peso de agua	Kg	2.972	2.969	2.971	
Factor	1/m³	335.128	335.466	335.241	335.278

Tabla N°18: Factor del Molde para Agregado Fino

4.3. Peso Unitario Seco Suelto:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso de molde	g	3873	3873	3873	
Peso de molde + muestra suelta	g	8771	8788	8825	
Peso de la muestra suelta	Kg	4.898	4.915	4.952	
Factor	1/m ³	335.28	335.28	335.28	
Peso Unitario Suelto	g/cm³	1.642	1.648	1.660	1.650
Peso Unitario Suelto	Kg/cm³	1642	1648	1660	1650

Tabla N°19: Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Fino

4.4. Peso Unitario Compactado:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso de molde	g	3873	3873	3873	
Peso de molde + muestra suelta	g	9201	9223	9239	
Peso de la muestra suelta	Kg	5.328	5.35	5.366	
Factor	1/m ³	335.28	335.28	335.28	
Peso Unitario Suelto	g/cm³	1.786	1.794	1.799	1.793
Peso Unitario Suelto	Kg/cm³	1786	1794	1799	1793

Tabla N°20: Peso Unitario Compactado del Agregado Fino

5. % de Material que Pasa el Tamiz N°200:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso de la muestra original	g	500.0	500.0	500.0	
Peso de la muestra lavada	g	479.5	481.0	480.0	
Peso del material que pasa el Tamiz N°200	g	20.5	19.0	20.0	
% de Material que pasa el Tamiz N°200	%	4.10	3.80	4.00	3.97

Tabla N°21: Porcentaje de Material que pasa el Tamiz N°200 del Agregado Fino

B. AGREGADO GRUESO:

1. Análisis Granulométrico:

Ensayo N°01

AGREGADO GRUESO					
Peso Seco Inicial (g)=					6000
Tamiz	Peso	Porcentaje	Porcentaje		
Nº	Abertura (mm)	Retenido Parcial (g)	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa
3/4"	19.05	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	3118	51.97	51.97	48.03
3/8"	9.53	1518	25.30	77.27	22.73
Nº 4	4.75	1348	22.47	99.73	0.27
Cazoleta	-	16	0.27	100.00	0.00
TOTAL		6000			
MÓDULO DE FINEZA =					6.76

Tabla N°22: Ensayo N°01 de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

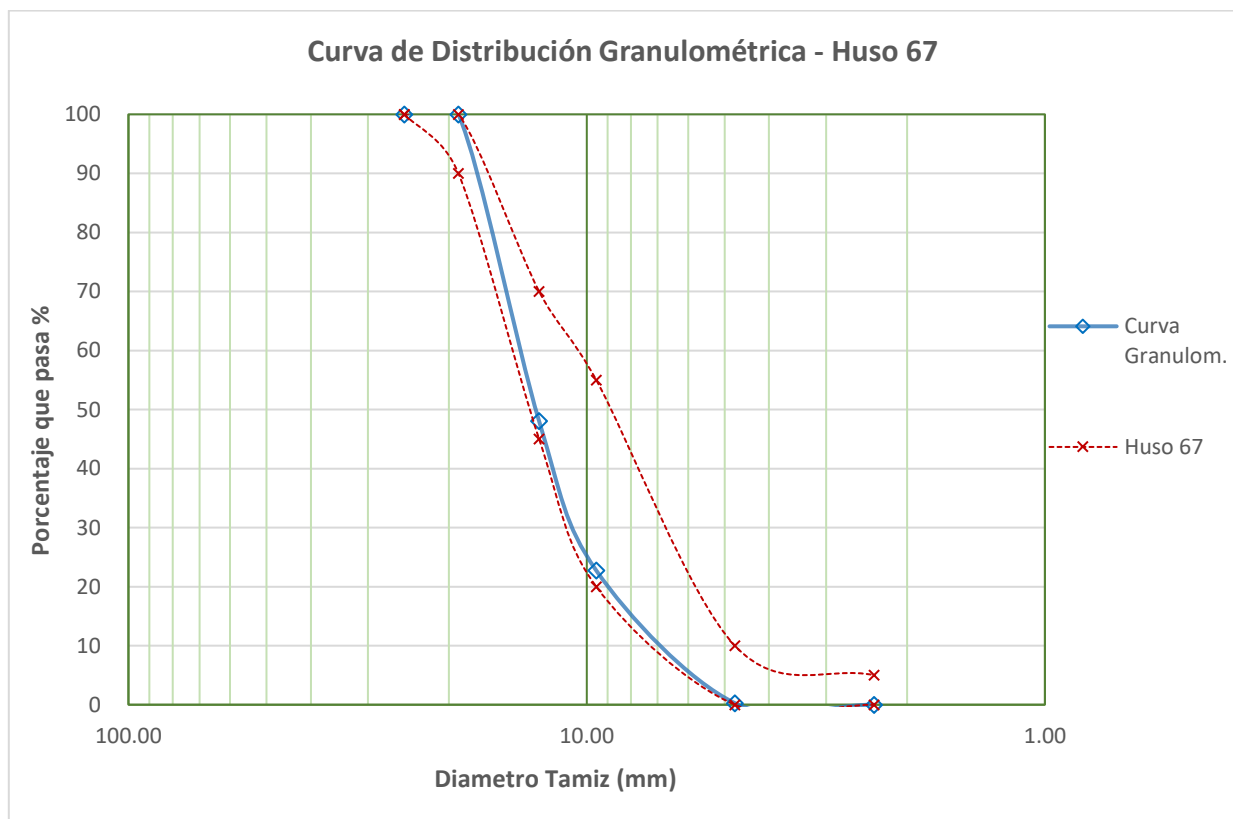


Figura N°23: Ensayo N°01. Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Grueso

Ensayo N°02

AGREGADO GRUESO					
Peso Seco Inicial (g)=					6000
Tamiz		Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje que Pasa
Nº	Abertura (mm)	Retenido Parcial (g)	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	
3/4"	19.05	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	3082	51.37	51.37	48.63
3/8"	9.53	1492	24.87	76.23	23.77
Nº 4	4.75	1404	23.40	99.63	0.37
Cazoleta	-	22	0.37	100.00	0.00
TOTAL		6000			
MÓDULO DE FINEZA =					6.74

Tabla N°23: Ensayo N°02 de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

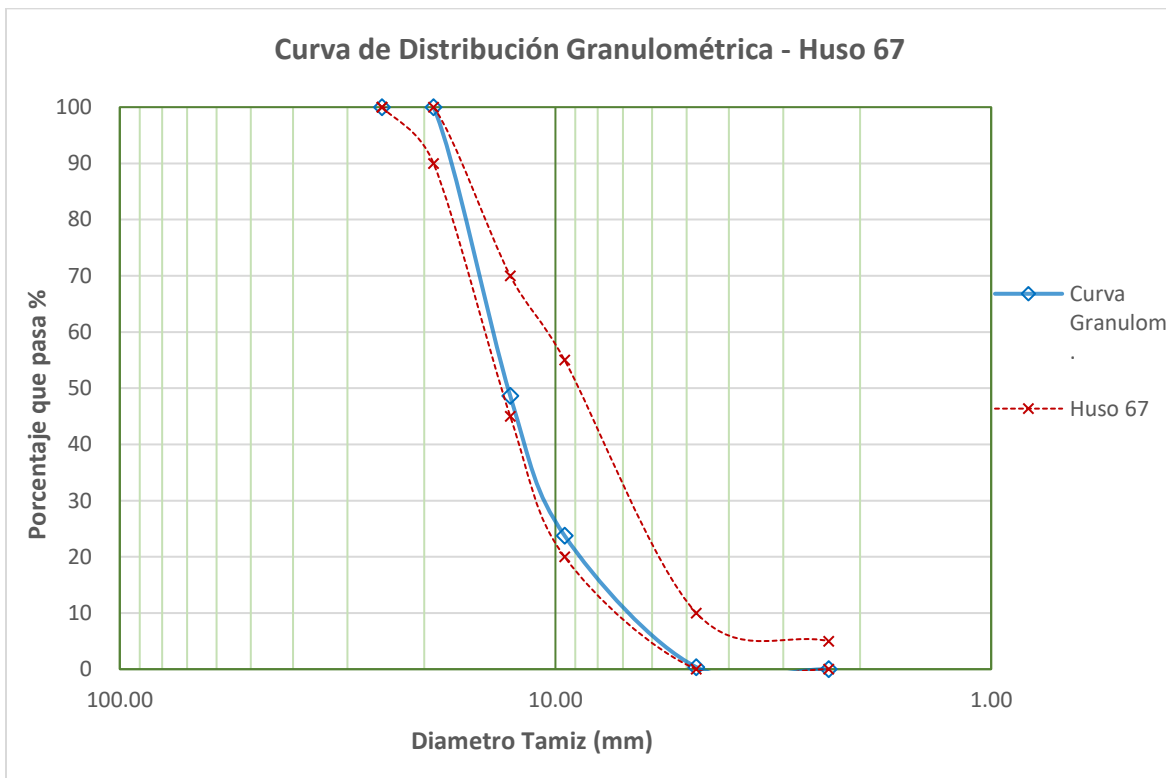


Figura N°24: Ensayo N°02. Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Grueso

Ensayo N°03

AGREGADO GRUESO					
Peso Seco Inicial (g) = 6000					
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa
Nº	Abertura (mm)				
3/4"	19.05	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	3052	50.87	50.87	49.13
3/8"	9.53	1510	25.17	76.03	23.97
Nº 4	4.75	1422	23.70	99.73	0.27
Cazoleta		16	0.27	100.00	0.00
TOTAL		6000			
MÓDULO DE FINEZA =				6.74	

