

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“VARIACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO Y RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN DE UN CONCRETO $F'C=280 \text{ Kg/Cm}^2$ AL SUSTITUIR EL
AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ EN DIFERENTES
PORCENTAJES”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. RUBIO TIRADO, César David

ASESOR:

Dr. Ing. MOSQUEIRA MORENO, Miguel Angel

CAJAMARCA – PERÚ

- 2024 -

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** CÉSAR DAVID RUBIO TIRADO
DNI: 73683658
Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL
- Asesor:** Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO
Facultad: DE INGENIERÍA
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:** VARIACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO F'C= 280 Kg/Cm² AL SUSTITUIR EL AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ EN DIFERENTES PORCENTAJES
- Fecha de evaluación:** 22/09/2024
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 22%
- Código Documento:** Oid: 3117:384115763
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 22/09/2024

	 <p>Firmado digitalmente por: FERNANDEZ LEON Yvonne Katherine FAU 20148258601 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 22/09/2024 10:51:02-0500</p>
<hr/> <p>FIRMA DEL ASESOR Dr. Ing. MIGUEL MOSQUEIRA MORENO DNI: 26733060</p>	<hr/> <p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>

* En caso se realizó la evaluación hasta agosto de 2024

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por haberme dado la vida.

A mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional e impulsaron a seguir adelante y conseguir mis objetivos académicos.

Expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor, el Dr. en Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno, por compartir sus conocimientos y orientarme para llegar a presentar este trabajo.

A mis amigos de la Universidad Nacional de Cajamarca, que durante este tiempo han ayudado a que esta tesis sea hoy una realidad.

Por último, agradecer a todos mis docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca por sus enseñanzas y haber aportado a mi desarrollo académico que serán de gran utilidad en mi vida profesional.

DEDICATORIA

A dios:

Por brindarme la vida y sabiduría para
lograr este objetivo.

A mis padres:

Cesar Rubio e Irma Tirado, que siempre
me han brindado su apoyo incondicional e
impulsaron a seguir adelante y sobre todo
por ser los pilares de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Hipótesis general.....	2
1.4. Justificación e importancia de la investigación	2
1.5. Alcances o delimitación de la investigación	3
1.6. Limitaciones de la investigación.....	3
1.7. Objetivos	3
1.7.1. Objetivo general	3
1.7.2. Objetivos específicos	3
1.8. Descripción de los capítulos de la investigación	4
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes teóricos	5
2.2. Bases teóricas.....	9
2.2.1. Concreto	9
2.2.2. Tipos de concreto.....	9
2.2.3. Estructura del concreto	10
2.2.3.1. Cemento Portland	10
2.2.3.1.1. Compuestos químicos en el cemento Portland.....	10
2.2.3.1.2. Cemento Portland tipo I	11
2.2.3.2. Agregados	11
2.2.3.2.1. Agregado fino.....	11
2.2.3.2.2. Agregado grueso	11
2.2.3.3. Agua.....	13
2.2.4. Peso volumétrico	13
2.2.5. Piedra Pómez	13

2.2.5.1.	Propiedades de la piedra pómez.....	14
2.2.5.2.	Uso de la piedra pómez en la construcción.....	15
2.2.6.	Curado de probetas	15
2.2.7.	Ensayo de resistencia a la compresión	17
2.3.	Definición de términos básicos	18
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		20
3.1.	Ubicación geográfica de la investigación	20
3.1.1.	Ubicación geográfica del laboratorio	20
3.1.2.	Ubicación geográfica de la cantera.....	20
3.2.	Período de estudio.....	21
3.3.	Metodología de la investigación	21
3.3.1.	Tipo, Nivel y Método de Investigación	21
3.3.2.	Variables	22
3.3.3.	Población de estudio	22
3.3.4.	Muestra	23
3.3.5.	Unidad de observación	24
3.4.	Procedimiento de la investigación	24
3.4.1.	Extracción y preparación de las muestras.....	26
3.4.2.	Reducción de las muestras de agregados – Método B: Cuarteo.....	26
3.4.3.	Propiedades físicas y mecánicas de los agregados	26
3.4.3.1.	Peso específico y absorción	26
3.4.3.1.1.	Peso específico y absorción del agregado grueso	26
3.4.3.1.2.	Peso específico y absorción del agregado fino.....	28
3.4.3.2.	Análisis granulométrico	29
3.4.3.2.1.	Módulo de Finura	30
3.4.3.2.2.	Tamaño máximo del agregado	30
3.4.3.2.3.	Tamaño máximo nominal.....	31
3.4.3.3.	Peso unitario – peso volumétrico	31
3.4.3.3.1.	Peso unitario compactado.....	31
3.4.3.3.2.	Peso unitario suelto	32
3.4.3.4.	Contenido de humedad	32
3.4.3.5.	Material más fino que pasa el Tamiz N° 200.....	33
3.4.3.6.	Resistencia a la abrasión	34
3.4.4.	Diseño de mezclas del concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	35

3.4.5.	Diseño de mezclas del concreto sustituyendo el 15%, 20% y 25% del volumen de agregado grueso por piedra pómez.	37
3.4.6.	Elaboración de especímenes	37
3.4.7.	Peso unitario de las probetas	38
3.4.7.1.	Peso unitario del concreto en estado fresco	38
3.4.7.2.	Peso unitario del concreto en estado endurecido	39
3.4.8.	Resistencia a la compresión del concreto	39
3.5.	Presentación de resultados	40
3.5.1.	Resultados de las propiedades físicas del agregado grueso.....	40
3.5.2.	Resultados de las propiedades físicas y mecánicas del agregado fino	40
3.5.3.	Resultados de las propiedades físicas de la piedra pómez.	41
3.5.4.	Resultados del diseño de mezcla del concreto	41
3.5.4.1.	Resultados del diseño de mezcla del concreto de prueba.	41
3.5.4.2.	Resultados del diseño de mezcla del concreto patrón.....	42
3.5.4.3.	Resultados del diseño de mezcla del concreto sustituyendo 15% de agregado grueso por piedra pómez.	42
3.5.4.4.	Resultados del diseño de mezcla del concreto sustituyendo 20% de agregado grueso por piedra pómez.	43
3.5.4.5.	Resultados del diseño de mezcla del concreto sustituyendo 25% de agregado grueso por piedra pómez.	44
3.5.5.	Resultados del peso unitario del concreto en estado fresco.....	45
3.5.6.	Resultados del peso unitario del concreto en estado endurecido.....	45
3.5.7.	Resultados de ensayos de resistencia a compresión	45
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		48
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		52
APÉNDICE		55
ANEXOS		93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Compuestos químicos en el cemento Portland	10
Tabla 2 Tamices para el análisis granulométrico	12
Tabla 3 Coordenadas UTM del LEM de la Universidad Nacional de Cajamarca.....	20
Tabla 4 Coordenadas UTM de la cantera “Hermanos Alaya”.....	20
Tabla 5 Distribución de especímenes para ensayar a compresión.....	24
Tabla 6 Relación aproximada entre la resistencia promedio y la resistencia de diseño.	35
Tabla 7 Resistencia a compresión de los especímenes de prueba	37
Tabla 8 Propiedades físicas del agregado grueso	40
Tabla 9 Propiedades físicas del agregado fino	40
Tabla 10 Propiedades físicas de la piedra pómez	41
Tabla 11 Peso de los materiales corregidos por humedad de prueba	41
Tabla 12 Proporción en peso del concreto de prueba	41
Tabla 13 Proporción en volumen del concreto de prueba	41
Tabla 14 Peso de los materiales corregidos por humedad del concreto patrón	42
Tabla 15 Proporción en peso del concreto de prueba.....	42
Tabla 16 Proporción en volumen del concreto de prueba	42
Tabla 17 Peso de los materiales corregidos por humedad del concreto sustituyendo 15% del volumen del agregado grueso por piedra pómez	42
Tabla 18 Proporción en peso del concreto sustituyendo 15% del volumen del agregado grueso por piedra pómez	43
Tabla 19 Proporción en volumen del concreto sustituyendo 15% del volumen del agregado grueso por piedra pómez	43
Tabla 20 Peso de los materiales corregidos por humedad del concreto sustituyendo 20% del volumen del agregado grueso por piedra pómez	43
Tabla 21 Proporción en peso del concreto sustituyendo 20% del volumen del agregado grueso por piedra pómez	43
Tabla 22 Proporción en volumen del concreto sustituyendo 20% del volumen del agregado grueso por piedra pómez	44
Tabla 23 Peso de los materiales corregidos por humedad del concreto sustituyendo 25% del volumen del agregado grueso por piedra pómez	44
Tabla 24 Proporción en peso del concreto sustituyendo 25 % del volumen del agregado grueso por piedra pómez	44

Tabla 25 Proporción en volumen del concreto sustituyendo 25 % del volumen del agregado grueso por piedra pómez	44
Tabla 26 Resultados del peso unitario del concreto en estado fresco.....	45
Tabla 27 Resultados del peso unitario del concreto en estado endurecido.....	45
Tabla 28 Resultados de resistencia a compresión del concreto	45
Tabla 29 Peso específico del agregado grueso	55
Tabla 30 Absorción del agregado grueso	55
Tabla 31 Peso específico del agregado fino	55
Tabla 32 Absorción del agregado fino	56
Tabla 33 Peso específico de la piedra pómez	56
Tabla 34 Absorción de la piedra pómez	56
Tabla 35 Módulo de finura del agregado grueso	57
Tabla 36 Módulo de finura del agregado fino	58
Tabla 37 Módulo de finura de la piedra pómez.....	59
Tabla 38 Peso específico del agua.....	60
Tabla 39 Factor f del molde para el agregado grueso.....	60
Tabla 40 Peso unitario suelto del agregado grueso	60
Tabla 41 Peso unitario compactado del agregado grueso.....	60
Tabla 42 Peso específico del agua.....	61
Tabla 43 Facto f del molde para el agregado fino	61
Tabla 44 Peso unitario suelto del agregado fino.....	61
Tabla 45 Peso unitario compactado del agregado fino.....	61
Tabla 46 Peso específico del agua.....	62
Tabla 47 Factor f del molde.....	62
Tabla 48 Peso unitario suelto de la piedra pómez	62
Tabla 49 Peso unitario compactado de la piedra pómez	62
Tabla 50 Contenido de humedad del agregado grueso	63
Tabla 51 Contenido de humedad del agregado fino	63
Tabla 52 Contenido de humedad de la piedra pómez.....	63
Tabla 53 Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado grueso.....	63
Tabla 54 Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino	64
Tabla 55 Material más fino que pasa el tamiz N° 200 de la piedra pómez.....	64
Tabla 56 Resistencia a la abrasión del agregado grueso.....	64
Tabla 57 Peso específico del agua.....	78

Tabla 58 Factor f del molde.....	78
Tabla 59 Peso unitario del concreto en estado fresco.....	78
Tabla 60 Peso unitario del concreto patrón en estado endurecido.....	79
Tabla 61 Peso unitario del concreto con sustitución del 15% del volumen del agregado grueso por piedra pómez en estado endurecido.....	79
Tabla 62 Peso unitario del concreto con sustitución del 20% del volumen del agregado grueso por piedra pómez en estado endurecido.....	80
Tabla 63 Peso unitario del concreto con sustitución del 25% del volumen del agregado grueso por piedra pómez en estado endurecido.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la cantera “Hermanos Alaya” – La Victoria	21
Figura 2 Procedimiento general de la investigación.....	25
Figura 3 Resistencia a compresión vs tiempo	46
Figura 4 Curva de resistencia a la compresión	46
Figura 5 Relación de resistencia a la compresión a los 28 días respecto a la sustitución del agregado grueso por piedra pómez.	47
Figura 6 Curva de distribución granulométrica del agregado grueso.....	57
Figura 7 Curva de distribución granulométrica del agregado fino.....	58
Figura 8 Curva de distribución granulométrica de la piedra pómez	59
Figura 9 Toma de muestra de agregado grueso en la cantera “Hermanos Alaya”	103
Figura 10 Toma de muestra de agregado fino en la cantera “Hermanos Alaya”	103
Figura 11 Piedra pómez en laboratorio de Ensayo de Materiales	104
Figura 12 Ensayo de análisis granulométrico de los agregados	104
Figura 13 Ensayo de peso unitario de los agregados.....	105
Figura 14 Ensayo de resistencia a la abaración	105
Figura 15 Ensayo de slump del concreto.....	106
Figura 16 Ensayo de slump del concreto patrón	106
Figura 17 Medición de dimensiones del concreto endurecido	107
Figura 18 Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días.....	107
Figura 19 Ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días.....	108
Figura 20 Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días.....	108
Figura 21 Especímenes ensayados a compresión a los 28 días.....	109
Figura 22 Falla tipo 6 de probeta de concreto con sustitución de agregado grueso por 20% piedra pómez a los 28 días.....	109
Figura 23 Distribución de los agregados en una probeta ensayada a compresión.	110

RESUMEN

El principal problema del concreto tradicional es que su elevado peso volumétrico hace que las dimensiones de los elementos estructurales sean demasiado grandes es por ello que la presente investigación tuvo como objetivo principal determinar la variación del peso volumétrico y resistencia a compresión de un concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ al sustituir el agregado grueso por piedra pómez en diferentes porcentajes. Asimismo, la investigación fue del tipo aplicada con un nivel correlacional y metodología experimental. En cuanto a la población estuvo constituida por los especímenes de concreto $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ con la sustitución del agregado grueso por piedra pómez en un 15%, 20% y 25%; mientras que la muestra fue de 60 especímenes distribuidos en una cantidad de 15 por cada grupo para períodos de curado de 7, 14 y 28 días. El estudio llegó a concluir que la hipótesis se refuta respecto al peso volumétrico porque la variación fue menor al 10% al realizar los reemplazos correspondientes, así mismo, el peso unitario del concreto fresco disminuyó en 3.90%, 5.34% y 6.28% para los reemplazos de 15%, 20% y 25% respecto al concreto patrón y el peso unitario del concreto endurecido disminuyó en 1.84%, 2.44% y 3.01%, por otro lado, la resistencia a la compresión promedio a la edad de 28 días del concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con los reemplazos correspondientes presentó una disminución de 2.71%, 6.03% y 11.28%, la resistencia promedio del concreto patrón es 317.31 kg/cm^2 , 308.70 kg/cm^2 , 298.16 kg/cm^2 y 281.53 kg/cm^2 , para cada porcentaje de reemplazo.

PALABRAS CLAVE: Concreto, piedra pómez, resistencia a la compresión, peso unitario, especímenes.

ABSTRACT

The main problem with traditional concrete is that its high volumetric weight makes the dimensions of the structural elements too large, which is why the main objective of this research was to determine the variation of the volumetric weight and compressive strength of concrete $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ when replacing the coarse aggregate with pumice stone in different percentages. Likewise, the research was of the applied type with a correlational level and experimental methodology. As for the population, it was made up of concrete specimens $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ with the replacement of the coarse aggregate by pumice stone in 15%, 20% and 25%; while the sample was 60 specimens distributed in a quantity of 15 for each group for curing periods of 7, 14 and 28 days. The study concluded that the hypothesis is refuted regarding the volumetric weight because the variation was less than 10% when making the corresponding replacements, likewise, the unit weight of the fresh concrete decreased by 3.90%, 5.34% and 6.28% for the replacements of 15%, 20% and 25% compared to the standard concrete and the unit weight of the hardened concrete decreased by 1.84%, 2.44% and 3.01%, on the other hand, the average compressive strength at the age of 28 days of the concrete $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ with the corresponding replacements presented a decrease of 2.71%, 6.03% and 11.28%, the average resistance of the standard concrete is 317.31 kg/cm^2 , 308.70 kg/cm^2 , 298.16 kg/cm^2 and 281.53 kg/cm^2 , for each replacement percentage.

KEY WORDS: Concrete, pumice, compressive strength, unit wight, specimens.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1.Planteamiento del problema

El concreto es el material de construcción más común. Sin embargo, el concreto tradicional tienen una desventaja debido a su alto peso volumétrico. El elevado peso volumétrico del concreto hace que los elementos estructurales (como cimientos, columnas y vigas) tengan dimensiones excesivas. Para resolver este problema, es necesario utilizar concretos ligeros, caracterizados por su baja densidad, en la construcción de estructuras (Colombo y Mendoza, 2021).

A nivel mundial, la sustitución parcial o total de agregados convencionales por materiales alternativos, como la piedra pómez, ha cobrado relevancia en la industria de la construcción debido a la búsqueda de soluciones más sostenibles y económicas. La piedra pómez, material volcánico poroso y ligero, presenta propiedades únicas que pueden modificar significativamente las características del concreto, como su peso volumétrico y resistencia a la compresión (Etxeberria y Vintimilla, 2023) .

A nivel nacional, la sustitución de agregados convencionales por materiales locales, como la piedra pómez, es una práctica cada vez más común en la industria de la construcción en el Perú. La piedra pómez, abundante en diversas regiones del país, presenta propiedades únicas que la hacen atractiva como agregado para la producción de concreto. Así mismo, la piedra pómez, funciona como aislante térmico debido a su propiedad de menor densidad, lo cual es beneficiosa en zonas con grandes amplitudes térmicas (Matamoros, 2019).

El estudio de la sustitución del agregado grueso por piedra pómez en el concreto es un tema de gran relevancia en la ingeniería civil, debido a múltiples factores que impulsan esta investigación, la misma que tiene algunas de las causas más importantes como la sostenibilidad y economía; puesto que la piedra pómez, es un material abundante

en muchas regiones del país y la disminución del peso estructural, puesto que la piedra pómez permite reducir la cantidad de material utilizado en la estructuras lo que implica ahorro en costos de transporte y construcción (Karthika et al., 2021).