Tabla N°24: Ensayo N°03 de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

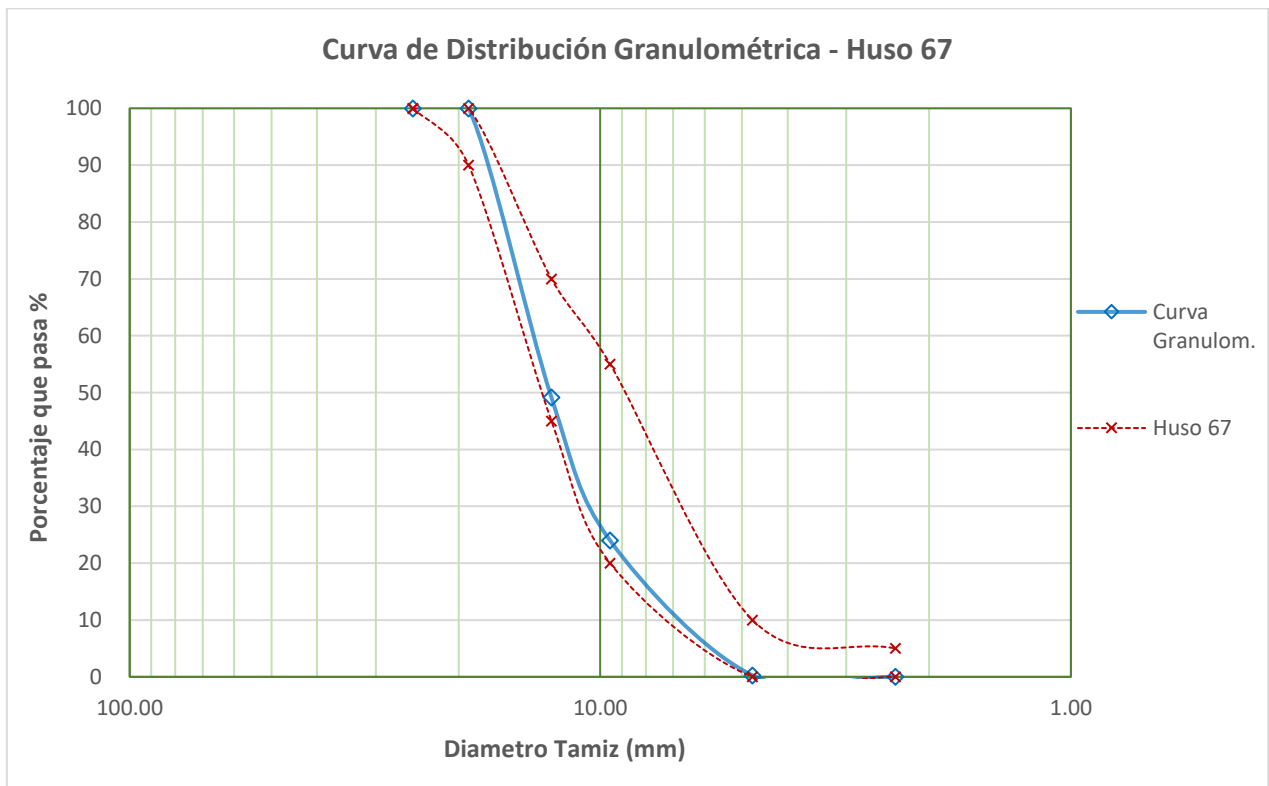


Figura N°25: Ensayo N°03. Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Grueso

2. Contenido de Humedad:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso del Recipiente	g	283	221	158	
Peso del Recipiente + muestra húmeda	g	1614	1632	1651	
Peso del Recipiente + muestra seca	g	1609	1625	1645	
Peso del Agua	g	5	7	6	
Peso Muestra Seca	g	1326	1404	1487	
Contenido de Humedad	%	0.38	0.50	0.40	0.43

Tabla N°25: Contenido de Humedad del Agregado Grueso

3. Peso Específico y Absorción:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso de la muestra Saturada con Superficie Seca (SSS)	g	3000	3000	3000	
Peso de la canastilla sumergida	g	2109	2109	2109	
Peso de la muestra SSS + canastilla sumergida	g	3975	3964	3985	
Peso en el agua de la muestra saturada	g	1866	1855	1876	
Peso en el aire de la muestra secada al horno	g	2960	2965	2962	
Peso Específico de Masa	g/m³	2.610	2.590	2.635	2.612
Peso Específico de Masa SSS	g/m³	2.646	2.620	2.669	2.645
Peso Específico Aparente	g/m³	2.706	2.671	2.727	2.701
Absorción	%	1.351	1.180	1.283	1.272

Tabla N°26: Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso

4. Peso Unitario:

4.1. Peso Específico del Agua:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso de la fiola	g	163.20	163.20	163.20	
Peso de la fiola + agua	g	661.50	660.90	661.20	
Volumen de la fiola	cm ³	500.00	500.00	500.00	
Peso específico	g/cm³	0.9966	0.9954	0.996	0.9960
Peso específico	kg/cm³	996.60	995.40	996.00	996.00

Tabla N°27: Ensayo de Peso Específico del Agua

4.2. Factor del Molde:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso de molde	g	4204.00	4204.00	4204.00	
Peso de molde + vidrio	g	6432.00	6432.00	6432.00	
Peso de molde + vidrio + agua	g	16154.00	16149.00	16156.00	
Peso de agua	Kg	9.722	9.717	9.724	
Factor	1/m³	102.448	102.501	102.427	102.459

Tabla N°28: Factor del Molde para Agregado Grueso

4.3. Peso Unitario Seco Suelto:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso de molde	g	4204.00	4204.00	4204.00	
Peso de molde + muestra suelta	g	18494.00	18490.00	18463.00	
Peso de la muestra suelta	Kg	14.290	14.286	14.259	
Factor	1/m ³	102.46	102.46	102.46	
Peso Unitario Suelto	g/cm³	1.464	1.464	1.461	1.463
Peso Unitario Suelto	Kg/cm³	1464	1464	1461	1463

Tabla N°29: Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Grueso

4.4. Peso Unitario Compactado:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso de molde	g	4204	4204	4204	
Peso de molde + muestra suelta	g	19192	19186	19172	
Peso de la muestra suelta	Kg	14.988	14.982	14.968	
Factor	1/m ³	102.46	102.46	102.46	
Peso Unitario Suelto	g/cm³	1.536	1.535	1.534	1.535
Peso Unitario Suelto	Kg/cm³	1536	1535	1534	1535

Tabla N°30: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso

5. % de Material que Pasa el Tamiz N°200:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso de la muestra original	g	2800	2800	2800	
Peso de la muestra lavada	g	2790	2788	2791	
Peso del material que pasa el Tamiz N°200	g	10	12	9	
% de Material que pasa el Tamiz N°200	%	0.36	0.43	0.32	0.37

Tabla N°31: Porcentaje de Material que pasa el Tamiz N°200 del Agregado Grueso

6. Ensayo de Abrasión:

Gradación	Equipo Mecánico	Nº Revoluciones	Nº Esferas	Velocidad (rev./min)	Tamaño Máximo Nominal
B	Máquina de Los Ángeles	500	11	30-33	1/2"
Nº de Ensayos			1	2	3
Peso inicial de la muestra seca (g)			5000	5000	5000
Peso retenido en la malla Nº12 lavado y seco (g)			3547	3494	3520
Desgaste (%)			29.06	30.12	29.60
Desgaste Promedio (%)				29.59	

Tabla N°32: Ensayo de Abrasión del Agregado Grueso

C. PUZOLANA VOLCÁNICA:

1. Contenido de Humedad:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso del Recipiente	g	69	87	71	
Peso del Recipiente + muestra húmeda	g	630	660	670	
Peso del Recipiente + muestra seca	g	607	632	644	
Peso del Agua	g	23	28	26	
Peso Muestra Seca	g	538	545	573	
Contenido de Humedad	%	4.28	5.14	4.54	4.65

Tabla N°33: Contenido de Humedad de la Puzolana Volcánica

2. Peso Específico y Absorción:

Descripción	Und	M1	M2	M3	Promedio
Peso de la fiola	g	163.2	197	145	
Peso de la fiola + agua hasta menisco	g	661	694	641	
Peso de la fiola + agua + muestra	g	964	998	944	
Peso de la muestra superficialmente seca	g	500	500	500	
Peso de la muestra secada en el horno	g	472.8	472	473.5	
Volumen de agua añadida al frasco	g	300.8	301	299	
Peso Específico de Masa	g/m3	2.400	2.408	2.404	2.404
Peso Específico de Masa SSS	g/m3	2.538	2.551	2.538	2.542
Peso Específico Aparente	g/m3	2.784	2.810	2.777	2.790
Absorción	%	5.753	5.932	5.597	5.761

Tabla N°34: Ensayo de Peso Específico y Absorción de la Puzolana Volcánica

ANEXO N°02: ENSAYOS PARA LA DOSIFICACIÓN POR LA METODOLOGÍA DE COMPACTACIÓN DE SUELOS EN CONCRETO COMPACTADO

% DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS				
De 4000 g	Agregado Fino	56%	→	2240 g
	Agregado Grueso	44%	→	1760 g

GRADACIÓN ÓPTIMA DE AGREGADOS							
Peso Seco Inicial (g)=						4000	
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa	Limites de Clasificación de Combinación de Agregados (ACI 325.10R)	
Nº	Abertura (mm)					100	100
1"	25.00	0	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.05	0	0.00	0.00	100.00	82	100
1/2"	12.7	1052	26.30	26.30	73.70	72	93
3/8"	9.53	306	7.65	33.95	66.05	66	85
Nº 4	4.75	268	6.70	40.65	59.35	51	69
Nº 8	2.36	471	11.78	52.43	47.58	38	56
Nº 16	1.18	353	8.83	61.25	38.75	28	46
Nº 30	0.6	443	11.08	72.33	27.68	18	36
Nº 50	0.3	542	13.55	85.88	14.13	11	27
Nº 100	0.15	322	8.05	93.93	6.07	6	18
Nº 200	0.075	154	3.85	97.78	2.22	2	8
Cazoleta		89	2.23	100.00	0.00		
TOTAL		4000					