Por otro lado, la sustitución de agregado grueso por piedra pómez en el concreto ofrece beneficios significativos, pero también presenta desafíos que deben ser cuidadosamente evaluados y mitigados. Un diseño adecuado y un control de calidad riguroso son fundamentales para garantizar el éxito de este tipo de construcciones (Bahador et al., 2020).

1.2. Formulación del problema

¿Cuánto varía el peso volumétrico y resistencia a la compresión de un concreto $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ al sustituir el agregado grueso por piedra pómez en diferentes porcentajes?

1.3. Hipótesis general

La variación del peso volumétrico y resistencia a la compresión de un concreto $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ al sustituir el agregado grueso por piedra pómez en diferentes porcentajes disminuye en más del 10%.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

Esta investigación aporta conocimientos respecto a la influencia de la piedra pómez en el concreto como agregado grueso, considerando que ocupa la gran mayoría del volumen del concreto. En ese sentido, en esta investigación se realizó los ensayos de las propiedades físicas de la piedra pómez, las ventajas como agregado grueso y generará conocimiento técnico - analítico en la selección de materiales.

El personal de construcción civil contará con pautas precisas para elegir materiales y llevar a cabo análisis adecuados, así como elegir el porcentaje de reemplazo de la piedra pómez que proporcionen adecuadas propiedades de resistencia y peso volumétrico.

1.5. Alcances o delimitación de la investigación

- La investigación se realizó en la región de Cajamarca en los meses comprendidos entre noviembre del 2023 y febrero del 2024.
- Se utilizó agregados (fino y grueso) extraídos de la cantera de río "Hermanos Alaya", piedra pómez y cemento Portland tipo I de la marca Pacasmayo.
- Se realizó la sustitución en volumen del agregado grueso por piedra pómez en 15%, 20% y 25%.

1.6. Limitaciones de la investigación

- No se realizó el análisis químico del agregado fino.
- No se realizó el análisis químico del agregado grueso.
- No se realizó el análisis químico de la piedra pómez.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Determinar la variación del peso volumétrico y resistencia a compresión de un concreto $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ al sustituir el agregado grueso por piedra pómez en diferentes porcentajes.

1.7.2. Objetivos específicos

- Determinar el peso volumétrico y resistencia a la compresión de un concreto $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$.
- Determinar el peso volumétrico de un concreto $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ al sustituir el volumen del agregado grueso por piedra pómez en 15%, 20% y 25%.
- Determinar la resistencia a la compresión de un concreto $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ al sustituir el volumen del agregado grueso por piedra pómez en 15%, 20% y 25%.

1.8.Descripción de los capítulos de la investigación

- ✓ **Capítulo I: Introducción.** Este capítulo comprende el planteamiento del problema, formulación del problema, hipótesis general, justificación, alcance o delimitación, limitaciones y objetivos de la investigación.
- ✓ **Capítulo II: Marco Teórico.** Recopila los antecedentes tanto internacionales y nacionales de los últimos años, además una sinopsis de las bases teóricas y la definición de los términos básicos relacionados con los temas tratados en este estudio.
- ✓ **Capítulo III: Materiales Y Métodos.** Este capítulo describe los pasos seguidos y los hallazgos obtenidos durante los experimentos llevados a cabo para evaluar la resistencia a la compresión y el peso volumétrico del concreto que sustituye el agregado grueso por piedra pómez en 15%, 20% y 25%.
- ✓ **Capítulo IV: Análisis y Discusión de Resultados.** En este capítulo se examinan y contrastan los resultados relacionados con la investigación.
- ✓ **Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.** Relata las conclusiones que se alinean con los objetivos de esta investigación, al mismo tiempo se ofrecen algunas recomendaciones para mejora la comprensión del tema de investigación.
- ✓ **Referencias Bibliográficas**
- ✓ **Anexos.**

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos

Internacionales

Sagar et al. (2021) realizaron un estudio titulado “Partial Replancement of Pumice in Concrete As Coarse Aggregate Material”. En esta tesis se analiza la efectividad de sustituir parcialmente el agregado grueso por piedra pómez para lograr una resistencia adecuada. En el estudio se comparan las propiedades del concreto fresco y endurecido tanto del concreto convencional como del concreto con diferentes porcentajes de piedra pómez en sustitución del agregado grueso. Los resultados experimentales indican que un reemplazo del 25% de piedra pómez proporciona la máxima resistencia a la compresión.

Akçaözöglü & Güreer (2021) en su estudio “Investigation of the effects of the different proportions of pumice aggregate on the strength and drying shrinkage of concrete”, los autores evaluaron el efecto de diferentes porcentajes de agregado de piedra pómez (0%, 25%, 50%, 75% y 100%) en la resistencia a la compresión y la contracción por secado del concreto. Se encontró que la sustitución del agregado grueso por piedra pómez disminuye la resistencia a la compresión y aumenta la retracción por secado. Concluyendo que una sustitución del 25% a 50% de piedra pómez parece ser óptima para lograr un concreto ligero con una resistencia y durabilidad aceptables.

Muhtar (2023) en su investigación “Performance-based experimental study into quality zones of lightweight concrete using pumice aggregates” afirma que el concreto ligero genera dos zonas de calidad al reemplazar parcialmente el agregado grueso (NA) por agregado grueso de piedra pómez (PA), siendo la zona frágil para el concreto con PA mayor al 50% y la zona dúctil para el concreto con PA inferior al 50%. Además, determina que la resistencia a la compresión del concreto que utiliza PA disminuyó en un 30.93%, 40.79%, 61.81% y 63.16% para porcentajes de PA del 25%, 50%, 75% y 100%.

Karthika et al. (2021) en su investigación “Experimental study on lightweight concrete using pumice aggregate” señala que el concreto es un material de construcción muy utilizado en todo el mundo debido a su utilidad y su costo relativamente bajo. Sin embargo, una de las principales desventajas del concreto convencional es su elevado peso, lo que puede resultar en una estructura antieconómica. Para reducir el peso del concreto, se ha desarrollado el concreto liviano, que se caracteriza por tener una baja densidad, una reducción de la carga muerta y un mejor aislamiento térmico. Este tipo de concreto se produce mediante la sustitución parcial del agregado grueso por un agregado liviano, que puede ser natural o artificial. Uno de los tipos de agregado liviano natural más comunes es la piedra pómez, que se utiliza como reemplazo del agregado grueso debido a su baja densidad y disponibilidad. En este trabajo se concluye que la resistencia a la compresión para el concreto liviano que se prepara mediante la sustitución parcial del agregado grueso por piedra pómez en diferentes porcentajes (50%, 80% y 100%) muestra que solo el 50% de reemplazo tiene un valor óptimo. Después del 50%, el valor de la resistencia a la compresión disminuye.

Bahador et al. (2020) en su estudio “Effect of pumice stone as coarse aggregate on the density and compressive strength of concrete” investigó la influencia de la piedra pómez en la resistencia y densidad del concreto. Se prepararon muestras de concreto $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de sustitución de agregado grueso por piedra pómez (0%, 20%, 40%, 60%, 80% y 100%). Los resultados mostraron que a medida que se aumenta el porcentaje de sustitución de agregado grueso por piedra pómez, el peso volumétrico disminuye y la resistencia a la compresión se ve afectada negativamente. Sin embargo, se observó que la resistencia a la compresión del concreto con sustitución del 20% de piedra pómez fue comparable a la del concreto convencional. El estudio concluyó

que la piedra pómez se puede utilizar como sustituto parcial del agregado grueso en la producción de concreto liviano con una resistencia aceptable.

Nacionales

Colombo & Mendoza (2021) en su tesis “Piedra pómez como agregado grueso para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto ligero estructural” determinaron que los porcentajes óptimos de 17% 20% y 50% para una resistencia a la flexión de 18 kg/cm² , 33kg/ cm², 76 kg/cm² y una resistencia a la compresión de 185 kg/cm², 226 kg/cm² y 298 kg/cm² demostrado conforme va aumentando la dosificación el diseño mejora al tener en sus propiedades características geológica, llega a disminuir la conductividad térmica a 0.32 w/mk, 0.39 w/mk y 0.4 w/mk, debido a su alta porosidad y baja densidad, teniendo como resultado 1400 kg/m³, 1824 kg/m³ y 2117 kg/m³, concluyeron que al tener un óptimo porcentaje y dosificación la piedra pómez es un buen reemplazo de agregado grueso en los diseños de mezclas de un concreto ligero estructural.

Matamoros (2019) en su investigación “Influencia de piedra pómez en la elaboración de un concreto liviano estructural de un concreto liviano estructural de $f'_c=175$ kg/cm² utilizando material de región de Huancavelica” utilizó material de la región Huancavelica, el autor nos indica que en el diseño del concreto liviano estructural se siguieron las normas ACI 213R-03 y ACI 211.2-98 para establecer la gradación del agregado y la dosificación respectivamente, mientras que la norma ASTM C330-05 se utilizó para especificar los agregados livianos que se utilizarán en el concreto estructural para reducir su densidad manteniendo su resistencia a la compresión. Además, se emplearon las normas ASTM C138/C138M y ASTM C567-05a para calcular la densidad del concreto fresco y determinar las densidades secas al horno y de equilibrio, respectivamente. Para evaluar la resistencia a la compresión, se realizaron 48 probetas de concreto, distribuidas de manera equitativa entre concreto liviano estructural y concreto

de peso normal, y se sometieron a curado durante 7, 14, 21 y 28 días según el protocolo del ASTM C39/C39M. En la cual concluyó que la densidad de equilibrio es de 1709.06 kg/m³, el cual está entre 1680 a 1840 kg/m³ y la densidad seca al horno es 1686.77 kg/m³, mientras que el concreto liviano estructural adquiere una resistencia mayor a 175 kg/cm² y una resistencia cercana al concreto de peso normal de 190.07 kg/cm².

Alayo & Polo (2019) titulado “Influencia del porcentaje de piedra pómez sobre la resistencia a la compresión y peso unitario en un concreto estructural para pórticos, Trujillo – 2019” en este estudio aplicó diferentes porcentajes de piedra pómez al concreto convencional reemplazando al agregado grueso en 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%. Se encontró que el porcentaje óptimo es del 10%, lo que resultó en una resistencia a la compresión de 277 kg/cm² y una disminución de peso unitario de 2360 kg/m³. Además, se realizó un análisis de tres modelaciones estructurales de un edificio de 6 pisos para evaluar el comportamiento sísmico, en el cual se encontró que el edificio construido con el concreto de 10% de sustitución de piedra pómez cumplió con los parámetros establecidos por la normativa. Finalmente, se realizó un análisis de costos y se encontró que el concreto con piedra pómez aumenta su costo en S/.7.24 por 1m³ producido.

Chalco (2022), en su investigación “Estudio de las propiedades físicas y mecánicas del concreto f'c=210 kg/cm² con adición de piedra pómez volcánica distrito de Coya, Cusco – 2021” evaluó las características físicas y mecánicas del concreto con una resistencia nominal f'c=210 kg/cm² al agregar piedra pómez volcánica. La población de estudio incluyó la producción de concreto con una resistencia nominal f'c=210 kg/cm² en el distrito de Coya, Cusco, con la adición de piedra pómez en proporciones del 10%, 20%, y 30%. La muestra consistió en 36 especímenes para cada prueba de resistencia a la compresión, la elaboración de mezclas de concreto y la prueba de la resistencia mecánica de los especímenes. Los resultados indicaron que la resistencia a la compresión,

disminuyó a medida que se incrementó la cantidad de piedra pómez en la mezcla, en comparación con la mezcla de control, a una edad de curado de 28 días.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto

El concreto es un material artificial que se compone de un ligante conocido como pasta, en la cual están integradas partículas de un medio ligado llamado agregado. La pasta resulta de la reacción química entre el material cementante y el agua, constituyendo la fase continua del concreto, ya que siempre se encuentra asociada con el agregado. El agregado es la fase discontinua del concreto dado que sus partículas no se encuentran unidas o en contacto unas con otras, sino que se encuentran separadas por espesores diferentes de pasta endurecida. (Rivva, 2019)

2.2.2. Tipos de concreto

Son los siguientes (Abanto, 2017):

- Concreto simple: Cemento + A. fino + A. grueso + Agua
- Concreto armado: Concreto simple + armadura
- Concreto estructural: Tiene especificaciones precisas, resistencia mínima pre-establecida en diseño y durabilidad adecuada
- Concreto liviano: Son preparados con agregados livianos y su peso unitario varía desde 400 kg/m^3 a 1700 kg/m^3
- Concreto normal: Su peso unitario varía desde 2300 kg/m^3 a 2500 kg/m^3 , según su tamaño máximo del agregado. El peso promedio es de 2400 kg/m^3
- Concreto pesado: Son preparados con agregados pesados y su peso unitario varía desde 2800 kg/m^3 a 6000 kg/m^3
- Concreto bombeado: Impulsado por bombeo a través de tuberías hacia la ubicación final

2.2.3. Estructura del concreto

2.2.3.1. Cemento Portland

Es un cemento hidráulico, definido como un material en forma de polvo que, al ser mezclado con agua, genera una pasta aglomerante que tiene la capacidad de fraguar y soportar tanto en condiciones subacuáticas como el aire, formando compuestos estables. A este proceso se le conoce como hidratación (Rivva, 2019).

El cemento se produce a partir de una mezcla finamente molida de minerales, principalmente piedra caliza y arcilla. Estos materiales se calientan a temperaturas elevadas (entre 1400 °C y 1450 °C) en grandes hornos giratorios, que pueden tener más de 200 metros de longitud y 5,5 metros de diámetro. El material que emerge del horno en estado parcialmente fundido se denomina "clínker", que se presentan en forma de pequeñas esferas duras de color gris oscuro y de diversas dimensiones. El clínker se enfría y se muele hasta convertirse en un polvo muy fino, formando así el cemento Portland. Durante la molienda, se añade una pequeña cantidad de yeso (entre el 3% y el 4%) para evitar que el cemento fragüe de inmediato (Abanto, 2017).

2.2.3.1.1. Compuestos químicos en el cemento Portland

Químicamente está compuesto por varios elementos, como son: Oxido de calcio (CaO) aportado por la cal, Dióxido de silicio (SiO₂) el cual se encuentra en la arcilla junto con el óxido de aluminio (Al₂O₃) y el óxido de hierro (Fe₂O₃), así mismo, la adición del yeso ayuda a regular su fraguado (Maldonado, 2021).

Tabla 1

Compuestos químicos en el cemento Portland

Compuesto químico	Nomenclatura	Porcentaje
Silicato tricálcico	3CaO.SiO ₂ (C3S)	40%
Silicato dicálcico	2CaO.SiO ₂ (C2S)	30%
Aluminato tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃ (C3A)	11%
Aluminoferrito tetracálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ .FE 23	11%

Fuente: (Maldonado, 2021)

2.2.3.1.2. Cemento Portland tipo I

Uso general, adecuado para construcciones que no requieren propiedades especiales (Maldonado, 2021)

2.2.3.2. Agregados

También conocidos como áridos, son materiales inertes que se mezclan con aglomerantes como cemento y cal, junto con agua, para formar concretos y morteros. La relevancia de los agregados reside en que constituyen aproximadamente el 75% del volumen de una mezcla típica de concreto. Por ello, es crucial que los agregados posean buena resistencia, durabilidad y resistencia a los elementos, y que su superficie esté libre de impurezas como barro, limo y materia orgánica, ya que estas pueden debilitar la adhesión con la pasta de cemento (Abanto, 2017).

Según la norma NTP 400.011 (2013), los materiales conocidos como agregados, también llamados áridos, están conformados por partículas de origen natural o artificial que pueden ser sometidos a tratamientos o procesos de elaboración. Estos materiales presentan dimensiones específicas que se encuentran dentro de límites establecidos según su composición granulométrica.

2.2.3.2.1. Agregado fino

Se considera agregados finos a la arena o piedra natural finamente triturada que pasa por el tamiz de 9.5 mm (3/8") y cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.037. Estas partículas deben ser limpias, preferentemente angulares, duras, compactas, resistentes y libres de partículas escamosas, materia orgánica y otras sustancias perjudiciales (Rivva, 2019).

2.2.3.2.2. Agregado grueso

El agregado grueso se define como el material que queda retenido en el tamiz NTP de 4.75 mm (N° 4), proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas, y

que cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.037. Este tipo de agregado puede consistir en grava natural o triturada (piedra chancada). Sus partículas deben ser limpias, preferentemente angulares o semi-angulares, duras, compactas, resistentes y de textura rugosa. Deben estar libres de partículas escamosas, materia orgánica y otras sustancias perjudiciales (Rivva, 2019).

Análisis granulométrico, el análisis granulométrico es una técnica utilizada para determinar el tamaño de las partículas en una muestra de suelo, arena, grava u otro material. Este proceso implica separar la muestra en diferentes fracciones de tamaño, y luego medir la cantidad de material que se encuentra en cada fracción.

La norma ASTM D422-63 (2018) describe los procedimientos para realizar el análisis granulométrico por tamizado de agregados finos y gruesos.

Tabla 2

Tamices para el análisis granulométrico

Agregado	Tamices normalizados
FINO	150 μm (N° 100)
	300 μm (N° 50)
	600 μm (N° 30)
	1,18 mm (N°16)
	2,36 mm (N° 8)
	4,75 mm (N° 4)
GRUESO	9,50 mm (3/8)
	12,5 mm (1/2)
	19,0 mm (3/4)
	25,0 mm (1)
	37,5 mm (1 1/2)
	50,0 mm (2)
	63,0 mm (2 1/2)
	75,0 mm (3)
	90,0 mm (3 1/2)
	100,0 mm (4)

Fuente: (NTP.400.011, 2013)

2.2.3.3. Agua

Ocupa entre el 14% al 18% del volumen de la mezcla e hidrata al cemento Portland por medio de reacciones químicas (Abanto, 2017).

El agua desempeña un papel crucial en la elaboración del concreto, ya que influye en la resistencia, la trabajabilidad y las propiedades del concreto una vez que ha fraguado (Rivva, 2019).

2.2.4. Peso volumétrico

Es una propiedad física del concreto que se refiere al peso del material por unidad de volumen. Se mide en unidades de peso por unidad de volumen, como libras por pie cúbico (lb/ft³) o kilogramos por metro cúbico (kg/m³) (ACI 318-19, 2019)

El peso volumétrico del concreto depende de varios factores, como la densidad de los materiales utilizados para la mezcla, la relación agua-cemento, la cantidad de aire atrapado en la mezcla y el grado de compactación (ACI 318-19, 2019). La densidad del concreto también puede variar según su contenido de humedad y su edad.

El peso volumétrico del concreto es importante en la determinación de la cantidad de material necesario para una estructura, así como en la evaluación de la resistencia estructural y la carga que puede soportar (ACI 318-19, 2019).

El ACI 318-19 (2019), establece requisitos mínimos de peso volumétrico para diferentes aplicaciones de construcción y proporciona procedimientos para su medición.

2.2.5. Piedra Pómez

También conocida como pumita, es una roca ígnea volcánica que se forma a partir del enfriamiento extremadamente rápido de un magma ascendente de alta viscosidad, también conocido como magma ácido. Durante su formación, la lava expulsada al aire se descomprime rápidamente, lo que provoca una desgasificación que origina su característica porosidad. Estas rocas son comunes en erupciones de volcanes de tipo

vesubiano. La composición de la pumita está mayoritariamente constituida por sílice y aluminio (Costa, 2016).

2.2.5.1. Propiedades de la piedra pómez

La procedencia volcánica de la piedra pómez le otorga características singulares: una abundancia de poros y celdas cerradas, lo que resultan en una alta porosidad y una robustez del grano. Esta porosidad permite que la piedra pómez absorba y retenga agua, además de hacerla ligera y adecuada para usos específicos, especialmente en el filtrado de productos industriales. La piedra pómez es lo suficientemente suave como para ser tallada, torneada y grabada con facilidad. Su color blanco le proporciona un aspecto atractivo, siendo útil también en decoración. Gracias a su ligereza, puede flotar en el agua debido al aire contenido en sus cavidades. Además, es resistente al frío, al fuego y a las inclemencias del tiempo, y no contiene sales solubles en agua. Las partículas de esta roca volcánica suelen tener formas variadas, predominando las alargadas y angulosas. Sus poros cerrados le confieren una baja densidad, lo que resulta en un comportamiento muy ligero ante impactos. Aunque tiene una dureza media, su alta friabilidad le otorga un poder abrasivo muy bajo, produciendo un efecto suave sobre las superficies trabajadas. (Costa, 2016).

- **Textura:** porosa, esponjosa o espumosa. Escoriácea, con muchos huecos y cavidades.
- **Densidad:** sus poros cerrados le otorgan una baja densidad, lo que resulta en un comportamiento muy ligero ante impactos.
- **Color:** blanco grisáceo.
- **Brillo:** piedra pómez frescas son de brillo sedoso.

2.2.5.2. Uso de la piedra pómez en la construcción

La pumita se emplea en la fabricación de materiales ligeros para la construcción, como el concreto y los bloques de concreto. La puzolana, una variante de pumita de grano fino, se agrega al concreto para obtener un material suave y similar al yeso. Desde la época romana, la piedra pómez se utiliza en la elaboración de concreto. Además, se emplea en la construcción para aislamiento, baldosas acústicas, estuco y yeso (Costa, 2016).

2.2.6. Curado de probetas

Cuando el agua entra en contacto con el cemento, se produce una reacción de hidratación que endurece el concreto. Es crucial garantizar que, durante el fraguado y el endurecimiento, el concreto mantenga las condiciones adecuadas para su hidratación, es decir, una humedad continua. (Abanto, 2017).

Curado inicial: Tras el moldeado y acabado, las muestras deben conservarse durante un máximo de 48 horas en condiciones específicas. La temperatura debe mantenerse entre 16 °C y 27 °C, en un entorno que prevenga la deshidratación de las muestras. Existen diversas técnicas para conservar la temperatura y humedad requeridas en la fase inicial de curado. Se puede emplear un método específico o una combinación de ellos, según sea apropiado. Es crucial resguardar todas las muestras de la exposición solar directa y, en caso de utilizarse, de las fuentes de calor radiante. El control de la temperatura de almacenamiento se logra mediante el uso de equipos de calefacción y refrigeración según se requiera. La medición de temperatura se realiza con un termómetro de máxima y mínima. Para las muestras en moldes de cartón, es necesario evitar que las superficies exteriores entren en contacto con arpillera húmeda u otras fuentes de humedad. (ASTM C31/ C31M, 2008)

Procedimientos:

Durante la etapa inicial de curado de las muestras, es posible generar un entorno con la humedad adecuada mediante una o varias de las siguientes técnicas: (1) Inmerja de inmediato las muestras recién moldeadas, cubiertas con tapas de plástico, en agua que ha sido saturada con hidróxido de calcio, (2) Conserve las muestras en contenedores o recintos de madera diseñados específicamente para este propósito, (3) Deposite las muestras en cavidades llenas de arena humedecida, (4) Proteja las muestras con cubiertas de plástico que puedan retirarse fácilmente, (5) Introduzca las muestras en envolturas o sacos hechos de material plástico, o (6) Envuelva las muestras con películas de plástico o láminas no porosas, asegurándose de prevenir la desecación. Puede utilizarse arpillera húmeda dentro del recubrimiento, pero cuidando que no toque directamente las superficies de concreto. Se puede mantener una temperatura adecuada durante el curado inicial de los especímenes mediante uno o más de los siguientes métodos: (1) ventilación, (2) uso de hielo, (3) dispositivos de enfriamiento o calefacción con control termostático, o (4) métodos de calefacción como estufas o bombillas. (ASTM C31/ C31M, 2008)

Se pueden emplear otros métodos adecuados siempre que se respeten los requisitos que limitan la temperatura y la pérdida de humedad de los especímenes. La inmersión en agua saturada con hidróxido de calcio puede ser la forma más sencilla de mantener la temperatura de almacenamiento adecuada. Sin embargo, no se deben utilizar moldes de cartón u otros que se expandan al sumergirse en agua. Los ensayos de resistencia temprana tienden a ser más bajos a 16 °C y más altos a 27 °C. En contraste, a edades más avanzadas, los resultados de las pruebas pueden ser inferiores cuando la temperatura de almacenamiento inicial es más elevada. (ASTM C31/ C31M, 2008)

Una vez completado el curado inicial y dentro de los 30 minutos posteriores a la retirada de los moldes, cure los especímenes aplicando agua libre sobre sus superficies,

manteniéndolos a una temperatura de 23 ± 2 °C. Esto se puede hacer utilizando tanques de almacenamiento de agua o cuartos húmedos que cumplan con los requisitos de la Especificación C 511, a excepción de los casos en que se utilice un compuesto para encabezar mortero de sulfuro. En ese caso, es necesario que los extremos del cilindro estén suficientemente secos para evitar la generación de burbujas de vapor o espuma debajo o dentro del encabezado que superen 1/4 in. [6 mm], conforme a la práctica C 617. En un lapso de hasta 3 horas previo a la prueba, no es necesario mantener la temperatura de curado normalizada, siempre que se conserve la humedad en los cilindros y la temperatura ambiente esté entre 20 y 30 °C. (ASTM C31/ C31M, 2008)

2.2.7. Ensayo de resistencia a la compresión

La resistencia del concreto es definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportada por dicho material sin romperse. Dado que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzo de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzo de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad (Rivva, 2019).

La resistencia del concreto depende de varios factores, como la calidad de los materiales utilizados, la relación agua-cemento, la compactación y curado adecuados, y la edad del concreto (ACI 318-19, 2019). Además, la resistencia del concreto puede ser influenciada por factores ambientales como la temperatura, humedad y exposición a agentes químicos o corrosivos.

El diseño de mezcla de concreto debe tener en cuenta la resistencia requerida para cumplir con los requisitos del proyecto. El ACI 318-19 (2019) establece requisitos mínimos de resistencia del concreto para diferentes aplicaciones de construcción y proporciona procedimientos para la prueba de resistencia del concreto.

La resistencia del concreto se determina dividiendo la carga máxima que soporta la probeta al fracturarse entre el área promedio de su sección transversal.

$$R_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

P: carga máxima aplicada en (kg.)

A: área de la sección transversal en (cm²)

R_c: resistencia a la compresión del cilindro en (kg/cm²)

2.3. Definición de términos básicos

- Resistencia a la compresión: la resistencia del concreto es definida como el máximo esfuerzo que pueden ser soportado por dicho material sin romperse. Dado que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad (Rivva, 2019).
- Peso volumétrico: es una propiedad física del concreto que se refiere al peso del material por unidad de volumen. Se mide en unidades de peso por unidad de volumen, como libras por pie cúbico (lb/ft³) o kilogramos por metro cúbico (kg/m³) (ACI 318-19, 2019).
- Cemento: material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire (Abanto, 2017).
- Agregado fino: se denominará así a los materiales que pasan la malla N° 4, que podrán provenir de fuentes naturales, procesados o combinación de ellos (MTC, 2015)

- Agregado grueso: se denominaría así a los materiales retenido en el tamiz 4.75 mm. (N° 4), proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas o combinación de ambos (MTC, 2015)
- Piedra pómez: la piedra pómez, o pumita, es una roca ígnea volcánica que se forma a partir del enfriamiento extremadamente rápido de un magma ascendente de alta viscosidad, también conocido como magma ácido (Costa, 2016)

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.Ubicación geográfica de la investigación

3.1.1. Ubicación geográfica del laboratorio

Los ensayos para este estudio se llevaron a cabo en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Mg. Ing. Carlos Esparza Diaz” de la Universidad Nacional de Cajamarca, que se encuentra ubicado en:

Departamento : Cajamarca

Provincia : Cajamarca

Distrito : Cajamarca

Tabla 3

Coordenadas UTM del LEM de la Universidad Nacional de Cajamarca.

COORDENADAS UTM – DATUM WGS 84	
NORTE:	9 206 995.84 N
ESTE:	776 619.32 E

3.1.2. Ubicación geográfica de la cantera

Los agregados son de la cantera “Hermanos Alaya”, que se encuentra ubicado en:

Departamento : Cajamarca

Provincia : Cajamarca

Distrito : Cajamarca

Tabla 4

Coordenadas UTM de la cantera “Hermanos Alaya”

COORDENADAS UTM – DATUM WGS 84	
NORTE:	9 205 009.73 N
ESTE:	779 878.26 E

Figura 1

Ubicación de la cantera “Hermanos Alaya” – La Victoria



Fuente: Google Earth Pro

3.2. Período de estudio

La presente investigación se desarrolló durante los meses comprendidos entre noviembre del 2023 y febrero del 2024.

3.3. Metodología de la investigación

3.3.1. Tipo, Nivel y Método de Investigación

- ✓ **Tipo:** la investigación realizada es de tipo aplicada, ya que su objetivo fue resolver un problema específico, centrándose en evaluar la variación del peso volumétrico y la resistencia a compresión del concreto.
- ✓ **Nivel:** la investigación realizada es de nivel correlacional, ya que su propósito fue identificar la relación de interdependencia entre dos variables específicas.
- ✓ **Método:** la metodología empleada es de tipo experimental, ya que se comparó la variación del peso volumétrico y la resistencia a compresión del concreto patrón y los concretos con piedra pómez.

3.3.2. Variables

Variable dependiente

X1: Peso volumétrico del concreto (en kg/m^3)

X2: Resistencia a la compresión del concreto (en kg/cm^2)

Variable independiente

Y1: Porcentaje de sustitución del agregado grueso por piedra pómez.

3.3.3. Población de estudio

Probetas de concreto $f'_c=280 \text{ kg}/\text{cm}^2$

Los especímenes consistieron en probetas de concreto que se clasificarán en cuatro tipos:

- **Espécimen tipo I:** Probetas de concreto de forma cilíndrica con dimensiones de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de alto, diseñadas para alcanzar una resistencia a compresión de $280 \text{ kg}/\text{cm}^2$, fue sometida a un proceso de curado por inmersión durante 7, 14 y 28 días. Posteriormente, fue secada en el ambiente para ser evaluada su resistencia a la compresión mediante ensayos.
- **Espécimen tipo II:** Probetas de concreto al sustituir el 15% de agregado grueso por piedra pómez de forma cilíndrica con dimensiones de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de alto, con una resistencia a la compresión de $280 \text{ kg}/\text{cm}^2$, fue sometida a un proceso de curado por inmersión durante 7, 14 y 28 días. Posteriormente, fue secada en el ambiente para ser evaluada su resistencia a la compresión mediante ensayos.
- **Espécimen tipo III:** Probetas de concreto al sustituir el 20% de agregado grueso por piedra pómez de forma cilíndrica con dimensiones de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de alto, con una resistencia a la compresión de $280 \text{ kg}/\text{cm}^2$, fue sometida a un proceso de curado por inmersión durante 7, 14 y 28 días.

Posteriormente, fue secada en el ambiente para ser evaluada su resistencia a la compresión mediante ensayos.

- **Espécimen tipo IV:** Probetas de concreto al sustituir el 25% de agregado grueso por piedra pómez de forma cilíndrica con dimensiones de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de alto, con una resistencia a la compresión de 280 kg/cm², fue sometida a un proceso de curado por inmersión durante 7, 14 y 28 días. Posteriormente, fue secada en el ambiente para ser evaluada su resistencia a la compresión mediante ensayos.

3.3.4. Muestra

Se tomo un total de 60 especímenes. Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{E^2}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra

Z = Valor crítico de la distribución normal estándar

p = Proporción estimada de la población

E = Margen de error

La presente investigación se realizó con el 95.45% de nivel de confianza al cual corresponde un valor crítico de la distribución normal estándar de $Z = 1.69$ de acuerdo al Anexo 02: Tabla de distribución normal estimación de Z , una proporción estimada de la población de $p = 95.50\%$ de acuerdo al Anexo 03: Tablas de distribución normal estimación de “ p ” y con un margen de error $E = 4.55\%$.

Reemplazando estos valores en la ecuación tenemos:

$$n = \frac{1.69^2 \cdot 0.9550 \cdot (1 - 0.9550)}{0.0455^2}$$

$$n = 59.915$$

$$n = 60$$

Luego de calcular el tamaño de muestra se optó trabajar con $n= 60$ especímenes que fueron clasificados en 4 grupos.

Tabla 5

Distribución de especímenes para ensayar a compresión

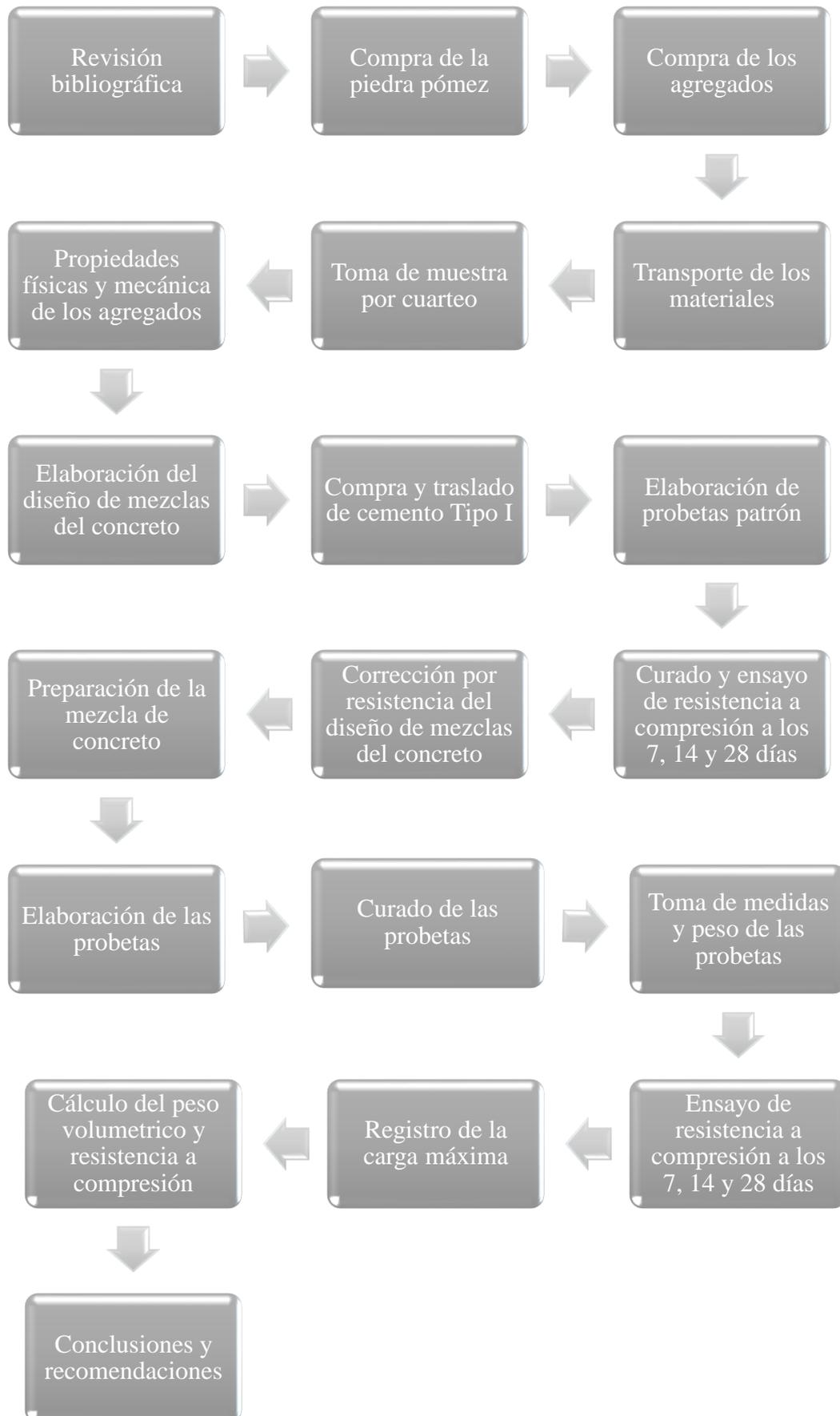
Tipo	Edad (Días)			Subtotal de Especímenes	Total, de Especímenes
	7 días	14 días	28 días		
I	5	5	5	15	60
II	5	5	5	15	
III	5	5	5	15	
IV	5	5	5	15	
Subtotal	20	20	20		
Total		60			

3.3.5. Unidad de observación

La unidad de observación en este caso son las probetas cilíndricas con dimensiones de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de alto de concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, ya que es lo que se evaluó en términos de su variación en el peso volumétrico y resistencia a la compresión al sustituir el agregado grueso por piedra pómez en diferentes porcentajes.