Tabla N°35: Gradación Óptima de los Agregados

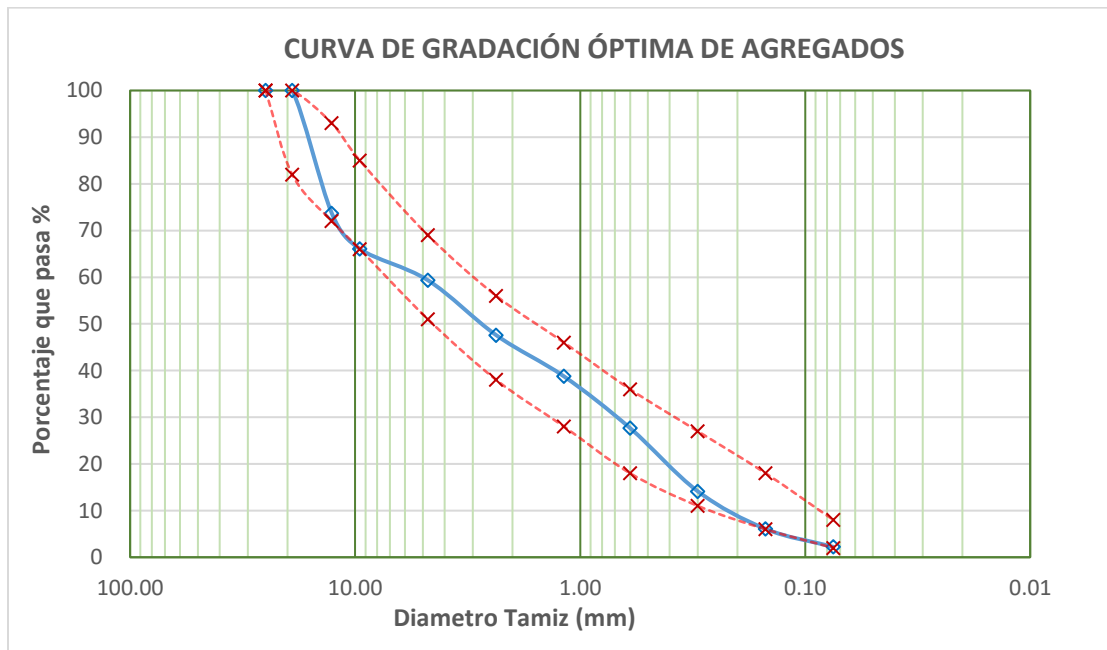


Figura N°26: Gradación Óptima de Agregados
 Tabla N°36: Ensayo de Compactación – Proctor Modificado

ENSAYO DE COMPACTACIÓN - HUMEDAD ÓPTIMA

TESIS: Influencia del Reemplazo de Cemento por Puzolana Volcánica en la Resistencia a Compresión del Concreto Compactado $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ en la Ciudad de Cajamarca

Altura molde (mm) = 116.4 Diámetro (mm) = 152.4 Volumen = 2124 cm³

PESO ESPECIFICO

Ensayo	Nº	1	2	3	4	5
Peso de muestra húmeda + molde	g	7581	7776	7821	7796	7785
Peso del molde	g	2774	2774	2774	2774	2774
Peso de la muestra húmeda	g	4807	5002	5047	5022	5011
Volúmen del molde	cm ³	2124	2124	2124	2124	2124
Densidad húmeda	g/cm ³	2.263	2.355	2.376	2.364	2.359

CONTENIDO DE HUMEDAD

Ensayo	Nº	1	2	3	4	5					
Peso muestra húmeda + tara	g	399.0	445.0	398.0	389.0	396.0	381.0	395.0	376.0	654.0	504.0
Peso muestra seca + tara	g	388.0	433.0	384.0	376.0	379.0	366.0	376.0	358.0	620.0	479.0
Peso del agua	g	11.0	12.0	14.0	13.0	17.0	15.0	19.0	18.0	34.0	25.0
Peso de la tara	g	69.0	72.0	87.0	66.0	72.0	66.0	72.0	66.0	158.0	109.0
Peso de la muestra seca	g	319	361	297	310	307	300	304	292	462	370
Contenido de humedad	%	3.45	3.32	4.71	4.19	5.54	5.00	6.25	6.16	7.36	6.76
Contenido de humedad Promedio	%	3.39		4.45		5.27		6.21		7.06	

PESO ESPECIFICO SECO

Densidad seca	g/cm ³	2.189	2.255	2.257	2.226	2.204
---------------	-------------------	-------	-------	-------	-------	-------

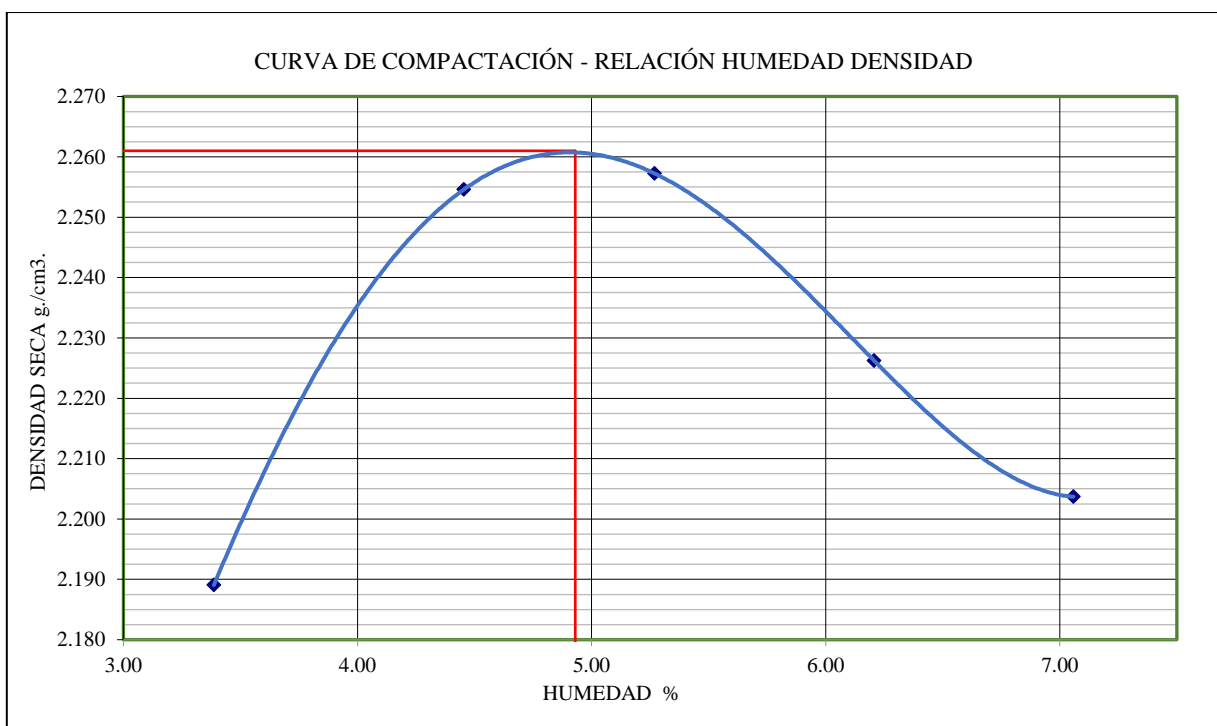


Figura N°27: Curva de Compactación – Proctor Modificado

Densidad máxima =	2.261	g/cm³
Humedad óptima =	4.93	%

ANEXO N°03: DISEÑO DE MEZCLAS

MÉTODO: COMPACTACIÓN DE SUELOS		
TESIS:	Influencia del Reemplazo de Cemento por Puzolana Volcánica en la Resistencia a Compresión del Concreto Compactado $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ en la Ciudad de Cajamarca	
F'c :	280 kg/cm^2	
1. Cemento:		
	Tipo:	Pacasmayo Portland Tipo I
	Densidad:	3.10 g/cm^3
2. Proctor - ASTM 1557		
	Método de Prueba:	Compactación de Suelos
	Densidad Seca Máxima:	2.261 g/cm^3
	Contenido de Humed. Óptimo:	4.93%

Características Físicas de los Agregados:

DESCRIPCIÓN	UND	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	PUZOLANA
Tamaño Máximo del Agregado	-	-	3/4"	-
Módulo de Fineza	-	3.081	6.747	-
Contenido de Humedad	%	2.67	0.43	4.65
Peso Específico de Masa	g/cm^3	2.617	2.612	2.404
Porcentaje de Absorción	%	1.262	1.272	5.761
Peso Unitario Suelto Seco	kg/m^3	1650	1463	-
Peso Unitario Compactado Seco	kg/m^3	1793	1535	-
% de Material que pasa tamiz				
Nº200	%	3.97	0.37	-
Abrasión (Desgaste Promedio)	%	-	29.59	-

Dosificación de Concreto Patrón

Concreto Patrón:	
Cemento:	13.50%
Agregado Fino:	56%
Agregado Grueso:	44%

1. Materiales Componentes:

Concreto Patrón:		Und	Densidad	Volúmenes:		Und
Cemento:	0.567	Kg	x 3100	Cemento:	0.000183	m^3
Agregado Fino:	2.371	Kg	x 2617	Agregado Fino:	0.000906	m^3
Agregado Grueso:	1.863	Kg	x 2612	Agregado Grueso:	0.000713	m^3
Agua:	0.235	L	x 1000	Agua:	0.000235	m^3
TOTAL:	5.035	Kg		TOTAL:	0.002037	m^3