3.4. Procedimiento de la investigación

Figura 2
Procedimiento general de la investigación



3.4.1. Extracción y preparación de las muestras

NTP 400.010:2020/ ASTM D75

En este estudio investigativo se utilizó agregados de la cantera “Hermanos Alaya”, la extracción se realizó en estricto cumplimiento a la NTP 400.010:2020.

3.4.2. Reducción de las muestras de agregados – Método B: Cuarteo

NTP 400.043/ ASTM C702/ MTC E201

Para reducir las muestras obtenidas en la cantera empleamos el método B: Cuarteo.

Se utilizó pala plana, escoba y una manta de lona, iniciamos colocando la muestra sobre la manta en una superficie nivelada, luego se mezcló el agregado mediante volteo más de tres veces formando una pila cónica, en seguida se aplanó a un diámetro con grosor uniforme y se fraccionó en cuatro partes iguales para finalmente extraer dos cuartos opuestos repitiendo este proceso las veces necesarias hasta tener el tamaño de la muestra requerida para los ensayos.

3.4.3. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados

3.4.3.1. Peso específico y absorción

3.4.3.1.1. Peso específico y absorción del agregado grueso

NTP 400.021/ ASTM C-127/ MTC E206

Después de la selección de la muestra, se realizó un tamizado utilizando una malla de 4.75mm (N°4) eliminando todo el material que pasó. El material retenido se sometió a un lavado para eliminar cualquier polvo u otras impurezas. Seguidamente, el agregado se mantuvo sumergido en agua a temperatura ambiente durante un intervalo de 24 horas, con una tolerancia de ± 4 horas. Tras este periodo, se extrajo la muestra y se secó su superficie rodándola sobre un paño absorbente hasta eliminar el agua visible. Después, se pesó la muestra en esta condición Saturado Superficialmente

Seco (SSS) (B). Luego, se llenó un recipiente con una cantidad considerable de agua y se ajustó una balanza con un gancho para suspender la canastilla que contiene la muestra de ensayo dentro del recipiente, registrando el peso de la canastilla sumergida (C). Finalmente, la muestra de ensayo se colocó en el horno a una temperatura de 110°C, con una variación de $\pm 5^\circ\text{C}$, y después de enfriarse a temperatura ambiente durante un período de 1 a 3 horas, se registró el peso final (A).

Peso específico de masa ($P. e_m$)

$$P. e_m = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

$P. e_m$ = Peso específico de masa.

A = Peso de la muestra secada en el horno (g)

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

C = Peso aparente de la muestra saturada en agua (g)

Peso específico de masa saturado con superficie seca ($P. e_{m\ sss}$)

$$P. e_{m\ sss} = \frac{B}{B - C}$$

Peso específico aparente ($P. e_a$)

$$P. e_a = \frac{A}{A - C}$$

Absorción (%)

$$A_{bs} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

3.4.3.1.2. Peso específico y absorción del agregado fino

NTP 400.022/ ASTM C-128/ MTC E205

Para obtener una muestra representativa de agregado fino, se utiliza el método de cuarteo, seguido de su secado en un horno a una temperatura controlada de 110°C, con una variación de $\pm 5^\circ\text{C}$, y posterior enfriamiento a una temperatura adecuada para su manipulación. Luego, la muestra se cubrió con agua y se dejó reposar durante un período de 24 horas, con una tolerancia de ± 4 horas. Después, se eliminó el exceso de agua y se evitó la pérdida de finos, secando la muestra sobre una superficie plana no absorbente y mezclándola de manera uniforme y frecuente hasta alcanzar un estado de superficie seca, manteniendo la humedad superficial para evitar el secado completo.

Para comprobar la humedad superficial, se sometió la muestra a una prueba en un cono troncocónico, golpeándola 25 veces con una varilla de compactación distribuida sobre la superficie. Luego, se levantó verticalmente el molde, conservando su forma y humedad superficial, repitiendo este proceso hasta que la muestra se desmoronara, indicando así que había alcanzado un estado de superficie seca.

Seguidamente, se tomó una cantidad de 500 gramos de la muestra y se colocó en una fiola, llenándola de agua hasta la marca de 500 cm³, eliminando las burbujas de aire y dejándola reposar durante una hora. Se calcula entonces el peso y se extrajo la muestra para volver a secarla en el horno a la misma temperatura mencionada anteriormente, registrando finalmente su peso seco.

Peso específico de masa ($P. e_m$)

$$P. e_m = \frac{W_o}{V - V_a} \times 100$$

Donde:

$P. e_m$ = Peso específico de masa.

W_o = Peso en el aire de la muestra secada en el horno (g)

V = Volumen de la fiola (cm^3)

V_a = Volumen de fiola más agua (cm^3)

Peso específico de masa saturado con superficie seca ($P. e_{m\ sss}$)

$$P. e_{m\ sss} = \frac{500}{V - V_a} \times 100$$

Peso específico aparente ($P. e_a$)

$$P. e_a = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} \times 100$$

Absorción (%)

$$A_{bs} = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100$$

3.4.3.2. Análisis granulométrico

NTP 400.012/ ASTM C-136/ AASHTO T-27/ MTC E204

Para el agregado fino, se demostró una cantidad mínima de muestra de 300 gramos, mientras que, para el agregado grueso, se demostró un mínimo de 7 kilogramos.

Después de la selección de la muestra, se sometió a un proceso de secado a una temperatura constante de 110 °C con una variación de ± 5 °C, seguido por el tamizado mecánico utilizando las mallas adecuadas. Luego, se pesaron los pesos retenidos en cada tamiz, incluyendo la cazoleta, y se calculó el porcentaje retenido de cada muestra utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Retenido}_x = \frac{W_x}{W} \times 100$$

Donde:

$\% \text{ Retenido}_x$ = Porcentaje de muestra retenido en cada tamiz

W_x = Peso retenido en cada tamiz (g)

W = Peso total de la muestra (g)

Según los requerimientos del agregado para concreto (NTP 400.037), con la distribución granulométrica se tiene:

a) Tamaño Máximo (TM) y Tamaño Máximo Nominal (TMN) del agregado

b) Módulo de Fineza del agregado grueso (MF_{AG})

$$MF_{AG} = \frac{\% \text{ Retenido Acumulado} \left(N^{\circ} 4, \frac{3''}{8}, \frac{3''}{4}, 1 \frac{1''}{2} \right) + 500}{100}$$

c) Módulo de Fineza del agregado fino (MF_{AF})

$$MF_{AF} = \frac{\% \text{ Retenido Acumulado} (N^{\circ} 100, N^{\circ} 50, N^{\circ} 30, N^{\circ} 16, N^{\circ} 8, N^{\circ} 4)}{100}$$

3.4.3.2.1. Módulo de Finura

En concordancia con la NTP 400.11, p, 10; el factor del Módulo de Finura se calcula sumando los porcentajes acumulados de material presente en cada uno de los tamices de la serie especificada, y luego dividiendo el resultado entre 100.

3.4.3.2.2. Tamaño máximo del agregado

Conforme a la NTP 400.11, p, 10; se refiere al tamiz más pequeño por el cual todo el agregado grueso de la muestra logra pasar.

3.4.3.2.3. Tamaño máximo nominal

El tamaño máximo nominal según la NTP 400.11, p, 11; se trata del tamiz más pequeño dentro de la serie empleada que genera el primer material retenido durante el proceso de tamizado.

3.4.3.3. Peso unitario – peso volumétrico

NTP 400.017/ ASTM C-29/ MTC E203

Para calcular el peso específico del agua, se anotó el peso de la fiola y se midió su volumen. Luego, se llenó la fiola con agua, asegurándose de eliminar las burbujas de aire y cualquier exceso de agua. Se registró el peso de la fiola junto con el agua. Para finalizar, se aplicó la siguiente fórmula:

$$P_e = \frac{W_{f+a} - W_f}{V_f} \times 1000$$

Donde:

P_e = Peso específico del agua (Kg/m³)

W_f = Peso de la fiola (g)

W_{f+a} = Peso de la fiola más agua (g)

V_f = Volumen de fiola (cm³)

Calibración del recipiente --- CÁLCULO DEL F

3.4.3.3.1. Peso unitario compactado

Para calcular el factor F, se anotó el peso inicial del recipiente. Posteriormente, se llenó el recipiente con agua, asegurándose de la eliminación de las burbujas de aire generadas y cualquier exceso de agua. Se registró el peso del recipiente junto con el agua.

Luego, se aplicó la siguiente fórmula:

$$F = \frac{W_{r+a} - W_r}{P_e}$$

Donde:

F = Factor del recipiente de medida ($1/m^3$)

W_r = Peso del recipiente (g)

W_{r+a} = Peso del recipiente más agua (g)

P_e = Peso específico del agua (Kg/m^3)

3.4.3.3.2. Peso unitario suelto

En cuanto a la determinación del peso unitario suelto, se anotó el peso inicial del recipiente. Luego, el agregado se descargó desde una altura que no excediera los 5 cm del borde superior del recipiente, utilizando una pala o cucharón, y se niveló la superficie del agregado con una espátula para eliminar los vacíos mayores debajo del borde superior del recipiente. Finalmente, se registró el peso del recipiente junto con el agregado.

3.4.3.4. Contenido de humedad

NTP 339.185/ ASTM C-566/ MTC E566

Tras obtener una muestra en su estado natural, se anota su peso inicial antes de someterla a un proceso de secado en un horno a una temperatura de $110^{\circ}C$, con una fluctuación de $\pm 5^{\circ}C$, durante un intervalo de 24 horas. Luego de retirar la muestra del horno, se registra su peso una vez que haya alcanzado un estado de secuencia. Se realizó el cálculo correspondiente utilizando la siguiente fórmula:

$$P = \frac{W - D}{D} \times 100$$

Donde:

P = Contenido de Humedad de la muestra (%)

W = Peso de la muestra húmeda (g)

D = Peso de la muestra seca (g)

3.4.3.5. Material más fino que pasa el Tamiz N° 200

NTP 400.018/ ASTM C-117/ MTC E202

El procedimiento seleccionado será el Procedimiento A, conocido como “Lavado con Agua”.

La muestra de ensayo se obtiene mediante el proceso de reducción según lo estipulado por la normativa, dado que no se permite la disminución a una cantidad precisa predefinida.

La muestra fue tomada después de pasar por un tamiz de tamaño inferior al máximo nominal, separándola y luego secándola con el propósito de alcanzar un peso constante a una temperatura de 110°C con una variación de ±5°C. Se registró el peso seco de la muestra original (P_1). Luego, la muestra se colocó en un recipiente y se cubrió con agua. Se agitó vigorosamente para separar todas las partículas y lograr suspender los materiales finos. Posteriormente, se vertió el agua con las partículas finas suspendidas, evitando que se decanten las partículas gruesas, repitiendo este proceso hasta obtener un agua de lavado lo suficientemente clara. Después, se lavó con un chorro de agua lento y constante hasta que el agua pasara completamente clara a través del tamiz N° 200 (75 μm). Finalmente, la muestra ensayada después del lavado se secó en un horno durante 24 horas y se registró su peso seco (P_2).

La cantidad de material que pasó a través del tamiz normalizado N° 200 mediante vía húmeda se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde:

A = Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz normalizado N° 200 (75 μm) por vías húmeda.

P_1 = Peso Seco de la muestra original (g)

P_2 = Peso Seco de la muestra ensayada (g)

3.4.3.6. Resistencia a la abrasión

NTP 400.019/ ASTM C-131/ MTC E207

De acuerdo con la tabla N° 1 de la norma NTP.019, p, 6, la gradación se categorizará como tipo A. La muestra representativa será sometida a un proceso de lavado y secado en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C. Posteriormente, se separarán cada una de las fracciones individuales y se recombinarán. Se registrará la masa de la muestra con una aproximación de 1 gramo antes de realizar el ensayo.

Posteriormente, la muestra de agregado grueso y las esferas, de acuerdo con la gradación específica, fueron introducidas en la máquina de los Ángeles, donde se sometieron a un número predefinido de revoluciones (500 revoluciones) y a una velocidad de 30 a 33 rpm. Una vez completado este proceso, se retiraron las esferas y la muestra para llevar a cabo una separación preliminar de la porción que pasó a través del tamiz N° 12 (1.70 mm). Además, se llevó a cabo el lavado del material retenido en el tamiz para eliminar los finos adheridos a las partículas. Por último, la muestra se colocó en el horno a una temperatura de 110°C con una variación de ± 5 °C durante un período de 24 horas, tras lo cual se extrajo y se registró su peso seco.

El cálculo se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Abrasión} = \frac{W_o - W_f}{W_o} \times 100$$

Donde:

W_o = Peso Original de la muestra antes de ensayar (g)

W_f = Peso Final de la muestra después de ensayar (g)

3.4.4. Diseño de mezclas del concreto $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$

Para llevar a cabo el diseño de mezclas del concreto $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ se decidió hacer uso del método del módulo de finura de la combinación de agregados. Para este propósito, se utilizó las propiedades del Cemento Portland Tipo I, agua potable, agregados de la cantera “Hermanos Alaya” y piedra pómez.

A continuación, se detallan los pasos llevados a cabo para el diseño de la mezcla.

Primer paso: Selección de la resistencia promedio requerida f'_{cr} para ello se tuvo en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 6

Relación aproximada entre la resistencia promedio y la resistencia de diseño.

CONDICIÓN DE LA EJECUCIÓN EN OBRA	RELACIÓN APROXIMADA f'_{cr}/f_c
Excelentes	1.15
Intermedias	1.20 a 1.25
Corrientes	1.35 a 1.60

Fuente: (Lezama Leiva, 2013)

Segundo paso: Elección del tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso.

Tercer paso: Elección del slump de 3” – 4” dado que queremos obtener una mezcla plástica.

Cuarto paso: Se estableció el volumen de agua de mezclado por unidad de volumen de concreto, teniendo en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso, la consistencia deseada y la presencia de aire incorporado o atrapado en la mezcla.

Quinto paso: Se seleccionó el porcentaje de aire atrapado o el contenido total de aire.

Sexto paso: Se eligió la relación agua-cemento necesaria para alcanzar la resistencia deseada.

Séptimo paso: Se calculó el factor cemento por unidad de volumen de concreto, considerando el volumen unitario de agua y la relación agua-cemento seleccionada.

Octavo paso: Se calculó el volumen absoluto de la pasta.

Noveno paso: Se calculó el volumen absoluto de los agregados.

Décimo paso: Se cálculo los vacíos del agregado grueso para incrementar o disminuir en 0.1 al módulo de finura de combinación de agregados por cada 5% de disminución o incremento en el porcentaje de vacíos, teniendo en cuenta que la tabla es para un contenido de vacíos del 35%

Undécimo paso: Se cálculo por interpolación el módulo de finura de la combinación de agregados y se corrigió por el % vacíos.

Duodécimo paso: Se cálculo el porcentaje de los agregados en relación al volumen absoluto.

Decimotercer paso: Se realizó el cálculo de los volúmenes absolutos del agregado fino y grueso.

Decimocuarto paso: Se cálculo los pesos secos de los agregados

Decimoquinto paso: Se realizó un resumen de los valores de diseño.

Decimosexto paso: Se realizó la corrección por humedad de los agregados.

Decimoséptimo paso: Se calcula la humedad superficial de los agregados.

Decimoctavo paso: Se calcula el aporte de humedad de los agregados

Decimonoveno paso: Se calcula el agua efectiva de mezclado.

Vigésimo paso: Se realiza un resumen de los materiales corregidos por humedad.

Con el resumen de pesos realizamos la **dosificación del concreto en peso**, luego convertimos para obtener la **dosificación a volumen**.

Con esta dosificación realizamos dos tandas para elaborar 6 probetas de 6" x 12" las cuales se ensayaron a los 7 días y 28 días.