- Para 1 m^3 :

Aire Atrapado:	2.50%	→	Volumen sin Aire:	0.975	m^3
----------------	-------	---	-------------------	-------	-------

- Entonces, el factor es:

Factor:	0.975	÷	0.002037
Factor =	478.66		

- Materiales para 1 m^3 :

Concreto Patrón:		Und	Densidad	Volúmenes:		Und
Cemento:	0.088	m^3	x 3100	Cemento:	271.28	Kg
Agregado Fino:	0.434	m^3	x 2617	Agregado Fino:	1134.76	Kg
Agregado Grueso:	0.341	m^3	x 2612	Agregado Grueso:	891.60	Kg
Agua:	0.113	m^3	x 1000	Agua:	112.53	L
Aire:	0.025	m^3		Aire:	2.50	%

- La relación Agua/Cemento será:

Relación A/C:	112.53	÷	271.28
Relación A/C:	0.415		

- Entonces, el cemento:

Cemento	271.28	÷	42.50
	6.383	bolsa/ m^3	

2. Aporte de la Humedad de Agregados:

Agregado Fino		Agregado Grueso	
%C.Hum=	2.67	%C.Hum=	0.43
%Absorción=	1.262	%Absorción=	1.272
Aporte Ag. Fino seco=	$\frac{(2.67 - 1.262) * 1134.76}{100} =$	15.96	l/m^3
Aporte Ag. Grueso seco=	$\frac{(0.43 - 1.272) * 891.6}{100} =$	-7.54	l/m^3
Aporte de Humedad Total =		8.42	l/m^3

3. Determinación de los materiales de diseño corregidos por humedad por m^3 :

Cemento =	271.28	Kg/m^3		
Agua Efectiva =	112.53	-8.42	104.11	l/m^3
Agregado Fino Húmedo =	$1134.76 * \left(1 + \frac{2.67}{100}\right) =$		1165.05	Kg/m^3
Agreg. Grueso Húmedo =	$891.6 * \left(1 + \frac{0.43}{100}\right) =$		895.40	Kg/m^3
Aire Atrapado =	2.50%			
Relación A/C Efectiva =	0.38			

4. Proporciónamiento en Peso:

Proporciónamiento en Peso	
Cemento:	1
Agregado Fino:	4.295
Agregado Grueso:	3.301
Agua:	16.31 (Lt/Bolsa)

5. Proporciónamiento en Volumen:

- Tanda en base a un saco:

Cemento:	42.50	Kg/bolsa
Agregado Fino:	182.52	Kg/bolsa
Agregado Grueso:	140.28	Kg/bolsa
Agua:	16.31	Lt/bolsa

- Peso Unitario Seco Suelto:

Agreg Fino =	$1650 kg/m^3$	Agreg Grueso =	$1463 kg/m^3$
--------------	---------------	----------------	---------------

Entonces:

Agregado Fino Húmedo=	1694.03	kg/m^3
-----------------------	---------	----------

Agregado Grueso Húmedo=	1469.24	kg/m ³
-------------------------	---------	-------------------

- Peso por Pie Cúbico de Agregado:

Si:

1 m3	=	35.3147 pie ³
------	---	--------------------------

Entonces:

Agregado Fino=	47.97	kg/pie ³
Agregado Grueso=	41.60	kg/pie ³
Bolsa Cemento=	42.50	kg/pie ³

- Dosificación:

Dosificación en Volumen		
Cemento:	1.00	
Agregado Fino:	3.80	
Agregado Grueso:	3.37	
Agua:	16.31	(Lt/Bolsa)

6. Materiales por Tanda (Para 03 Probetas):

TANDA (M3) =	0.02
CEMENTO (g) =	5426
AGUA EFECTIVA (cm3)=	2082
AGREGADO FINO (g)=	23301
AGREGADO GRUESO (g)=	17908

Dosificación de Concreto con Reemplazo del 8%

Concreto Patrón:		
Cemento:	13.50%	
Agregado Fino:	56%	
Agregado Grueso:	44%	
Material Cementante	0.567	Kg
Cemento	0.521	Kg
Puzolana	0.045	Kg

1. Materiales Componentes:

Concreto Patrón:		Und	Densidad	Volúmenes:		Und
Cemento:	0.521	Kg	x 3100	Cemento:	0.000168	m^3
Puzolana:	0.045	Kg	x 2404	Puzolana:	0.000019	m^3
Agregado Fino:	2.371	Kg	x 2617	Agregado Fino:	0.000906	m^3
Agregado Grueso:	1.863	Kg	x 2612	Agregado Grueso:	0.000713	m^3
Agua:	0.235	L	x 1000	Agua:	0.000235	m^3
TOTAL:	5.035	Kg		TOTAL:	0.002041	m^3

- Para 1 m^3 :

Aire Atrapado:	2.50%	→	Volumen sin Aire:	0.975	m^3
----------------	-------	---	-------------------	-------	-------

- Entonces, el factor es:

Factor:	0.975	÷	0.002041
Factor =	477.66		

- Materiales para 1 m^3 :

Concreto Patrón:		Und	Densidad	Volúmenes:		Und
Cemento:	0.080	m^3	x 3100	Cemento:	249.06	Kg
Puzolana:	0.009	m^3	x 2404	Puzolana:	21.66	Kg
Agregado Fino:	0.433	m^3	x 2617	Agregado Fino:	1132.41	Kg
Agregado Grueso:	0.341	m^3	x 2612	Agregado Grueso:	889.75	Kg
Agua:	0.112	m^3	x 1000	Agua:	112.30	L
Aire:	0.025	m^3		Aire:	2.50	%

- La relación Agua/Cemento será:

Relación A/C:	112.30	÷	270.72
Relación A/C:	0.415		

- Entonces, el cemento:

Cemento	270.72	÷	42.50
	6.370		bolsa/m ³

2. Aporte de la Humedad de Agregados:

Ag. Fino		Ag. Grueso		Puzolana	
%C.Hum=	2.67	%C.Hum=	0.43	%C.Hum=	4.65
%Absorción=	1.262	%Absorción=	1.272	%Absorción=	5.761
Aporte Ag. Fino seco=		$\frac{(2.67 - 1.262) * 1132.41}{100} =$		15.93	l/m ³
Aporte Ag. Grueso seco=		$\frac{(0.43 - 1.272) * 889.75}{100} =$		-7.52	l/m ³
Puzolana=		$\frac{(4.65 - 5.761) * 21.66}{100} =$		-0.24	l/m ³
Aporte de Humedad Total =				8.16	l/m³

3. Determinación de los materiales de diseño corregidos por humedad por m³:

Cemento =	249.06	Kg/m ³		
Agua Efectiva =	112.5	-8.16	104.13	l/m ³
Puzolana =	$21.66 * \left(1 + \frac{4.65}{100}\right) =$		22.66	Kg/m ³
Agregado Fino Húmedo =	$1134.41 * \left(1 + \frac{2.67}{100}\right) =$		1162.63	Kg/m ³
Agreg. Grueso Húmedo =	$889.75 * \left(1 + \frac{0.43}{100}\right) =$		893.55	Kg/m ³
Aire Atrapado =	2.50%			
Relación A/C Efectiva =	0.42			

4. Proporcionamiento en Peso:

Proporcionamiento en Peso	
Cemento:	0.909
Puzolana:	0.091
Agregado Fino:	4.668
Agregado Grueso:	3.588
Agua:	16.35 (Lt/Bolsa)

5. Proporcionamiento en Volumen:

- Tanda en base a un saco:

Cemento:	38.63	Kg/bolsa
Puzolana:	3.87	Kg/bolsa
Agregado Fino:	198.39	Kg/bolsa
Agregado Grueso:	152.48	Kg/bolsa
Agua:	16.35	Lt/bolsa

- Peso Unitario Seco Suelto:

Agreg Fino =	1650 kg/m ³	Agreg Grueso =	1463 kg/m ³
--------------	------------------------	----------------	------------------------

Entonces:

Agregado Fino Húmedo=	1694.03	kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo=	1469.24	kg/m ³

- Peso por Pie Cúbico de Agregado:

Si:

1 m ³	=	35.3147 pie ³
------------------	---	--------------------------

Entonces:

Agregado Fino=	47.97	kg/pie ³
Agregado Grueso=	41.60	kg/pie ³
Bolsa Cemento=	42.50	kg/pie ³

- Dosificación:

Dosificación en Volumen		
Cemento:	0.909	
Puzolana:	0.091	
Agregado Fino:	4.136	
Agregado Grueso:	3.665	
Agua:	16.35	(Lt/Bolsa)

6. Materiales por Tanda (Para 03 Probetas):

TANDA (M3) =	0.02
CEMENTO (g) =	4981
PUZOLANA (g) =	453
AGUA EFECTIVA (cm3)=	2083
AGREGADO FINO (g)=	23253
AGREGADO GRUESO (g)=	17871

Dosificación de Concreto con Reemplazo del 12%

Concreto Patrón:		
Cemento:	13.50%	
Agregado Fino:	56%	
Agregado Grueso:	44%	
Material Cementante	0.567	Kg
Cemento	0.499	Kg
Puzolana	0.068	Kg

1. Materiales Componentes:

Concreto Patrón:		Und	Densidad	Volúmenes:		Und
Cemento:	0.499	Kg	x 3100	Cemento:	0.000161	m^3
Puzolana:	0.068	Kg	x 2404	Puzolana:	0.000028	m^3
Agregado Fino:	2.371	Kg	x 2617	Agregado Fino:	0.000906	m^3
Agregado Grueso:	1.863	Kg	x 2612	Agregado Grueso:	0.000713	m^3
Agua:	0.235	L	x 1000	Agua:	0.000235	m^3
TOTAL:	5.035	Kg		TOTAL:	0.002043	m^3