Tabla 7

Resistencia a compresión de los especímenes de prueba

EDAD	f ^c promedio (kg/cm ²)
7	312.61
28	451.83

Dado que obtenemos una resistencia mayor a la resistencia en compresión especificada f^c, realizamos la corrección para lo cual aplicamos la Ley de Powers.

Aplicando la Ley de Powers obtenemos la nueva relación a/c, con esta relación repetimos el procedimiento del diseño del concreto hasta obtener la dosificación en peso y volumen.

3.4.5. Diseño de mezclas del concreto sustituyendo el 15%, 20% y 25% del volumen de agregado grueso por piedra pómez.

Primer paso: A partir de los volúmenes absolutos convertimos estos a peso para una m³ teniendo en cuenta el porcentaje de reemplazo del volumen del agregado grueso por piedra pómez.

Sexto paso: Se calculó el aporte total de humedad de los agregados para un metro cúbico y así poder obtener el agua efectiva.

Séptimo paso: Se realizó la corrección de materiales por humedad.

Con el resumen de pesos realizamos la **dosificación del concreto en peso**, luego convertimos para obtener la **dosificación a volumen**.

3.4.6. Elaboración de especímenes

Se elabora probetas patrón y probetas sustituyendo el volumen del agregado grueso por piedra pómez en 15%, 20% y 25%. Para ello se siguió el siguiente procedimiento:

Primer paso: Una vez de realizado el diseño patrón y los diseños con sustitución de agregado grueso por piedra pómez se realizó 60 probetas.

Segundo paso: Se peso los materiales de acuerdo a los diseños de la mezcla para una tanda.

Tercer paso: Para el mezclado de los materiales se usó un trompo en el cual se preparó el concreto para las probetas patrón además del concreto sustituyendo el 15%, 20% y 25% de agregado grueso por piedra pómez.

Cuarto paso: Cuando la mezcla se encontraba uniforme se realizó los ensayos de concreto en estado fresco (Slump) haciendo uso del cono de Abrams el cual nos sirve para medir el asentamiento.

Quinto paso: Realizado el ensayo se regresó la mezcla al trompo, con la mezcla uniforme se procede al llenado de concreto en los moldes a un tercio del total y se apisona con 25 golpes así repetimos este procedimiento en las dos capas superiores.

Realizamos este procedimiento hasta tener las 60 probetas.

3.4.7. Peso unitario de las probetas

3.4.7.1. Peso unitario del concreto en estado fresco

Se llevó a cabo conforme a los procedimientos establecidos en la norma NTP 339.046, en concordancia con la norma ASTM C 138. Después de preparar las mezclas de concreto, se determinaron los pesos unitarios para cada tipo de diseño, considerando tanto el volumen como el peso de los moldes metálicos utilizados en el proceso. Este ensayo resulta fundamental para la evaluación de las propiedades del concreto en estado fresco. Para ello hicimos uso de la siguiente fórmula:

$$P_U = (W_{m+r} - W_r) \times F$$

Donde:

P_U = Peso unitario del concreto en estado fresco (kg/m³)

W_{m+r} = Peso de la muestra compactada más recipiente (kg)

W_r = Peso del recipiente (kg)

$F =$ Factor del recipiente de medida ($1/m^3$)

3.4.7.2. Peso unitario del concreto en estado endurecido

Para realizar este ensayo se tomó la medida del diámetro superior e inferior y la altura de la probeta con los que determinamos el volumen, luego se pesó y registro los valores que se utilizaron en la siguiente fórmula:

$$PU \text{ } ^\circ C \text{ Endurecido} = \frac{W}{V} * 1000$$

Donde:

$PU \text{ } ^\circ C \text{ Endurecido} =$ Peso unitario del concreto endurecido (kg/m^3)

$W =$ Peso del espécimen de concreto (g)

$V =$ Volumen del espécimen de concreto (cm^3)

3.4.8. Resistencia a la compresión del concreto

Se ejecutó siguiendo las pautas establecidas en la norma NTP 339.034, en total concordancia con la normativa ASTM C 39. La adhesión a estos estándares garantiza la realización estandarizada del ensayo de resistencia a la compresión, asegurando la confiabilidad de los resultados obtenidos. Este ensayo resulta fundamental para la evaluación de la calidad y resistencia del concreto endurecido.

Para obtener la resistencia a compresión se usó la siguiente fórmula:

$$f'_c = \frac{P}{A} * 1000$$

Donde:

$f'_c =$ resistencia en compresión del concreto (kg/m^3)

$P =$ Carga máxima (Tn)

$A =$ Área de la cara de la probeta cilíndrica (cm^2)

3.5. Presentación de resultados

3.5.1. Resultados de las propiedades físicas del agregado grueso

Tabla 8

Propiedades físicas del agregado grueso

Propiedades	Valor	Unidad
Tamaño máximo nominal	3/4"	-
Peso unitario suelto	1475	kg/m ³
Peso unitario compactado	1577	kg/m ³
Peso específico de masa	2.600	g/cm ³
Peso específico saturado superficialmente seco	2.630	g/cm ³
Peso específico aparente	2.680	g/cm ³
Absorción	1.100	%
Contenido de humedad	0.435	%
Módulo de finura	6.770	-
Material más fino que pasa el Tamiz N° 200	0.400	-
Abrasión	28.00	%

3.5.2. Resultados de las propiedades físicas del agregado fino

Tabla 9

Propiedades físicas del agregado fino

Propiedades	Valor	Unidad
Peso unitario suelto	1699	kg/m ³
Peso unitario compactado	1827	kg/m ³
Peso específico de masa	2.600	g/cm ³
Peso específico saturado superficialmente seco	2.630	g/cm ³
Peso específico aparente	2.690	g/cm ³
Absorción	1.300	%
Contenido de humedad	2.277	%
Módulo de finura	3.070	-
Material más fino que pasa el Tamiz N° 200	2.800	-

3.5.3. Resultados de las propiedades físicas de la piedra pómez.

Tabla 10

Propiedades físicas de la piedra pómez

Propiedades	Valor	Unidad
Tamaño máximo nominal	3/4"	-
Peso unitario suelto	396	kg/m ³
Peso unitario compactado	501	kg/m ³
Peso específico de masa	0.83	g/cm ³
Peso específico saturado superficialmente seco	1.16	g/cm ³
Peso específico aparente	1.24	g/cm ³
Absorción	40.50	%
Contenido de humedad	0.35	%
Módulo de finura	6.85	-
Material más fino que pasa el Tamiz N° 200	0.500	-

3.5.4. Resultados del diseño de mezcla del concreto

3.5.4.1. Resultados del diseño de mezcla del concreto de prueba.

Tabla 11

Peso de los materiales corregidos por humedad del concreto de prueba

Material	Cantidad	Unidad
Cemento portland Tipo I	410.33	kg
Agua efectiva	204.12	lt.
Agregado fino húmedo	747.64	kg
Agregado grueso húmedo	945.09	kg

Tabla 12

Proporción en peso del concreto de prueba

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Agua efectiva
1 kg/kg	1.82 kg/kg	2.30 kg/kg	21.14 lt/bls

Tabla 13

Proporción en volumen del concreto de prueba

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Agua efectiva
1 pie ³	1.57 pie ³	2.33 pie ³	21.14 lt/bls

3.5.4.2.Resultados del diseño de mezcla del concreto patrón.

Tabla 14

Peso de los materiales corregidos por humedad del concreto patrón

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	330.56	kg
Agua efectiva	202.97	lt
Agregado fino húmedo	846.85	kg
Agregado grueso húmedo	914.96	kg

Tabla 15

Proporción en peso del concreto patrón

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Agua efectiva
1 kg/kg	2.56 kg/kg	2.77 kg/kg	26.10 lt/bls

Tabla 16

Proporción en volumen del concreto patrón

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Agua efectiva
1 pie ³	2.21 pie ³	2.80 pie ³	26.10 lt/bls

3.5.4.3.Resultados de la dosificación de mezcla del concreto sustituyendo 15% del volumen del agregado grueso por piedra pómez.

Tabla 17

Peso de los materiales corregidos por humedad del concreto sustituyendo 15% del volumen del agregado grueso por piedra pómez

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	330.56	kg
Agua efectiva	219.57	lt
Agregado fino húmedo	846.85	kg
Agregado grueso húmedo	777.37	kg
Piedra pómez	43.76	kg

Tabla 18

Proporción en peso del concreto sustituyendo 15% del volumen del agregado grueso por piedra pómez

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Piedra Pómez	Agua efectiva
1 kg/kg	2.56 kg/kg	2.35 kg/kg	0.13 kg/kg	28.23 lt/bls

Tabla 19

Proporción en volumen del concreto sustituyendo 15% del volumen del agregado grueso por piedra pómez

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Piedra Pómez	Agua efectiva
1 pie ³	2.21 pie ³	2.38 pie ³	0.50 pie ³	28.23 lt/bls

3.5.4.4. Resultados del diseño de mezcla del concreto sustituyendo 20% de agregado grueso por piedra pómez.

Tabla 20

Peso de los materiales corregidos por humedad del concreto sustituyendo 20% del volumen del agregado grueso por piedra pómez

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	330.56	kg
Agua efectiva	225.10	lt
Agregado fino húmedo	846.85	kg
Agregado grueso húmedo	732.17	kg
Piedra pómez	58.34	kg

Tabla 21

Proporción en peso del concreto sustituyendo 20% del volumen del agregado grueso por piedra pómez

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Piedra Pómez	Agua efectiva
1 kg/kg	2.56 kg/kg	2.21 kg/kg	0.18 kg/kg	28.94 lt/bls

Tabla 22

Proporción en volumen del concreto sustituyendo 20% del volumen del agregado grueso por piedra pómez

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Piedra Pómez	Agua efectiva
1 pie ³	2.21 pie ³	2.24 pie ³	0.67 pie ³	28.94 lt/bls

3.5.4.5. Resultados de la dosificación de mezcla del concreto sustituyendo 25% del volumen del agregado grueso por piedra pómez.

Tabla 23

Peso de los materiales corregidos por humedad del concreto sustituyendo 25% del volumen del agregado grueso por piedra pómez

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	330.56	kg
Agua efectiva	230.63	lt
Agregado fino húmedo	846.85	kg
Agregado grueso húmedo	685.97	kg
Piedra pómez	72.93	kg

Tabla 24

Proporción en peso del concreto sustituyendo 25 % del volumen del agregado grueso por piedra pómez

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Piedra pómez	Agua efectiva
1 kg/kg	2.56 kg/kg	2.08 kg/kg	0.22 kg/kg	26.10 lt/bls

Tabla 25

Proporción en volumen del concreto sustituyendo 25 % del volumen del agregado grueso por piedra pómez

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Piedra pómez	Agua efectiva
1 pie ³	2.21 pie ³	2.10 pie ³	0.83 pie ³	29.65 lt/bls

3.5.5. Resultados del peso unitario del concreto en estado fresco

Tabla 26

Resultados del peso unitario del concreto en estado fresco

Diseño	Peso unitario promedio (kg/m³)
Patrón	2379.444
15 % piedra pómez	2286.735
20% piedra pómez	2252.401
25% piedra pómez	2230.087

3.5.6. Resultados del peso unitario del concreto en estado endurecido

Tabla 27

Resultados del peso unitario del concreto en estado endurecido

Diseño	Peso unitario promedio (kg/m³)
Patrón	2397.006
15 % piedra pómez	2322.359
20% piedra pómez	2293.199
25% piedra pómez	2254.451

3.5.7. Resultados de ensayos de resistencia a compresión

Tabla 28

Resultados de resistencia a compresión del concreto

Diseño	Resistencia/ porcentaje	Edad (días)		
		7	14	28
Patrón	Resistencia promedio	258.62	287.75	317.31
	Porcentaje (%)	92.36%	102.77%	113.33%
15% piedra pómez	Resistencia promedio	246.33	271.10	308.70
	Porcentaje (%)	87.97%	96.82%	110.25%
20% piedra pómez	Resistencia promedio	236.35	260.02	298.16
	Porcentaje (%)	84.41%	92.86%	105.98%
25% piedra pómez	Resistencia promedio	225.88	249.95	281.53
	Porcentaje (%)	80.67%	89.27%	100.55%

Figura 3

Resistencia a compresión vs tiempo

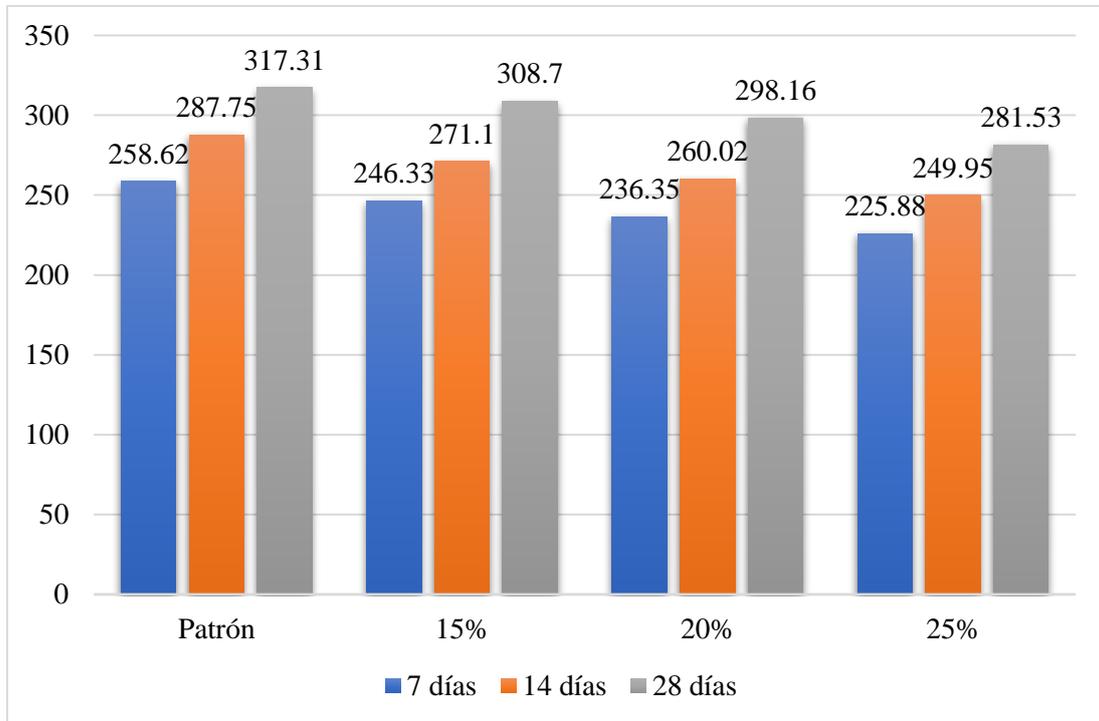


Figura 4

Curva de resistencia a la compresión

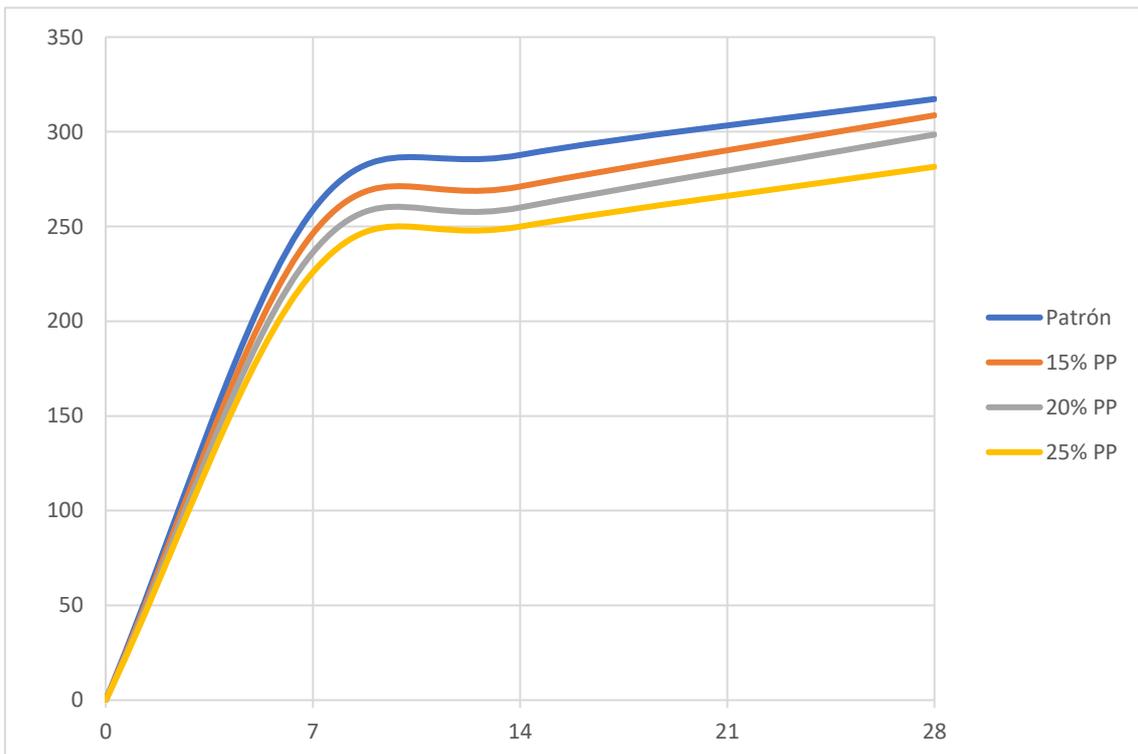
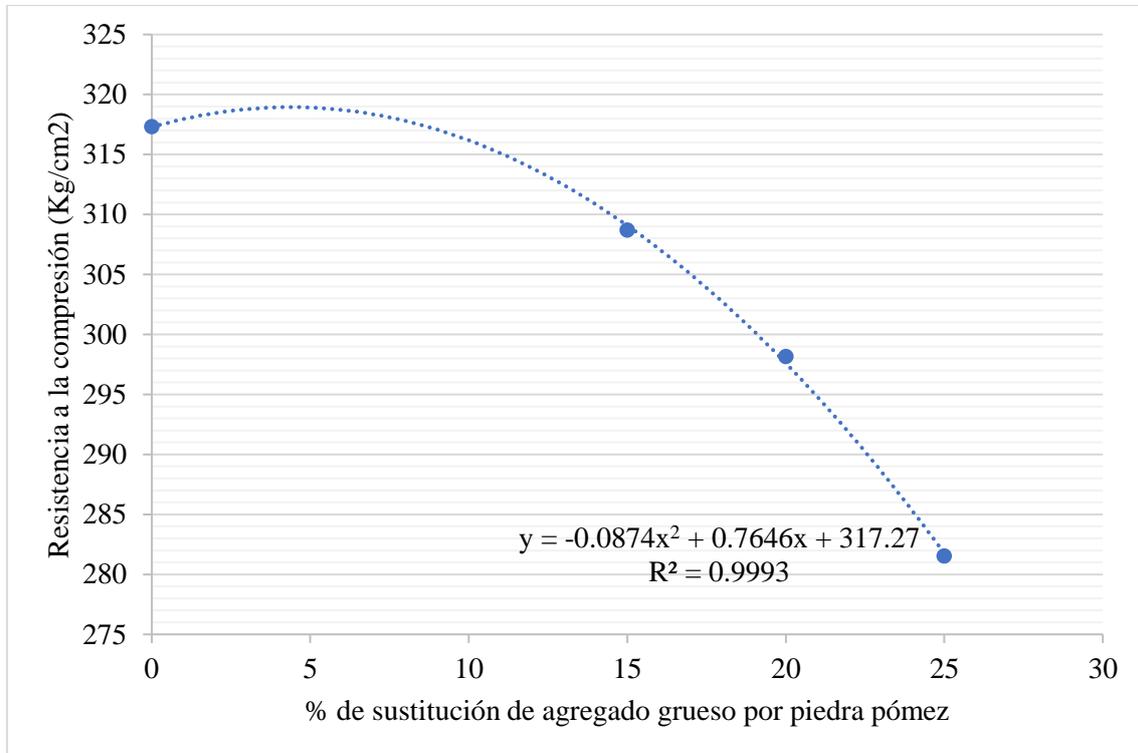