- Para 1 m^3 :

Aire Atrapado:	2.50%	→	Volumen sin Aire:	0.975	m^3
----------------	-------	---	-------------------	-------	-------

- Entonces, el factor es:

Factor:	0.975	÷	0.002043
Factor =	477.17		

- Materiales para 1 m^3 :

Concreto Patrón:		Und	Densidad	Volúmenes:		Und
Cemento:	0.077	m^3	x 3100	Cemento:	237.98	Kg
Puzolana:	0.013	m^3	x 2404	Puzolana:	32.45	Kg
Agregado Fino:	0.432	m^3	x 2617	Agregado Fino:	1131.24	Kg
Agregado Grueso:	0.340	m^3	x 2612	Agregado Grueso:	888.83	Kg
Agua:	0.112	m^3	x 1000	Agua:	112.18	L
Aire:	0.025	m^3		Aire:	2.50	%

- La relación Agua/Cemento será:

Relación A/C:	112.18	÷	270.43
Relación A/C:	0.415		

- Entonces, el cemento:

Cemento	270.43	÷	42.50
	6.363		bolsa/ m^3

2. Aporte de la Humedad de Agregados:

Ag. Fino		Ag. Grueso		Puzolana	
%C.Hum=	2.67	%C.Hum=	0.43	%C.Hum=	4.65
%Absorción=	1.262	%Absorción=	1.272	%Absorción=	5.761
Aporte Ag. Fino seco=		$\frac{(2.67 - 1.262) * 1131.24}{100} =$		15.91	l/m ³
Aporte Ag. Grueso seco=		$\frac{(0.43 - 1.272) * 888.83}{100} =$		-7.52	l/m ³
Puzolana=		$\frac{(4.65 - 5.761) * 32.45}{100} =$		-0.36	l/m ³
Aporte de Humedad Total =				8.03	l/m³

3. Determinación de los materiales de diseño corregidos por humedad por m³:

Cemento =	237.98	Kg/m ³		
Agua Efectiva =	112.18	-8.03	104.15	l/m ³
Puzolana =	$32.45 * \left(1 + \frac{4.65}{100}\right) =$		33.96	Kg/m ³
Agregado Fino Húmedo =	$1134.24 * \left(1 + \frac{2.67}{100}\right) =$		1161.42	Kg/m ³
Agreg. Grueso Húmedo =	$888.83 * \left(1 + \frac{0.43}{100}\right) =$		892.62	Kg/m ³
Aire Atrapado =	2.50%			
Relación A/C Efectiva =	0.44			

4. Proporcionamiento en Peso:

Proporcionamiento en Peso	
Cemento:	0.857
Puzolana:	0.143
Agregado Fino:	4.880
Agregado Grueso:	3.751
Agua:	16.37 (Lt/Bolsa)

5. Proporcionamiento en Volumen:

- Tanda en base a un saco:

Cemento:	36.44	Kg/bolsa
Puzolana:	6.06	Kg/bolsa
Agregado Fino:	207.41	Kg/bolsa
Agregado Grueso:	159.41	Kg/bolsa
Agua:	16.37	Lt/bolsa

- Peso Unitario Seco Suelto:

Agreg Fino =	1650 kg/m ³	Agreg Grueso =	1463 kg/m ³
--------------	------------------------	----------------	------------------------

Entonces:

Agregado Fino Húmedo=	1694.03	kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo=	1469.24	kg/m ³

- Peso por Pie Cúbico de Agregado:

Si:

1 m ³	=	35.3147 pie ³
------------------	---	--------------------------

Entonces:

Agregado Fino=	47.97	kg/pie ³
Agregado Grueso=	41.60	kg/pie ³
Bolsa Cemento=	42.50	kg/pie ³

- Dosificación:

Dosificación en Volumen		
Cemento:	0.857	
Puzolana:	0.143	
Agregado Fino:	4.324	
Agregado Grueso:	3.832	
Agua:	16.37	(Lt/Bolsa)

6. Materiales por Tanda (Para 03 Probetas):

TANDA (M3) =	0.02
CEMENTO (g) =	4760
PUZOLANA (g) =	679
AGUA EFECTIVA (cm3)=	2083
AGREGADO FINO (g)=	23228
AGREGADO GRUESO (g)=	17852

Dosificación de Concreto con Reemplazo del 16%

Concreto Patrón:		
Cemento:	13.50%	
Agregado Fino:	56%	
Agregado Grueso:	44%	
Material Cementante	0.567	Kg
Cemento	0.476	Kg
Puzolana	0.091	Kg

1. Materiales Componentes:

Concreto Patrón:		Und	Densidad	Volúmenes:		Und
Cemento:	0.476	Kg	x 3100	Cemento:	0.000154	m^3
Puzolana:	0.091	Kg	x 2404	Puzolana:	0.000038	m^3
Agregado Fino:	2.371	Kg	x 2617	Agregado Fino:	0.000906	m^3
Agregado Grueso:	1.863	Kg	x 2612	Agregado Grueso:	0.000713	m^3
Agua:	0.235	L	x 1000	Agua:	0.000235	m^3
TOTAL:	5.035	Kg		TOTAL:	0.002045	m^3

- Para 1 m^3 :

Aire Atrapado:	2.50%	→	Volumen sin Aire:	0.975	m^3
----------------	-------	---	-------------------	-------	-------

- Entonces, el factor es:

Factor:	0.975	÷	0.002045
Factor =	476.67		

- Materiales para 1 m^3 :

Concreto Patrón:		Und	Densidad	Volúmenes:		Und
Cemento:	0.073	m^3	x 3100	Cemento:	226.93	Kg
Puzolana:	0.018	m^3	x 2404	Puzolana:	43.22	Kg
Agregado Fino:	0.432	m^3	x 2617	Agregado Fino:	1130.07	Kg
Agregado Grueso:	0.340	m^3	x 2612	Agregado Grueso:	887.91	Kg
Agua:	0.112	m^3	x 1000	Agua:	112.06	L
Aire:	0.025	m^3		Aire:	2.50	%

- La relación Agua/Cemento será:

Relación A/C:	112.06	÷	270.15
Relación A/C:	0.415		

- Entonces, el cemento:

Cemento	270.15	÷	42.50
	6.357		bolsa/ m^3

2. Aporte de la Humedad de Agregados:

Ag. Fino		Ag. Grueso		Puzolana	
%C.Hum=	2.67	%C.Hum=	0.43	%C.Hum=	4.65
%Absorción=	1.262	%Absorción=	1.272	%Absorción=	5.761
Aporte Ag. Fino seco=		$\frac{(2.67 - 1.262) * 1130.07}{100} =$		15.89	l/m ³
Aporte Ag. Grueso seco=		$\frac{(0.43 - 1.272) * 887.91}{100} =$		-7.51	l/m ³
Puzolana=		$\frac{(4.65 - 5.761) * 43.22}{100} =$		-0.48	l/m ³
Aporte de Humedad Total =				7.90	l/m³

3. Determinación de los materiales de diseño corregidos por humedad por m³:

Cemento =	226.93	Kg/m ³		
Agua Efectiva =	112.06	-7.90	104.16	l/m ³
Puzolana =	$43.22 * \left(1 + \frac{4.65}{100}\right) =$		45.23	Kg/m ³
Agregado Fino Húmedo =	$1130.07 * \left(1 + \frac{2.67}{100}\right) =$		1160.22	Kg/m ³
Agreg. Grueso Húmedo =	$887.91 * \left(1 + \frac{0.43}{100}\right) =$		891.70	Kg/m ³
Aire Atrapado =	2.50%			
Relación A/C Efectiva =	0.46			

4. Proporciónamiento en Peso:

Proporciónamiento en Peso	
Cemento:	0.801
Puzolana:	0.199
Agregado Fino:	5.113
Agregado Grueso:	3.929
Agua:	16.39 (Lt/Bolsa)

5. Proporciónamiento en Volumen:

- Tanda en base a un saco:

Cemento:	34.03	Kg/bolsa
Puzolana:	8.47	Kg/bolsa
Agregado Fino:	217.29	Kg/bolsa
Agregado Grueso:	167.00	Kg/bolsa
Agua:	16.39	Lt/bolsa

- Peso Unitario Seco Suelto:

Agreg Fino =	1650 kg/m ³	Agreg Grueso =	1463 kg/m ³
--------------	------------------------	----------------	------------------------

Entonces:

Agregado Fino Húmedo=	1694.03	kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo=	1469.24	kg/m ³

- Peso por Pie Cúbico de Agregado:

Si:

1 m ³	=	35.3147 pie ³
------------------	---	--------------------------

Entonces:

Agregado Fino=	47.97	kg/pie ³
Agregado Grueso=	41.60	kg/pie ³
Bolsa Cemento=	42.50	kg/pie ³

- Dosificación:

Dosificación en Volumen		
Cemento:	0.801	
Puzolana:	0.199	
Agregado Fino:	4.530	
Agregado Grueso:	4.014	
Agua:	16.39	(Lt/Bolsa)

6. Materiales por Tanda (Para 03 Probetas):

TANDA (M3) =	0.02
CEMENTO (g) =	4539
PUZOLANA (g) =	905
AGUA EFECTIVA (cm3)=	2083
AGREGADO FINO (g)=	23204
AGREGADO GRUESO (g)=	17834

ANEXO N°04: ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO

Dosificación de Concreto Patrón

PESO UNITARIO - CONCRETO PATRÓN								
REGISTRO	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	PESO MOLDE (g)	PESO MOLDE + CONCRETO (g)	PESO DEL CONCRETO (g)	PESO UNITARIO (g/cm ³)
PP-01	15.25	30.2	182.65	5516.16	8672	22234	13562	2.4586
PP-02	15.20	30.4	181.46	5516.34	8636	22058	13422	2.4331
PP-03	15.18	30.2	180.98	5465.63	8620	21973	13353	2.4431
PP-04	15.17	30.1	180.74	5440.36	8616	21876	13260	2.4373
PP-05	15.15	30.3	180.27	5462.08	8618	21779	13161	2.4095
PP-06	15.18	30.4	180.98	5501.83	7316	20744	13428	2.4406
PP-07	15.26	30.2	182.89	5523.39	7091	20673	13582	2.4590
PP-08	15.31	30.4	184.09	5596.47	7308	20965	13657	2.4403
PP-09	15.19	30.2	181.22	5472.84	8608	21836	13228	2.4170
PP-10	15.23	30.4	182.18	5538.13	8610	22016	13406	2.4207
PROMEDIO							13405.9	2.4359

Tabla N°37: Ensayo de Peso Unitario – Concreto Patrón

Dosificación de Concreto con Reemplazo del 8%

PESO UNITARIO - CONCRETO REEMPLAZO 8% PUZOLANA								
REGISTRO	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	PESO MOLDE (g)	PESO MOLDE + CONCRETO (g)	PESO DEL CONCRETO (g)	PESO UNITARIO (g/cm ³)
P08%-01	15.18	30.1	180.98	5447.53	8608	21845	13237	2.4299
P08%-02	15.19	30.3	181.22	5490.96	7308	20586	13278	2.4182
P08%-03	15.22	30.2	181.94	5494.47	8691	22147	13456	2.4490
P08%-04	15.22	30.3	181.94	5512.67	8620	21941	13321	2.4164
P08%-05	15.24	30.3	182.41	5527.17	8618	22039	13421	2.4282
P08%-06	15.17	30.1	180.74	5440.36	8610	21927	13317	2.4478
P08%-07	15.21	30.4	181.70	5523.60	8636	22050	13414	2.4285
P08%-08	15.27	30.2	183.13	5530.63	8710	22127	13417	2.4259
P08%-09	15.24	30.4	182.41	5545.41	8645	22154	13509	2.4361
P08%-10	15.27	30.2	183.13	5530.63	8633	22075	13442	2.4305
PROMEDIO							13381.2	2.4310

Tabla N°38: Ensayo de Peso Unitario – Concreto con Reemplazo del 8%

Dosificación de Concreto con Reemplazo del 12%

PESO UNITARIO - CONCRETO REEMPLAZO 12% PUZOLANA								
REGISTRO	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	PESO MOLDE (g)	PESO MOLDE + CONCRETO (g)	PESO DEL CONCRETO (g)	PESO UNITARIO (g/cm ³)
P12%-01	15.23	30.1	182.18	5483.48	8691	21999	13308	2.4269
P12%-02	15.22	30.3	181.94	5512.67	8620	22007	13387	2.4284
P12%-03	15.26	30.3	182.89	5541.68	8710	22141	13431	2.4236
P12%-04	15.25	30.4	182.65	5552.69	8633	22171	13538	2.4381
P12%-05	15.23	30.2	182.18	5501.70	8608	22001	13393	2.4343
P12%-06	15.20	30.0	181.46	5443.75	7308	20542	13234	2.4310
P12%-07	15.24	30.5	182.41	5563.65	8645	22156	13511	2.4284
P12%-08	15.23	30.2	182.18	5501.70	8618	21947	13329	2.4227
P12%-09	15.24	30.1	182.41	5490.68	8636	21994	13358	2.4328
P12%-10	15.19	30.5	181.22	5527.20	8616	21985	13369	2.4188
PROMEDIO							13385.8	2.4285

Tabla N°39: Ensayo de Peso Unitario – Concreto con Reemplazo del 12%

Dosificación de Concreto con Reemplazo del 16%

PESO UNITARIO - CONCRETO REEMPLAZO 16% PUZOLANA								
REGISTRO	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	PESO MOLDE (g)	PESO MOLDE + CONCRETO (g)	PESO DEL CONCRETO (g)	PESO UNITARIO (g/cm ³)
P16%-01	15.20	30.2	181.46	5480.04	8636	21895	13259	2.4195
P16%-02	15.15	30.1	180.27	5426.02	8608	21814	13206	2.4338
P16%-03	15.19	30.0	181.22	5436.59	8616	21855	13239	2.4352
P16%-04	15.24	30.3	182.41	5527.17	8672	22058	13386	2.4219
P16%-05	15.19	30.4	181.22	5509.08	8650	21941	13291	2.4126
P16%-06	15.19	30.2	181.22	5472.84	8633	21903	13270	2.4247
P16%-07	15.25	30.4	182.65	5552.69	8620	22096	13476	2.4269
P16%-08	15.17	30.1	180.74	5440.36	8645	21891	13246	2.4348
P16%-09	15.16	30.4	180.50	5487.34	8691	22043	13352	2.4332
P16%-10	15.15	29.9	180.27	5389.97	7316	20424	13108	2.4319
PROMEDIO							13283.3	2.4274

Tabla N°40: Ensayo de Peso Unitario – Concreto con Reemplazo del 16%

ANEXO N°05: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Dosificación de Concreto Patrón

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - CONCRETO PATRÓN ($f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$)							
REGISTRO	DIAMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	TIEMPO CURADO	CARGA DE ROTURA (tn)	f'_c OBTENIDO (kg/cm ²)	% DE f'_c	TIPO DE FALLA
PP-01	15.25	182.65	07 DÍAS	35.50	194.356	69.413	5
PP-02	15.20	181.46		36.50	201.148	71.839	2
PP-03	15.18	180.98		35.50	196.153	70.055	6
PP-04	15.17	180.74		36.00	199.178	71.135	5
PP-05	15.15	180.27		37.50	208.025	74.295	2
PP-06	15.18	180.98		36.00	198.916	71.041	5
PP-07	15.26	182.89		37.00	202.303	72.251	5
PP-08	15.31	184.09		36.50	198.268	70.810	2
PP-09	15.19	181.22		35.50	195.895	69.962	6
PP-10	15.23	182.18		37.00	203.101	72.536	3
PROMEDIO				36.300	199.734	71.334	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR				0.678	4.059	1.375	
VARIANZA				0.460	16.477	1.891	

Tabla N°41: Resistencia a la Compresión – Concreto Patrón (07 días)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - CONCRETO PATRÓN ($f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$)							
REGISTRO	DIAMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	TIEMPO CURADO	CARGA DE ROTURA (tn)	f'_c OBTENIDO (kg/cm ²)	% DE f'_c	TIPO DE FALLA
PP-11	15.22	181.94	14 DÍAS	46.00	252.836	90.299	6
PP-12	15.15	180.27		45.50	252.404	90.144	5
PP-13	15.23	182.18		47.00	257.993	92.140	4
PP-14	15.26	182.89		46.00	251.512	89.826	6
PP-15	15.27	183.13		47.50	259.374	92.633	3
PP-16	15.21	181.70		46.00	253.168	90.417	2
PP-17	15.18	180.98		46.00	254.170	90.775	5
PP-18	15.23	182.18		47.00	257.993	92.140	2
PP-19	15.19	181.22		45.50	251.076	89.670	5
PP-20	15.20	181.46		47.00	259.013	92.504	2
PROMEDIO				46.350	254.954	91.055	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR				0.673	3.269	1.107	
VARIANZA				0.453	10.683	1.226	

Tabla N°42: Resistencia a la Compresión – Concreto Patrón (14 días)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - CONCRETO PATRÓN ($f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$)							
REGISTRO	DIAMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	TIEMPO CURADO	CARGA DE ROTURA (tn)	f'_c OBTENIDO (kg/cm ²)	% DE f'_c	TIPO DE FALLA
PP-21	15.17	180.74	28 DÍAS	50.00	276.636	98.799	2
PP-22	15.22	181.94		51.00	280.318	100.114	5
PP-23	15.16	180.50		51.50	285.311	101.897	6
PP-24	15.17	180.74		51.00	282.169	100.775	2
PP-25	15.23	182.18		52.00	285.439	101.943	4
PP-26	15.26	182.89		53.00	289.786	103.495	3
PP-27	15.23	182.18		51.50	282.695	100.962	5
PP-28	15.16	180.50		51.00	282.541	100.908	6
PP-29	15.21	181.70		53.00	291.694	104.176	5
PP-30	15.19	181.22		52.50	289.704	103.466	5
PROMEDIO				51.650	285.629	101.653	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR				0.923	4.472	1.597	
VARIANZA				0.853	20.000	2.551	

Tabla N°43: Resistencia a la Compresión – Concreto Patrón (28 días)

Dosificación de Concreto con Reemplazo del 08%

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - CONCRETO REEMPLAZO 8% ($f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$)							
REGISTRO	DIAMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	TIEMPO CURADO	CARGA DE ROTURA (tn)	f'_c OBTENIDO (kg/cm ²)	% DE f'_c	TIPO DE FALLA
P8%-01	15.18	180.98	07 DÍAS	38.50	212.729	75.975	5
P8%-02	15.19	181.22		37.00	204.172	72.919	2
P8%-03	15.22	181.94		37.00	203.368	72.631	5
P8%-04	15.22	181.94		38.50	211.613	75.576	4
P8%-05	15.24	182.41		36.50	200.094	71.462	6
P8%-06	15.17	180.74		38.50	213.010	76.075	3
P8%-07	15.21	181.70		37.50	206.387	73.710	2
P8%-08	15.16	180.50		37.00	204.981	73.207	3
P8%-09	15.24	182.41		37.50	205.576	73.420	5
P8%-10	15.27	183.13		36.50	199.308	71.181	6
PROMEDIO				37.450	206.124	73.616	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR				0.757	4.659	1.664	
VARIANZA				0.573	21.708	2.769	