Figura 5

Relación de resistencia a la compresión a los 28 días respecto a la sustitución del agregado grueso por piedra pómez.



CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- En base a los resultados obtenido en la Tabla 8 el tamaño máximo nominal del agregado grueso de $\frac{3}{4}$ " está dentro del límite inferior y superior del huso granulométrico N° 67.
- En base a los resultados obtenidos en la Tabla 9 el módulo de finura del agregado fino es 3.07 y está dentro del rango recomendable de 2.30 a 3.10, Por lo tanto, se consideró que los agregados eran óptimos para diseño de mezcla.
- El porcentaje en promedio de partículas que atraviesan el tamiz N° 200 del agregado fino es del 2.80 %, por lo que cumple lo estipulado, siendo el máximo de 5 %.
- El porcentaje promedio de partículas menores que pasa el tamiz N°200 del agregado grueso es de 0.40 %, por lo que cumple lo estipulado, siendo el máximo de 1 %.
- La Tabla 8, muestra que el porcentaje de Abrasión del agregado grueso que es de 28%, y según los requerimientos de la Norma NTP 400.019 / ASTM C 131 / NTP 400.037, el porcentaje de pérdida permitido es menor a 50 %. Por lo tanto, cumple con lo estipulado.
- La piedra pómez tiene un peso específico de masa de 830 kg/m^3 , según la especificación estándar ASTM C 330 / C330-14 para agregados livianos para concreto estructural, nos indica que el peso específico de masa debe ser máximo de 880 kg/m^3 , por lo que cumple con los requerimientos establecidos en la normativa.
- En la Tabla 26, se señala el mínimo promedio de peso unitario de 2230.087 kg/m^3 con un reemplazo del volumen del agregado grueso por piedra pómez del 25%, sin embargo, según los tipos de concreto, para un concreto liviano su peso unitario varía entre 400 kg/m^3 y 1700 kg/m^3 , por lo que este concreto no es considerado un concreto liviano.

- De acuerdo a la Tabla 27, el peso unitario del concreto en estado endurecido de la muestra patrón es de 2397.006 kg/cm³ y para una sustitución de agregado grueso por 15%, 20% y 25% de piedra pómez es de 2322.359 kg/m³, 2293.199 kg/m³ y 2255.451 kg/m³ respectivamente. Por lo tanto, a mayor porcentaje de reemplazo del agregado grueso por piedra pómez, el peso unitario del concreto disminuye.
- Se ha obtenido un mínimo promedio de peso unitario de 2255.451 kg/m³ con el reemplazo máximo de agregado grueso por 25 % de piedra pómez, sin embargo, es mayor a 1700 kg/m³, así que no se considera un concreto liviano.
- El peso unitario del concreto en estado fresco fue menor al peso unitario de concreto en estado endurecido a los 28 días de edad, tanto para el diseño patrón como para los diseños con reemplazo de agregado grueso por piedra pómez.
- La resistencia obtenida a los 7 días; es de 258.62 kg/cm², a los 14 días; de 287.75 kg/cm² y para los 28 días la resistencia se obtuvo 317.31 kg/cm². Sus porcentajes de resistencia promedio fueron de 91.62 %, 102.77 % y 114.62 %, respecto a la resistencia de diseño referida, respectivamente.
- La resistencia a la compresión obtenida para un reemplazo de agregado grueso por 15%, 20% y 25% de piedra pómez; es de 308.70 kg/cm², 298.16 kg/cm² y 281.53 kg/cm². Además, sus porcentajes de resistencia promedio fueron de 110.25%, 105.98 % y 100.55%, respecto a la resistencia de diseño referida.
- La resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, disminuye a medida que se aumenta el porcentaje de sustitución por piedra pómez (15 %, 20 % y 25 %).
- La ecuación representativa para la resistencia a la compresión del concreto obtenida, donde la variable “y” es la resistencia a la compresión del concreto obtenida y la variable “x” es el porcentaje de sustitución de agregado grueso por piedra pómez es: $y = -0.0874x^2 + 0.7646x + 317.27$ y su coeficiente de determinación es $R^2 = 0.9993$.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- En la presente investigación se concluye que, al reemplazar el agregado grueso por piedra pómez en 15%, 20% y 25%, varió en menos del 10% respecto al concreto patrón. En cambio, la resistencia a la compresión si varía en más de 10% para el porcentaje de sustitución del 25% en comparación con el concreto patrón.
- El peso unitario del concreto fresco con sustitución de agregado grueso por piedra pómez; disminuyó en 3.90%, 5.34% y 6.28% para los reemplazos de 15%, 20% y 25% respecto al concreto patrón. El peso unitario del concreto patrón es 2379.444 kg/m³ y para concreto con sustitución de agregado grueso por piedra pómez es 2286.735 kg/m³, 2252.401 kg/m³ y 2230.087 kg/m³, respectivamente.
- El peso unitario del concreto en estado endurecido al sustituir el agregado grueso por 15%, 20% y 25% de piedra pómez varió; disminuyendo el peso en 1.84%, 2.44% y 3.01% respecto al concreto patrón. Su valor en promedio es de 2354.689 kg/m³ para el concreto patrón y de 2311.316 kg/m³, 2297.274 kg/m³ y 2283.854 kg/m³, respectivamente.
- La resistencia a compresión promedio a la edad de 28 días del concreto $f'_c=280$ kg/cm² con reemplazo de agregado grueso por 15%, 20% y 25% de piedra pómez, presentó una disminución de 2.71 %, 6.03 % y 11.28 % respecto a la resistencia obtenida por el concreto patrón. La resistencia promedio del concreto patrón es 317.31 kg/cm², 308.70 kg/cm², 298.16 kg/cm² y 281.53 kg/cm², para cada porcentaje de reemplazo.

RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones con dosificación de la mezcla de concreto con piedra pómez con porcentajes mayores a 25% y así determinar si la variación del peso volumétrico y su resistencia a la compresión es adecuada para llegar a considerarse un concreto liviano.
- Realizar investigaciones para evaluar el aislamiento térmico y acústico del concreto con piedra pómez.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, T. F. (2017). *Tecnología del Concreto* (Tercera ed.). Lima, Lima, Perú: San Marcos.
- ACI 318-19, A. C. (2019). *ACI 318-19: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. Obtenido de <https://www.udocz.com/apuntes/53414/aci-318-19-espanol>
- Akçaözöğlü, S., & Güreer, C. (2021). Investigation of the effects of the different proportions of pumice aggregate on the strength and drying shrinkage of concrete. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102252>
- Alayo, A. E., & Polo, M. M. (2019). *Influencia del porcentaje de piedra pómez sobre la resistencia a la compresión y peso unitario en un concreto estructural para pórticos*. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23377>
- Álvarez, J. (2017). *Evaluación del comportamiento mecánico del concreto utilizando piedra pómez como agregado grueso Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.*
- ASTM D422-63. (2018). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. American Society for Testing and Materials.
- ASTMC31/C31M. (2008). *Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra.*
- Bahador, M., Ahmadi, B., & Babaei, M. (2020). Effect of pumice stone as coarse aggregate on the density and compressive strength of concrete. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101148>
- Chalco Benavente, R. D. (2022). *Estudio de las propiedades físicas y mecánicas del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de piedra pómez volcánica distrito de Coya, Cusco – 2021.* Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91385>
- Colombo, D. J., & Mendoza, P. G. (2021). *PIEDRA PÓMEZ COMO AGREGADO GRUESO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL.* Obtenido de

https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/4783/T030_70980990_T%20%20%20MENDOZA%20PEREZ%20GERALDINE.pdf?sequence=1

Costa Martínez, J. (2016). *Propiedades y usos de la pumita*. Obtenido de BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA: <https://biojcosta.blogia.com/2016/060507-propiedades-y-usos-de-la-pumita.php>

Etxeberria, M., & Vintimilla, C. (2023). *Limiting the maximum fine and coarse recycled aggregates-Type A used in structural concrete*. Obtenido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0950061823009868?token=E88ED3775A5ADCE76DE45E8E17E8FA496E812CD95502D5744A6AF74EBC865CC5835761EA2DB6D662C9564AED733302C3&originRegion=us-east-1&originCreation=20230430040555>

García, A. (2021). *Propiedades y densidad de la piedra pómez en la ingeniería*. Obtenido de Revista de Ingeniería Civil: <https://www.revistadeingenieriacivil.com/propiedades-densidad-piedra-pomez-ingenieria/>

INEI. (2023). *Informe Técnico. (2023). Avance Coyuntural de la Actividad Económica Peru*. Obtenido de <https://minutodigitalperu.com/inei-enero-de-2023-en-1512-disminuyo-el-consumo-interno-de-cemento/#:~:text=En%20enero%20del%20presente%20a%C3%B1o,informe%20t%C3%A9cnico%20Avance%20Coyuntural%20de>

Karthika, R., Vidyapriya, V., Sri, K. N., Beaula, K. M., Harini, R., & Sriram, M. (2021). *Experimental study on lightweight concrete using pumice aggregate*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320375143>

Maldonado, Y. (24 de octubre de 2021). *GEOLOGIAWEB*. Obtenido de GEOLOGIAWEB: https://geologiaweb.com/materiales/cemento-portland/#Composicion_y_propiedades_quimicas

Matamoras, P. C. (2019). *“INFLUENCIA DE PIEDRA PÓMEZ EN LA ELABORACIÓN DE UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL DE F’C = 175 KG/CM2 UTILIZANDO MATERIAL DE REGIÓN DE HUANCVELICA”*. Obtenido de http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/4848/T030_75390596_T%2

0%20%20HIDALGO%20SANCHEZ%20ANDREW.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- MTC. (2015). *Especificaciones técnicas generales para construcción*. Lima.
- Muhtar. (2023). *Performance-based experimental study into quality zones of lightweight concrete using pumice aggregates*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509523001390>
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete Technology*. Pearson Education.
- NTP400.011. (2013). *Norma Técnica Peruana NTP 400.011 - AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos)*. Lima, Perú: 2da Edición.
- Ortega García, J. (2014). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado* (1edición ed., Vol. 1). Lima, Perú: Macro.
- Rivva, E. (2019). *Diseño de Mezclas* (Cuarta ed.). Lima, Lima, Perú: Williams E.I.R.L.
- Rojas, J., Pérez, G., & Rodríguez, M. (2020). *Resistencia a la compresión del concreto producido con piedra pómez como sustituto del agregado grueso*.
- S Sagar, M. D. (2021). *Partial Replacement of Pumice Stone in Concrete As Coarse Aggregate Material*. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2089/1/012061/meta>

APÉNDICE

APÉNDICE N° 01: RESULTADOS DE ENSAYOS PARA LA PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

Tabla 29

Peso específico del agregado grueso

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de muestra SSS + canastilla sumergida	g	2642.00	2640.00	2643.00	
Peso de canastilla sumergida	g	784.00	784.00	784.00	
Peso de la muestra superficialmente seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	2965.00	2966.00	2967.00	
Peso de la muestra sumergida en el agua	g	1858.00	1856.00	1859.00	
Peso específico de masa	g/cm³	2.596	2.593	2.600	2.600
Peso específico de masa saturado superficialmente seco	g/cm³	2.627	2.622	2.629	2.630
Peso específico aparente	g/cm³	2.678	2.672	2.678	2.680

Tabla 30

Absorción del agregado grueso

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de la muestra superficialmente seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	2965.00	2966.00	2967.00	
Absorción (%)	%	1.180	1.146	1.112	1.100

Tabla 31

Peso específico del agregado fino

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de fiola	g	168.00	168.00	168.00	
Peso de la fiola + agua hasta menisco	g	666.00	666.00	666.00	
peso de la fiola + agua + muestra	g	977.45	978.30	978.00	
Peso de la muestra superficialmente seca	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	493.53	493.43	493.29	
Volumen de agua añadida al frasco (g)	g	309.45	310.30	310.00	
Peso específico de masa	g/m³	2.590	2.601	2.596	2.600
Peso específico de masa saturado superficialmente seco	g/m³	2.624	2.636	2.632	2.630
Peso específico aparente	g/m³	2.681	2.694	2.691	2.690

Tabla 32

Absorción del agregado fino

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de la muestra superficialmente seca	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	493.53	493.43	493.29	
Absorción (%)	%	1.311	1.331	1.360	1.300

Tabla 33

Peso específico de la piedra pómez

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de muestra SSS + canastilla sumergida	g	944.00	946.00	945.00	
Peso de canastilla sumergida	g	786.00	786.00	786.00	
Peso de la muestra superficialmente Seca	g	1148.00	1151.00	1150.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	817.00	819.00	818.00	
Peso de la muestra sumergida en el agua	g	158.00	160.00	159.00	
Peso específico de masa	g/cm³	0.825	0.826	0.825	0.830
Peso específico de masa saturado superficialmente seco	g/cm³	1.160	1.161	1.160	1.160
Peso específico aparente	g/cm³	1.240	1.243	1.241	1.240

Tabla 34

Absorción de la piedra pómez

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de la muestra superficialmente seca	g	1148.00	1151.00	1150.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	817.00	819.00	818.00	
Absorción (%)	%	40.514	40.537	40.587	40.500

Tabla 35

Módulo de finura del agregado grueso

Tamiz		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	399.00	5.70	5.70	94.30
1/2"	12.70	3050.00	43.57	49.27	50.73
3/8"	9.53	1935.00	27.64	76.91	23.09
N° 4	4.75	1546.00	22.09	99.00	1.00
Cazoleta	--	70	1.00	100.00	0.00
TOTAL		7000.00			

Módulo de finura = 6.766

Figura 6

Curva de distribución granulométrica del agregado grueso

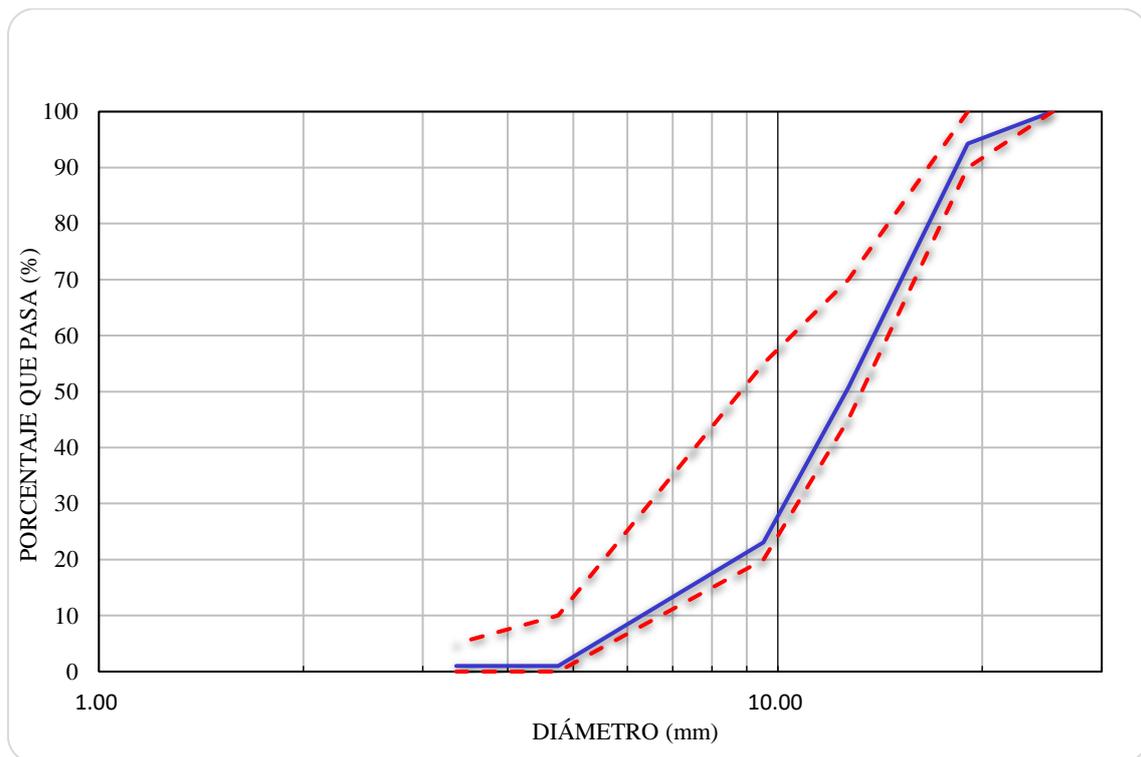


Tabla 36

Módulo de finura del agregado fino

Tamiz	Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
Nº	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00
Nº4	4.75	46.28	4.21	4.21
Nº8	3.36	155.20	14.11	18.32
N 16	1.18	243.83	22.17	40.48
N 30	0.60	260.50	23.68	64.16
N 50	0.30	227.65	20.70	84.86
N 100	0.15	105.93	9.63	94.49
N 200	0.075	45.41	4.13	98.62
Cazoleta	--	15.2	1.38	100.00
TOTAL		1100.0		

Módulo de finura = 3.07

Figura 7

Curva de distribución granulométrica del agregado fino

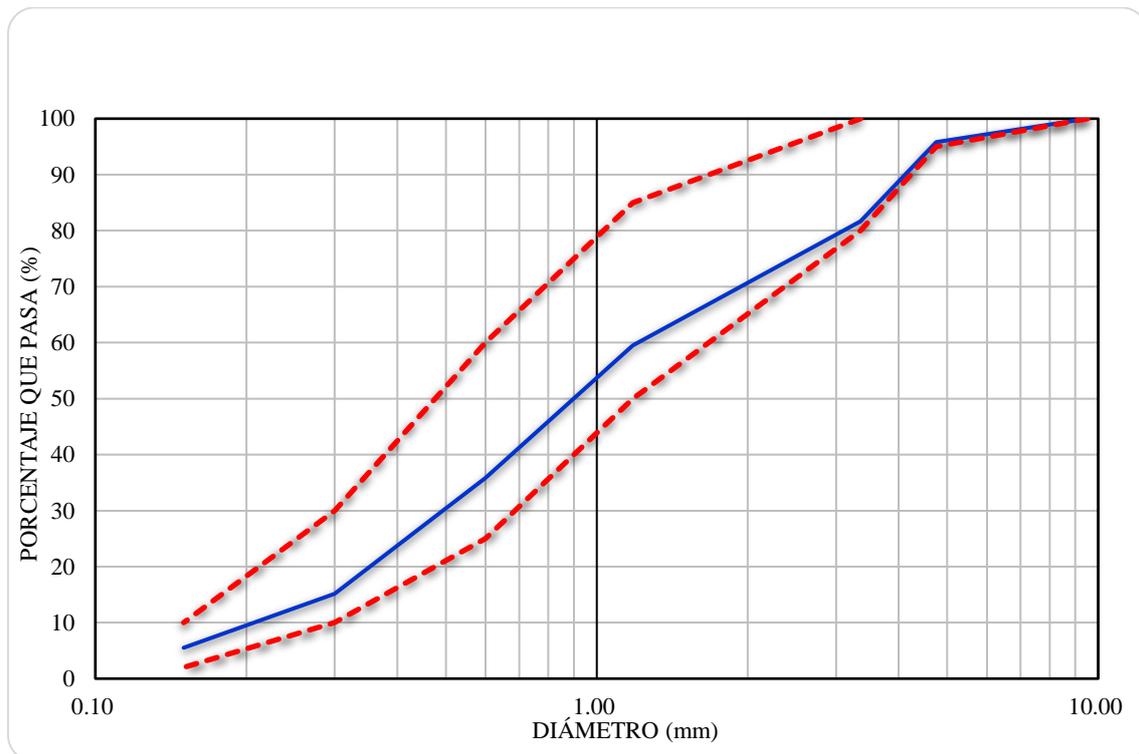


Tabla 37

Módulo de finura de la piedra pómez

Tamiz		Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
Nº	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Que Pasa
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	742.00	9.28	9.28	90.73
1/2"	12.70	2641.00	33.01	42.29	57.71
3/8"	9.53	2674.00	33.43	75.71	24.29
Nº4	4.75	1943.00	24.29	100.00	0.00
TOTAL		8000.00			

Módulo de finura = 6.85

Figura 8

Curva de distribución granulométrica de la piedra pómez

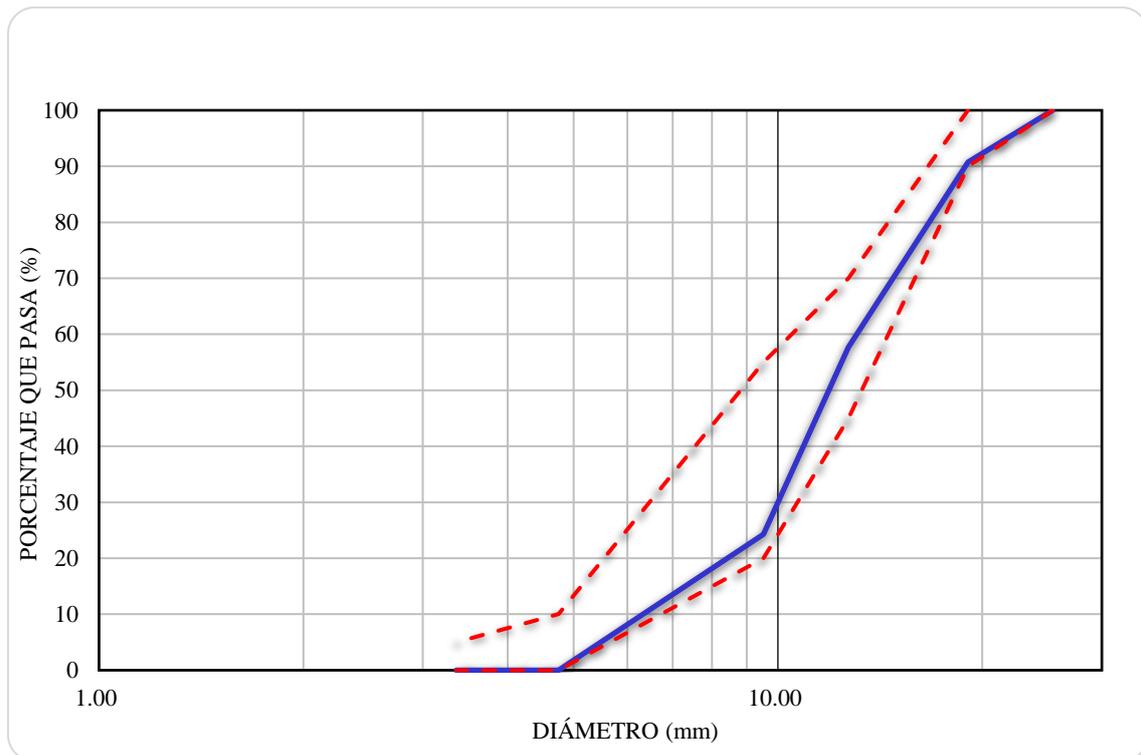


Tabla 38

Peso específico del agua

Descripción	Peso	unidades
Peso de la fiola	168.00	g
Peso de la fiola +agua	666.00	g
Volumen de la fiola	500.00	cm ³
Peso especifico	0.996	g/cm ³
P.e en (Kg/m ³)	996	kg/cm ³

Tabla 39

Factor f del molde para el agregado grueso

Descripción	Peso	Unidad
Peso del Molde	4197.00	g
Peso del Molde +Agua	14002.00	g
Peso Agua (Kg)	9.81	kg
f (1/m ³)	101.58	1/m ³

Tabla 40

Peso unitario suelto del agregado grueso

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	4197.00	4197.00	4197.00	
Peso de muestra suelta + recipiente	g	18763.00	18705.00	18691.00	
Peso de la muestra suelta	g	14566.00	14508.00	101.581	
Factor (f)	1/m ³	101.581	101.581	101.581	
Peso unitario suelto	g/cm ³	1.480	1.474	1.472	1.475
Peso unitario suelto	kg/m³	1480	1474	1472	1475

Tabla 41

Peso unitario compactado del agregado grueso

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	4197.00	4197.00	4197.00	
Peso de muestra compactada + recipiente	g	19654.00	19756.00	19747.00	
Peso de la muestra suelta	g	15457.00	15559.00	15550.00	
Factor (f)	1/m ³	101.581	101.581	101.581	
Peso unitario compactado	g/cm ³	1.570	1.580	1.580	1.577
Peso unitario compactado	kg/m³	1570	1580	1580	1577

Tabla 42

Peso específico del agua

Descripción	Peso	Unidad
Peso de la fiola	168.00	g
Peso de la fiola +agua	666.00	g
Volumen de la fiola	500.00	cm ³
Peso específico	0.996	g/cm ³
P.e en (Kg/m ³)	996	kg/cm ³

Tabla 43

Facto f del molde para el agregado fino

Descripción	Peso	Unidad
Peso del Molde	3874.00	g
Peso del Molde + Agua	6882.00	g
Peso Agua	3.008	kg
f (1/m ³) =	331.117	1/m ³

Tabla 44

Peso unitario suelto del agregado fino

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	3874.00	3874.00	3874.00	
Peso de muestra suelta + recipiente	g	8994.00	8988.00	9031.00	
Peso de la muestra suelta	g	5120.00	5114.00	5157.00	
Factor (f)		331.117	331.117	331.117	
Peso unitario suelto	g/cm ³	1.695	1.693	1.708	1.699
Peso unitario suelto	kg/m³	1695	1693	1708	1699

Tabla 45

Peso unitario compactado del agregado fino

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	3874.00	3874.00	3874.00	
Peso de muestra compactada + recipiente	g	9384.00	9392.00	9401.00	
Peso de la muestra suelta	g	5510.00	5518.00	5527.00	
Factor (f)	1/m ³	331.117	331.117	331.117	
Peso unitario compactado	g/cm ³	1.824	1.827	1.830	1.827
Peso unitario compactado	kg/m³	1824	1827	1830	1827

Tabla 46

Peso específico del agua

Descripción	Peso	unidades
Peso de la fiola	168.00	g
Peso de la fiola +agua	666.00	g
Volumen de la fiola	500.00	cm ³
Peso especifico	0.996	g/cm ³
P.e en (Kg/m ³)	996	kg/cm ³

Tabla 47

Factor f del molde

Descripción	Peso	Unidad
Peso del Molde	4197.00	g
Peso del Molde +Agua	14002.00	g
Peso Agua (Kg)	9.81	kg
f (1/m ³)	101.58	1/m ³

Tabla 48

Peso unitario suelto de la piedra pómez

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	4197.00	4197.00	4197.00	
Peso de muestra suelta + recipiente	g	8069.00	8089.00	8117.00	
Peso de la muestra suelta	g	3872.00	3892.00	3920.00	
Factor (f)	1/m ³	101.581	101.581	101.581	
Peso unitario suelto	g/cm ³	0.393	0.395	0.398	0.396
Peso unitario suelto	Kg/m³	393	395	398	396

Tabla 49

Peso unitario compactado de la piedra pómez

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	4197.00	4197.00	4197.00	
Peso de muestra Compactada + recipiente	g	9123.00	9097.00	9173.00	
Peso de la muestra suelta	g	4926.00	4900.00	4976.00	
Factor (f)		101.581	101.581	101.581	
Peso Unitario Compactado	g/cm ³	0.500	0.498	0.505	0.501
Peso Unitario Compactado	Kg/m³	500	498	505	501

Tabla 50

Contenido de humedad del agregado grueso

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	85.00	69.00	65.00	
Peso del recipiente + muestra húmeda	g	1963.00	1732.00	1314.00	
Peso del recipiente + muestra seca	g	1954.00	1725.00	1309.00	
Contenido de humedad	W %	0.48	0.42	0.040	0.44

Tabla 51

Contenido de humedad del agregado fino

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	82.00	69.00	69.00	
Peso del recipiente + muestra húmeda	g	1104.00	1110.00	1149.00	
Peso del recipiente + muestra seca	g	1081.00	1088.00	1124.00	
Contenido de humedad	W %	2.30	2.16	2.37	2.28

Tabla 52

Contenido de humedad de la piedra pómez

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	358.00	360.00	357.00	
Peso del recipiente + muestra húmeda	g	1465.00	1566.00	1448.00	
Peso del recipiente + muestra seca	g	1461.00	1562.00	1444.00	
Contenido de humedad	W %	0.36	0.33	0.37	0.35

Tabla 53

Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado grueso

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de Muestra Original	g	2500.00	2500.00	2500.00	
Peso de la muestra Lavada	g	2493.00	2491.00	2489.00	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	7.00	9.00	11.00	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	%	0.280%	0.360%	0.440%	0.40%

Tabla 54

Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de Muestra Original	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra Lavada	g	487.01	486.50	485.10	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	12.99	13.50	14.90	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	%	2.598%	2.700%	2.980%	2.80%

Tabla 55

Material más fino que pasa el tamiz N° 200 de la piedra pómez

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de Muestra Original	g	2500.00	2500.00	2500.00	
Peso de la muestra Lavada	g	2486.00	2487.00	2488.00	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	14.00	13.00	12.00	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	%	0.560%	0.520%	0.480%	0.50%

Tabla 56

Resistencia a la abrasión del agregado grueso

Gradación	Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (rev. /min)	N° de Revoluciones	Tamaño Máx. Nominal	Peso de la Muestra en (g.)
B	Máquina de los Ángeles	11	30 - 33	500.00	3/4"	5000.00
				1°	2°	3°
				5002	5003	5000
				3629	3570	3622
				27.45	28.64	27.56
				Abrasión % Desgaste Promedio		28.00

APÉNDICE N° 02: PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO – PRUEBA A/C (TABLA ACI)

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO - PRUEBA A/C (TABLA ACI)

I) MATERIALES

1. Cemento:

Pacasmayo TIPO I

- Peso específico 3.11 g/cm³

2. Agua:

Agua potable

3. Agregados:

	Agregado fino		Agregado grueso		Piedra pómez	
- Peso específico de masa:	2.600	g/cm ³	2.600	g/cm ³	0.830	g/cm ³
- Peso específico sss:	2.630	g/cm ³	2.630	g/cm ³	1.160	g/cm ³
- Peso específico aparente:	2.690	g/cm ³	2.680	g/cm ³	1.240	g/cm ³
- Peso unitario suelto seco:	1699	kg/m ³	1475	kg/m ³	396	kg/m ³
- Peso unitario compactado seco:	1827	kg/m ³	1577	kg/m ³	501	kg/m ³
- Humedad:	2.277%		0.435%		0.35%	
- Absorción:	1.300%		1.100%		40.50%	
- Abrasión:			28.00%			
- % que pasa malla N° 200	2.800		0.400			
- Granulometría:						

Agregado fino			Agregado grueso			Piedra pómez		
Tamiz	% que pasa	% Ret. Acum.	Tamiz	% que pasa	% Ret. Acum.	Tamiz	% que pasa	% Ret. Acum.
N° 4	95.79%	4.21%	1"	100.00%	0.00%	1"	100.00%	0.00%
N° 8	81.68%	18.32%	3/4"	94.30%	5.70%	3/4"	90.73%	9.28%
N° 16	59.52%	40.48%	1/2"	50.73%	49.27%	1/2"	57.71%	42.29%
N° 30	35.84%	64.16%	3/8"	23.09%	76.91%	3/8"	24.29%	75.71%
N° 50	154.14%	84.86%	N° 4	1.00%	99.00%	N° 4	0.00%	100.00%
N° 100	5.51%	94.49%	N° 8	0.00%	99.00%	N° 8	0.00%	100.00%
	mr	3.07		mg	6.77		mp	6.85

II) DISEÑO

1. Selección de la resistencia en compresión requerida

- Resistencia a la compresión especificada del concreto (f'c) = 280 kg/cm²

- Resistencia a la compresión requerida del concreto (f'cr)=1.2*f'c = 336 kg/cm²

2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

TMN = 3/4"

3. Selección del asentamiento

3" - 4"

4. Selección de volumen unitario de agua

Para un asentamiento de 3" a 4" y un TMN 3/4" 205 l/m³

5. Selección del contenido de aire

Para un tamaño máximo nominal de 3/4" 2.00%

6. Selección de la relación agua - cemento

Por resistencia (a/c) = 0.500

7. Cálculo del contenido de cemento y factor cemento

205/0.4996 = 410.330 kg

Factor cemento = 9.65 bls/m³

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO - PRUEBA A/C (TABLA ACI)