Tabla N°44: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 08% de puzolana (07 días)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - CONCRETO REEMPLAZO 8% (f'c = 280 kg/cm2)							
REGISTRO	DIAMETRO (cm)	ÁREA (cm2)	TIEMPO CURADO	CARGA DE ROTURA (tn)	f'c OBTENIDO (kg/cm2)	% DE f'c	TIPO DE FALLA
P8%-11	15.18	180.98	14 DÍAS	48.00	265.221	94.722	4
P8%-12	15.23	182.18		48.50	266.227	95.081	3
P8%-13	15.25	182.65		47.00	257.317	91.899	5
P8%-14	15.26	182.89		48.50	265.181	94.708	2
P8%-15	15.27	183.13		48.00	262.104	93.608	5
P8%-16	15.23	182.18		48.50	266.227	95.081	2
P8%-17	15.28	183.37		49.00	267.214	95.434	5
P8%-18	15.24	182.41		48.00	263.137	93.977	3
P8%-19	15.24	182.41		49.50	271.360	96.914	5
P8%-20	15.3	183.85		49.00	266.516	95.184	2
PROMEDIO				48.400	265.050	94.661	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR				0.663	3.487	1.245	
VARIANZA				0.440	12.160	1.551	

Tabla N°45: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 08% de puzolana (14 días)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - CONCRETO REEMPLAZO 8% (f'c = 280 kg/cm2)							
REGISTRO	DIAMETRO (cm)	ÁREA (cm2)	TIEMPO CURADO	CARGA DE ROTURA (tn)	f'c OBTENIDO (kg/cm2)	% DE f'c	TIPO DE FALLA
P8%-21	15.25	182.65	28 DÍAS	55.50	303.853	108.519	2
P8%-22	15.21	181.70		56.00	308.205	110.073	3
P8%-23	15.16	180.50		53.50	296.391	105.854	5
P8%-24	15.17	180.74		54.00	298.767	106.703	6
P8%-25	15.16	180.50		55.00	304.701	108.822	2
P8%-26	15.27	183.13		54.50	297.597	106.285	6
P8%-27	15.19	181.22		55.00	303.499	108.392	3
P8%-28	15.26	182.89		53.50	292.520	104.471	5
P8%-29	15.17	180.74		54.50	301.533	107.691	5
P8%-30	15.24	182.41		56.00	306.993	109.640	2
PROMEDIO				54.750	301.406	107.645	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR				0.873	4.736	1.691	
VARIANZA				0.763	22.427	2.861	

Tabla N°46: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 08% de puzolana (28 días)

Dosificación de Concreto con Reemplazo del 12%

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - CONCRETO REEMPLAZO 12% (f'c = 280 kg/cm2)							
REGISTRO	DIAMETRO (cm)	ÁREA (cm2)	TIEMPO CURADO	CARGA DE ROTURA (tn)	f'c OBTENIDO (kg/cm2)	% DE f'c	TIPO DE FALLA
P12%-01	15.23	182.18	07 DÍAS	37.00	203.101	72.536	2
P12%-02	15.22	181.94		34.50	189.627	67.724	6
P12%-03	15.26	182.89		34.50	188.634	67.369	5
P12%-04	15.25	182.65		36.00	197.094	70.391	2
P12%-05	15.23	182.18		35.50	194.867	69.595	5
P12%-06	15.2	181.46		36.50	201.148	71.839	3
P12%-07	15.24	182.41		35.50	194.612	69.504	2
P12%-08	15.23	182.18		36.00	197.612	70.576	5
P12%-09	15.24	182.41		36.00	197.353	70.483	4
P12%-10	15.19	181.22		35.00	193.136	68.977	5
PROMEDIO				35.650	195.718	69.899	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR				0.776	4.336	1.549	
VARIANZA				0.603	18.804	2.399	

Tabla N°47: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 12% de puzolana (07 días)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - CONCRETO REEMPLAZO 12% (f'c = 280 kg/cm2)							
REGISTRO	DIAMETRO (cm)	ÁREA (cm2)	TIEMPO CURADO	CARGA DE ROTURA (tn)	f'c OBTENIDO (kg/cm2)	% DE f'c	TIPO DE FALLA
P12%-11	15.27	183.13	14 DÍAS	47.50	259.374	92.633	2
P12%-12	15.19	181.22		47.00	259.354	92.626	6
P12%-13	15.28	183.37		46.50	253.581	90.565	5
P12%-14	15.21	181.70		46.50	255.920	91.400	3
P12%-15	15.23	182.18		48.00	263.482	94.101	2
P12%-16	15.17	180.74		47.50	262.804	93.859	5
P12%-17	15.27	183.13		46.50	253.913	90.683	5
P12%-18	15.22	181.94		47.00	258.332	92.262	5
P12%-19	15.19	181.22		47.00	259.354	92.626	2
P12%-20	15.21	181.70		45.50	250.417	89.434	6
PROMEDIO				46.900	257.653	92.019	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR				0.663	3.945	1.409	
VARIANZA				0.440	15.566	1.985	

Tabla N°48: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 12% de puzolana (14 días)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - CONCRETO REEMPLAZO 12% ($f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$)							
REGISTRO	DIAMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	TIEMPO CURADO	CARGA DE ROTURA (tn)	f'_c OBTENIDO (kg/cm ²)	% DE f'_c	TIPO DE FALLA
P12%-21	15.25	182.65	28 DÍAS	53.50	292.903	104.608	2
P12%-22	15.18	180.98		53.00	292.848	104.589	4
P12%-23	15.24	182.41		52.00	285.065	101.809	5
P12%-24	15.20	181.46		52.50	289.323	103.329	6
P12%-25	15.18	180.98		53.50	295.611	105.575	5
P12%-26	15.26	182.89		53.00	289.786	103.495	2
P12%-27	15.27	183.13		52.50	286.676	102.384	6
P12%-28	15.22	181.94		53.00	291.311	104.040	2
P12%-29	15.19	181.22		51.50	284.185	101.495	5
P12%-30	15.23	182.18		53.00	290.928	103.903	3
PROMEDIO				52.750	289.864	103.523	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR				0.602	3.466	1.238	
VARIANZA				0.363	12.014	1.532	

Tabla N°49: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 12% de puzolana (28 días)

Dosificación de Concreto con Reemplazo del 16%

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - CONCRETO REEMPLAZO 16% ($f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$)							
REGISTRO	DIAMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	TIEMPO CURADO	CARGA DE ROTURA (tn)	f'_c OBTENIDO (kg/cm ²)	% DE f'_c	TIPO DE FALLA
P16%-01	15.20	181.46	07 DÍAS	35.00	192.882	68.886	3
P16%-02	15.15	180.27		33.50	185.836	66.370	5
P16%-03	15.19	181.22		35.00	193.136	68.977	2
P16%-04	15.24	182.41		35.50	194.612	69.504	6
P16%-05	15.19	181.22		34.50	190.377	67.992	2
P16%-06	15.19	181.22		34.00	187.618	67.006	5
P16%-07	15.25	182.65		36.00	197.094	70.391	2
P16%-08	15.17	180.74		36.50	201.944	72.123	3
P16%-09	15.16	180.50		34.00	188.361	67.272	6
P16%-10	15.15	180.27		34.50	191.383	68.351	5
PROMEDIO				34.850	192.324	68.687	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR				0.896	4.540	1.622	
VARIANZA				0.803	20.614	2.629	

Tabla N°50: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 16% de puzolana (07 días)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - CONCRETO REEMPLAZO 16% (f'c = 280 kg/cm ²)							
REGISTRO	DIAMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	TIEMPO CURADO	CARGA DE ROTURA (tn)	f'c OBTENIDO (kg/cm ²)	% DE f'c	TIPO DE FALLA
P16%-11	15.20	181.46	14 DÍAS	44.50	245.235	87.584	5
P16%-12	15.22	181.94		45.00	247.339	88.336	2
P16%-13	15.21	181.70		44.00	242.161	86.486	6
P16%-14	15.29	183.61		44.50	242.357	86.556	5
P16%-15	15.26	182.89		45.00	246.044	87.873	3
P16%-16	15.20	181.46		45.50	250.746	89.552	2
P16%-17	15.26	182.89		46.00	251.512	89.826	3
P16%-18	15.28	183.37		46.00	250.854	89.591	4
P16%-19	15.27	183.13		46.50	253.913	90.683	2
P16%-20	15.26	182.89		45.00	246.044	87.873	5
PROMEDIO				45.200	247.621	88.436	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR				0.748	3.784	1.352	
VARIANZA				0.560	14.321	1.827	

Tabla N°51: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 16% de puzolana (14 días)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - CONCRETO REEMPLAZO 16% (f'c = 280 kg/cm ²)							
REGISTRO	DIAMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	TIEMPO CURADO	CARGA DE ROTURA (tn)	f'c OBTENIDO (kg/cm ²)	% DE f'c	TIPO DE FALLA
P16%-21	15.20	181.46	28 DÍAS	51.00	281.056	100.377	2
P16%-22	15.24	182.41		52.50	287.806	102.788	3
P16%-23	15.18	180.98		49.50	273.509	97.682	5
P16%-24	15.15	180.27		52.00	288.462	103.022	3
P16%-25	15.25	182.65		51.50	281.954	100.698	2
P16%-26	15.19	181.22		50.50	278.667	99.524	5
P16%-27	15.15	180.27		51.00	282.914	101.041	6
P16%-28	15.23	182.18		51.00	279.950	99.982	5
P16%-29	15.17	180.74		50.50	279.403	99.787	2
P16%-30	15.15	180.27		52.50	291.235	104.013	4
PROMEDIO				51.200	282.496	100.891	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR				0.900	5.042	1.801	
VARIANZA				0.810	25.418	3.242	

Tabla N°52: Resistencia a la Compresión – Concreto Reemplazo 16% de puzolana (28 días)

ANEXO N°06: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN – MÁQUINA PARA PRUEBAS DE ABRASIÓN



RUC: 20607978892

METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C
CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN INDUSTRIALES,
DE LABORATORIO E INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MC007 - TF - 2022

Metrología & calibración
Laboratorio de Tiempo y Frecuencia

Página 1 de 3

1. Expediente	220108	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.</p> <p>METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
2. Solicitante	GUERSAN INGENIEROS S.R.L.	
3. Dirección	Pj. Diego Ferre N° 295 Br. San Martín de Porres, Cajamarca - Cajamarca - CAJAMARCA	
4. Instrumento de medición	MÁQUINA PARA PRUEBAS DE ABRASIÓN TIPO LOS ÁNGELES	
Fabricante	A&A INSTRUMENTS	
Número de Serie	120952	
Modelo	STMH-3	
Alcance de Indicación	0 a 9999 Vueltas	
Div. de escala / Resolución	1 Vuelta	
Identificación	NO INDICA	
Procedencia	CHINA	
Tipo de indicación	DIGITAL	
5. Fecha de Calibración	2022-08-03	
6. Fecha de Emisión	2022-08-15	
7. Lugar de calibración	LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS. Pj. Diego Ferre N° 295 Br. San Martín de Porres, Cajamarca - Cajamarca - CAJAMARCA	

JEFE DE LABORATORIO

Firmado
digitalmente por
Angel Perez
Fecha: 2022.08.15
09:28:58 -05'00'

Sello



METROLOGÍA & CALIBRACIÓN S.A.C
AV. PALMERAS 5535 - LOS OLIVOS - LIMA
CEL.: 955 730 951; 913 190 274

EMAIL: VENTAS@METCAL.PE
ADMINISTRACION@METCAL.PE
WEB: WWW.METCAL.PE

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MC007 - TF - 2022

Metrología & calibración

Laboratorio de Tiempo y Frecuencia

Página 2 de 3

8. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al DM / INACAL tomado como referencia la norma internacional ASTM C131 "Resistance to Degradation of Small Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine".

9. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	20,3 °C	20,3 °C
Presión Atmosférica	58 %	58 %


10. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Tacómetro LTF-C-006-2022	TACÓMETRO ÓPTICO Incertidumbre del orden de 0,8 rpm	1AFR-0022-2022
Anillo Patrón INACAL DM	Pie de rey 300 mm con incertidumbre de 11 um	1AD-0250-2022
Cilindro Patrón INACAL DM / LLA-371-2019		
Bloques Patrón (grado 0) INACAL DM		
Cinta Métrica clase I LLA-176-2021	CINTA MÉTRICA con incertidumbre de medición de 0,9 mm.	1AD-0251-2022
Magnificador Óptico LLA-031-2021		

11. Resultados

Características de las esferas

Nº	MEDICIÓN DE LAS ESFERAS	
	Diámetro (mm)	Peso (g)
1	46,78	418,0
2	46,79	417,7
3	46,79	418,0
4	46,78	417,9
5	46,77	418,0
6	46,80	417,9

Nº	MEDICIÓN DE LAS ESFERAS	
	Diámetro (mm)	Peso (g)
7	46,79	417,9
8	46,78	418,0
9	46,77	417,9
10	46,76	418,0
11	46,80	418,0
12	46,81	418,0

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MC007 - TF - 2022***Metrología & calibración**Laboratorio de Tiempo y Frecuencia*

Página 3 de 3

Determinación del vuelta/tiempo

Tiempo (seg)	INDICACIÓN DEL PATRÓN			Giro de la Máquina (rpm)
	NÚMERO DE VUELTAS	NÚMERO DE VUELTAS	NÚMERO DE VUELTAS	
60	32	32	32	32,0
120	64	64	64	32,0
180	96	96	96	32,0
240	128	128	128	32,0
300	160	160	160	32,0
360	192	192	192	32,0
420	224	224	224	32,0
480	256	256	256	32,0
540	288	288	288	32,0
600	320	320	320	32,0
660	352	352	352	32,0
720	384	384	384	32,0
780	416	416	416	32,0
840	448	448	448	32,0
900	480	480	480	32,0

Nota 1.- El peso adecuado para las esferas debe ser de entre 390 g y 445 g. el diámetro debe estar entre 46,38 mm y 47,63 mm.

Nota 2.- El cilindro del equipo debe girar a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm.

Nota 3.- El rango admisible para el diámetro interior del tambor del equipo es de 711 ± 5 mm.

Nota 4.- El rango admisible para la longitud interior del tambor del equipo es de 508 ± 5 mm.

12. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación **CALIBRADO**.



Fin del documento

ANEXO N°07: FICHA TÉCNICA CEMENTO PACASMAYO 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 Específica	cm ² /g	3750	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.10	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

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

ANEXO N°08: CONSTANCIA LABORATORIO DE MATERIALES



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Ensayo de Materiales



EL JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD
DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA:

CONSTANCIA

Que el **Bach. BRIONES ARMAS, DIEGO JOSÉ**. Exalumno de la Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca; a elaborado muestras cilíndricas representativas de hormigón, así como las pruebas de compresión, realizadas en el Laboratorio de Ensayo de Materiales "Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz" de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca, para la Tesis Titulada: **"INFLUENCIA DEL REMPLAZO DE CEMENTO POR PUZOLANA VOLCÁNICA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO COMPACTADO $F'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"**. Dichas actividades se desarrollaron entre el 10/10/2022 al 26/12/2022

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 16 de enero de 2023.

Atentamente:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Ing. Mauro Centurión Vargas
JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

c.c. a:
_Archivo

ANEXO N°09: PANEL FOTOGRÁFICO



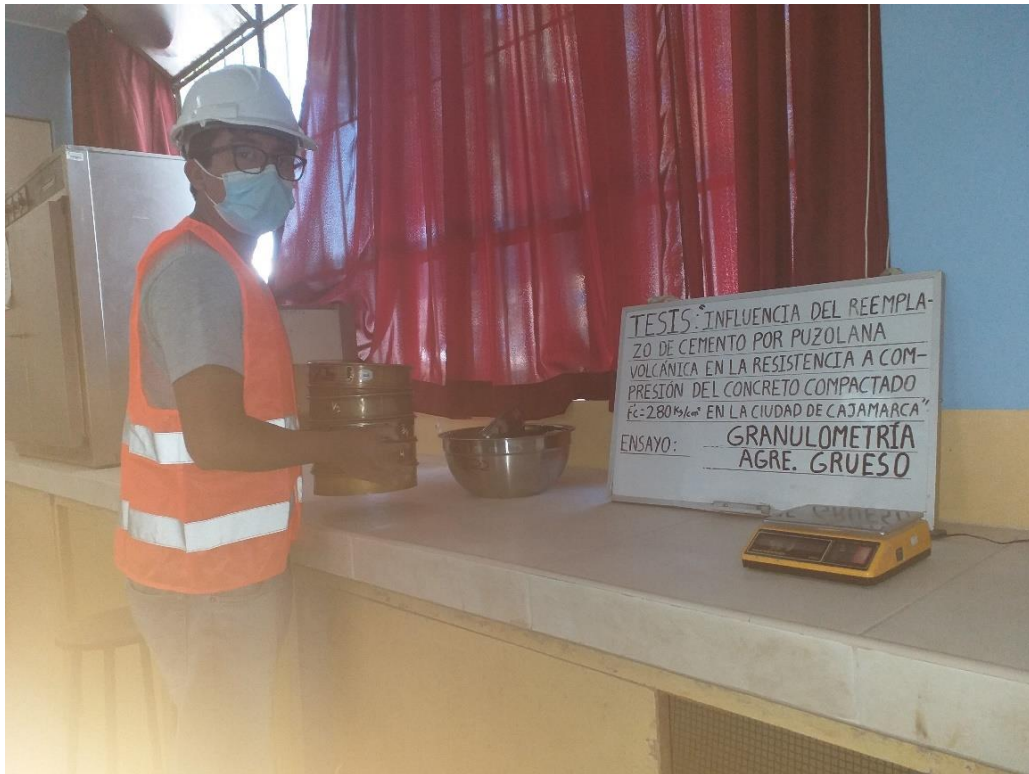
Fotografía N°01: Obtención y traslado del agregado



Fotografía N°02: Lugar asignado para acopio de materiales



Fotografía N°03: Acopio de agregados



Fotografía N°04: Ensayo de granulometría de agregados



Fotografía N°05: Ensayo para determinar el material que pasa por el tamiz N°200



Fotografía N°06: Ensayo de peso específico de agregado fino y puzolana



Fotografía N°07: Ensayo de peso específico de agregado grueso



Fotografía N°08: Ensayo de abrasión del agregado grueso (Laboratorio GUERSAN)



Fotografía N°09: Tamizado de roca traquita – puzolana volcánica



Fotografía N°10: Peso unitario del agregado fino y grueso



Fotografía N°11: Proctor modificado con el 13.50% de cemento



Fotografía N°12: Elaboración de anillo de extensión para probetas



Fotografía N°13: Compactado por capas en elaboración de concreto compactado



Fotografía N°14: Elaboración de probetas de concreto compactado



Fotografía N°15: Probetas cilíndricas de concreto compactado



Fotografía N°16: Peso de molde de probetas para determinar el peso unitario del concreto fresco



Fotografía N°17: Curado de probetas en pozo recubierto por plástico



Fotografía N°18: Rotura de probetas – Falla tipo 2



Fotografía N°19: Rotura de probetas de concreto compactado en máquina de compresión