8. Cálculo del volumen absoluto de la pasta			
Cemento	$410.33/(3.11 \times 1000)$	=	0.132 m ³
Agua	205/1000	=	0.205 m ³
Aire	2.00%	=	0.020 m ³
Volumen absoluto de la pasta		=	0.357 m ³
9. Cálculo del volumen absoluto de los agregados			
Volumen absoluto de los agregados	1-0.357	=	0.643 m ³
10. Cálculo de vacíos			
% vacíos	=	$(2600-1577)/2600$	= 39.35%
% vacíos por corregir	=	39.35%-35.00%	= 4.35%
11. Cálculo del módulo de finura de la combinación de agregados			
Para un contenido de cemento de 9.655 bls/m ³ y un tamaño máximo nominal de 3/4"			
	mc	=	5.2355
	factor corrección	=	0.087
	mc corregido	=	5.149
12. Cálculo del porcentaje de los agregados en relación al volumen absoluto			
	$rr=(6.766-5.149)/(6.766-3.0652)$	=	0.44
	% agregado fino	=	43.69%
	% agregado grueso	=	56.31%
13. Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados			
Volumen absoluto del agregado fino		=	0.281 m ³
Volumen absoluto del agregado grueso		=	0.362 m ³
14. Cálculo de los pesos secos de los agregados			
Peso seco del agregado fino		=	731.00 kg/m ³
Peso seco del agregado grueso		=	941.00 kg/m ³
15. Valores de diseño			
Cemento		=	410.330 kg/m ³
Agua de diseño		=	205 lt/m ³
Agregado fino seco		=	731.00 kg/m ³
Agregado grueso seco		=	941.00 kg/m ³
15. Corrección por humedad de los agregados			
Peso húmedo del agregado fino		=	747.645 kg/m ³
Peso húmedo del agregado grueso		=	945.093 kg/m ³
16. Cálculo de la humedad superficial de los agregados			
Agregado fino		=	0.98%
Agregado grueso		=	-0.67%
17. Aporte de humedad de los agregados			
Agregado fino		=	7.14187 lt
Agregado grueso		=	-6.25765 lt
	Aporte total	=	0.884 lt
18. Agua efectiva de mezclado			
	Agua efectiva	=	204.116 lt
19. Materiales corregidos por humedad			
Cemento		=	410.330 kg
Agua efectiva		=	204.116 lt
Agregado fino húmedo		=	747.645 kg
Agregado grueso húmedo		=	945.093 kg
Aire total		=	2.00%

II) DOSIFICACIÓN EN PESO

1:	1.82	2.30	21.14	lt/bls
----	------	------	-------	--------

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO - PRUEBA A/C (TABLA ACI)

III) CONVERSIÓN DE DOSIFICACIÓN EN PESO A VOLUMEN

1. Materiales

	Agregado fino	Agregado grueso
- Peso unitario suelto seco:	1699 kg/m ³	1475 kg/m ³
- Humedad:	2.277%	0.435%

2. Cálculo de la cantidad de materiales por tanda

Cemento	=	1.77 kg/bls
Agua efectiva	=	21.14 kg/bls
Agregado fino húmedo	=	77.437 kg/bls
Agregado grueso húmedo	=	97.888 kg/bls

3. Cálculo de los pesos unitarios húmedos de los agregados

Peso unitario húmedo del agregado fino	=	1737.69 kg/m ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	1481.42 kg/m ³

4. Convertimos el peso unitario de los materiales a kg/pie³

Peso unitario húmedo del agregado fino	=	49.205 kg/pie ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	41.949 kg/pie ³
Bolsa de cemento	=	1.77 kg/pie ³

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN

1:	1.57:	2.33	21.14	lt/bls
----	-------	------	-------	--------

IV) PROPORCIÓN POR TANDA 0.020 m³

TANDA	=	0.02 m ³
Cemento	=	8206.6 g
Agua efectiva	=	4082.3 g
Agregado fino húmedo	=	14952.9 g
Agregado grueso húmedo	=	18901.9 g

V) RESULTADOS ENSAYO A COMPRESIÓN

Se realizó dos tandas para elaborar 6 probetas de 6" x 12" las cuales se ensayaron a los 7 días y 28 días.

RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS								
MUESTRA	Ø SUP. (cm)	Ø INF. (cm)	Ø PROM. (cm)	ÁREA (m ²)	ALTURA (cm)	CARGA ÚLTIMA (kg)	f _c	f _c promedio
M1	15.20	15.10	15.15	180.267	30.30	552.19	312.3531	312.61
M2	15.20	15.10	15.15	180.267	30.20	558.38	315.8545	
M3	15.20	15.00	15.10	179.079	30.50	543.77	309.6306	

Como se obtiene una resistencia a la compresión de 312.61 kg/cm² a los 7 días siendo esta mayor a f_c, se realiza el reajuste debido a la hidratación del concreto para ello se ensayó 3 probetas a los 28 días.

RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS								
MUESTRA	Ø SUP. (cm)	Ø INF. (cm)	Ø PROM. (cm)	ÁREA (m ²)	ALTURA (cm)	CARGA ÚLTIMA (kg)	f _c	f _c promedio
M1	15.20	15.30	15.25	182.654	30.30	804.67	449.2216	451.83
M2	15.20	15.10	15.15	180.267	30.30	808.14	457.1344	
M3	15.20	15.20	15.20	181.458	30.50	799.24	449.1305	

Se obtiene un f_c de 451.83 kg/cm² a los 28 días, para realizar el reajuste aplicamos la Ley de Powers.

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO - PRUEBA A/C (TABLA ACI)

V) CORRECCIÓN POR RESISTENCIA

$$R = 2380 X^3$$

$$X = 0.574732$$

$$X = \frac{0.647 \alpha}{0.319\alpha + a/c}$$

$$0.46366 \quad \alpha = 0.287136$$

$$\alpha = 0.619$$

Conociendo el grado de hidratación del concreto y la resistencia a la compresión reajustamos la relación a/c

$$X = 0.489997$$

$$0.490 \quad \frac{0.401}{0.198} + a/c$$

$$0.490 \quad a/c = 0.303876$$

$$a/c = 0.620$$

APÉNDICE N° 03: PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO – PATRÓN

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO - PATRÓN

I) MATERIALES

1. Cemento:

Pacasmayo TIPO I

- Peso específico 3.11 g/cm³

2. Agua:

Agua potable

3. Agregados:

	Agregado fino		Agregado grueso		Piedra pómez	
- Peso específico de masa:	2.600	g/cm ³	2.600	g/cm ³	0.830	g/cm ³
- Peso específico sss:	2.630	g/cm ³	2.630	g/cm ³	1.160	g/cm ³
- Peso específico aparente:	2.690	g/cm ³	2.680	g/cm ³	1.240	g/cm ³
- Peso unitario suelto seco:	1699	kg/m ³	1475	kg/m ³	396	kg/m ³
- Peso unitario compactado seco:	1827	kg/m ³	1577	kg/m ³	501	kg/m ³
- Humedad:	2.277%		0.435%		0.35%	
- Absorción:	1.300%		1.100%		40.50%	
- Abrasión:			28.00%			
- % que pasa malla N° 200	1.380		1.000			
- Granulometría:						

Agregado fino			Agregado grueso			Piedra pómez		
Tamiz	% que pasa	% Ret. Acum.	Tamiz	% que pasa	% Ret. Acum.	Tamiz	% que pasa	% Ret. Acum.
N° 4	95.79%	4.21%	1"	100.00%	0.00%	1"	100.00%	0.00%
N° 8	81.68%	18.32%	3/4"	94.30%	5.70%	3/4"	90.73%	9.28%
N° 16	59.52%	40.48%	1/2"	50.73%	49.27%	1/2"	57.71%	42.29%
N° 30	35.84%	64.16%	3/8"	23.09%	76.91%	3/8"	24.29%	75.71%
N° 50	15.14%	84.86%	N° 4	1.00%	99.00%	N° 4	0.00%	100.00%
N° 100	5.51%	94.49%	N° 8	0.00%	99.00%	N° 8	0.00%	100.00%
	mr	3.07		mg	6.77		mp	6.85

II) DISEÑO

1. Selección de la resistencia en compresión requerida

- Resistencia a la compresión especificada del concreto (f'c) = 280 kg/cm²

- Resistencia a la compresión requerida del concreto (f'cr)=1.2*f'c = 336 kg/cm²

2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

TMN = 3/4"

3. Selección del asentamiento

3" - 4"

4. Selección de volumen unitario de agua

Para un asentamiento de 3" a 4" y un TMN 3/4" 205 l/m³

5. Selección del contenido de aire

Para un tamaño máximo nominal de 3/4" 2.00%

6. Selección de la relación agua - cemento

Ley de Powers (a/c) = 0.620

7. Cálculo del contenido de cemento y factor cemento

205/0.620158059919269 = 330.560 kg

Factor cemento = 7.78 bls/m³

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO - PATRÓN

8. Cálculo del volumen absoluto de la pasta			
Cemento	$330.56/(3.11 \times 1000)$	=	0.106 m ³
Agua	205/1000	=	0.205 m ³
Aire	2.00%	=	0.020 m ³
Volumen absoluto de la pasta		=	0.331 m ³
9. Cálculo del volumen absoluto de los agregados			
Volumen absoluto de los agregados	1-0.331	=	0.669 m ³
10. Cálculo de vacíos			
% vacíos	$(2600-1577)/2600$	=	39.35%
% vacíos por corregir	39.35%-35.00%	=	4.35%
11. Cálculo del módulo de finura de la combinación de agregados			
Para un contenido de cemento de 7.78 bls/m ³			
y un tamaño máximo nominal de 3/4"			
	mc	=	5.095
	factor corrección	=	0.087
	mc corregido	=	5.008
12. Cálculo del porcentaje de los agregados en relación al volumen absoluto			
	$rr=(6.77-5.008)/(5.008-3.07)$	=	0.48
	% agregado fino	=	47.62%
	% agregado grueso	=	52.38%
13. Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados			
Volumen absoluto del agregado fino		=	0.318 m ³
Volumen absoluto del agregado grueso		=	0.350 m ³
			pem
14. Cálculo de los pesos secos de los agregados			
Peso seco del agregado fino		=	828.00 kg/m ³
Peso seco del agregado grueso		=	911.00 kg/m ³
15. Valores de diseño			
Cemento		=	330.560 kg/m ³
Agua de diseño		=	205 lt/m ³
Agregado fino seco		=	828.00 kg/m ³
Agregado grueso seco		=	911.00 kg/m ³
16. Corrección por humedad de los agregados			
Peso húmedo del agregado fino		=	846.854 kg/m ³
Peso húmedo del agregado grueso		=	914.963 kg/m ³
17. Cálculo de la humedad superficial de los agregados			
Agregado fino		=	0.98%
Agregado grueso		=	-0.67%
18. Aporte de humedad de los agregados			
Agregado fino		=	8.08956 lt
Agregado grueso		=	-6.05815 lt
	Aporte total	=	2.031 lt
19. Agua efectiva de mezclado			
	Agua efectiva	=	202.969 lt
20. Materiales corregidos por humedad			
Cemento		=	330.560 kg
Agua efectiva		=	202.969 lt
Agregado fino húmedo		=	846.854 kg
Agregado grueso húmedo		=	914.963 kg
Aire total		=	2.00%

II) DOSIFICACIÓN EN PESO

1	2.56	2.77	26.10	lt/bls
---	------	------	-------	--------

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO - PATRÓN

III) CONVERSIÓN DE DOSIFICACIÓN EN PESO A VOLUMEN

1. Materiales

	Agregado fino	Agregado grueso
- Peso unitario suelto seco:	1699 kg/m ³	1475 kg/m ³
- Humedad:	2.277%	0.435%

2. Cálculo de la cantidad de materiales por tanda

Cemento	=	42.50 kg/bls
Agua efectiva	=	26.10 kg/bls
Agregado fino húmedo	=	108.880 kg/bls
Agregado grueso húmedo	=	117.636 kg/bls

3. Cálculo de los pesos unitarios húmedos de los agregados

Peso unitario húmedo del agregado fino	=	1737.69 kg/m ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	1481.42 kg/m ³

4. Convertimos el peso unitario de los materiales a kg/pie³

Peso unitario húmedo del agregado fino	=	49.205 kg/pie ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	41.949 kg/pie ³
Bolsa de cemento	=	42.50 kg/pie ³

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN

1:	2.21:	2.80	26.10	lt/bls
----	-------	------	-------	--------

IV) PROPORCIÓN POR TANDA 0.020 m³

TANDA		0.02 m ³
Cemento	=	6611.2 g
Agua efectiva	=	4059.4 g
Agregado fino húmedo	=	16937.1 g
Agregado grueso húmedo	=	18299.3 g

APÉNDICE N° 04: PROCEDIMIENTO DE LA DOSIFICACIÓN DE MEZCLA DEL CONCRETO – SUSTITUCIÓN DEL 15% AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA DEL CONCRETO CON 15% PIEDRA PÓMEZ

I) MATERIALES

1. Cemento:

Pacasmayo TIPO I

- Peso específico 3.11 g/cm³

2. Agua:

Agua potable

3. Agregados:

	Agregado fino		Agregado grueso		Piedra pómez	
- Peso específico de masa:	2.600	g/cm ³	2.600	g/cm ³	0.830	g/cm ³
- Peso específico sss:	2.630	g/cm ³	2.630	g/cm ³	1.160	g/cm ³
- Peso específico aparente:	2.690	g/cm ³	2.680	g/cm ³	1.240	g/cm ³
- Peso unitario suelto seco:	1699	kg/m ³	1475	kg/m ³	396	kg/m ³
- Peso unitario compactado seco:	1827	kg/m ³	1577	kg/m ³	501	kg/m ³
- Humedad:	2.277%		0.435%		0.35%	
- Absorción:	1.300%		1.100%		40.50%	
- Abrasión:			28.00%			
- % que pasa malla N° 200	1.380		1.000			
- Granulometría:						

Agregado fino			Agregado grueso			Piedra pómez		
Tamiz	% que pasa	% Ret. Acum.	Tamiz	% que pasa	% Ret. Acum.	Tamiz	% que pasa	% Ret. Acum.
N° 4	95.79%	4.21%	1"	100.00%	0.00%	1"	100.00%	0.00%
N° 8	81.68%	18.32%	3/4"	94.30%	5.70%	3/4"	90.73%	9.28%
N° 16	59.52%	40.48%	1/2"	50.73%	49.27%	1/2"	57.71%	42.29%
N° 30	35.84%	64.16%	3/8"	23.09%	76.91%	3/8"	24.29%	75.71%
N° 50	15.14%	84.86%	N° 4	1.00%	99.00%	N° 4	0.00%	100.00%
N° 100	5.51%	94.49%	N° 8	0.00%	99.00%	N° 8	0.00%	100.00%
	mr	3.07		mg	6.77		mp	6.85

II) VOLÚMENES ABSOLUTOS

Cemento	330.56/(3.11x1000)	=	0.106 m ³
Agua	205/1000	=	0.205 m ³
Aire	2.00%	=	0.020 m ³
Volumen absoluto de la pasta		=	0.331 m³
Agregado fino		=	0.318 m ³
Agregado grueso		=	0.298 m ³
Piedra pómez al 15%		=	0.053 m ³
Volumen absoluto de los agregados		=	0.669 m³

III) PESO SECO DE LOS MATERIALES DE DISEÑO POR m³

Cemento	=	330.56 kg/m ³
Agua de Diseño	=	205.00 l/m ³
Agregado Fino Seco	=	828.00 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	=	774.00 kg/m ³
Piedra pómez al 15%	=	43.61 kg/m ³

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA DEL CONCRETO CON 15% PIEDRA PÓMEZ

IV) MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

Corrección por humedad de los agregados			
Agregado fino		=	8.090 lt
Agregado grueso		=	-5.147 lt
Piedra pómez		=	-17.509 lt
Aporte total		=	-14.567 lt
Cemento		=	330.56 kg/m ³
Agua Efectiva		=	219.57 l/m ³
Agregado Fino Húmedo		=	846.85 kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo		=	777.37 kg/m ³
Piedra pómez al 15%		=	43.76 kg/m ³

V) DOSIFICACIÓN EN PESO

1	2.56	2.35	0.13	28.23	lt/bls
---	------	------	------	-------	--------

III) CONVERSIÓN DE DOSIFICACIÓN EN PESO A VOLUMEN

1. Materiales

	Agregado fino	Agregado grueso	Piedra Pómez
- Peso unitario suelto seco:	1699 kg/m ³	1475 kg/m ³	396 kg/m ³
- Humedad:	2.277%	0.435%	0.35%

2. Cálculo de la cantidad de materiales por tanda

Cemento		=	42.50 kg/bls
Agua efectiva		=	28.23 kg/bls
Agregado fino húmedo		=	108.880 kg/bls
Agregado grueso húmedo		=	99.946 kg/bls
Piedra pómez		=	5.627 kg/bls

3. Cálculo de los pesos unitarios húmedos de los agregados

Peso unitario húmedo del agregado fino		=	1737.69 kg/m ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso		=	1481.42 kg/m ³
Peso unitario húmedo de la piedra pómez		=	397.386 kg/m ³

4. Convertimos el peso unitario de los materiales a kg/pie³

Peso unitario húmedo del agregado fino		=	49.205 kg/pie ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso		=	41.949 kg/pie ³
Peso unitario húmedo de la piedra pómez		=	11.253 kg/pie ³
Bolsa de cemento		=	42.50 kg/pie ³

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN

1:	2.21:	2.38	0.50	28.23	lt/bls
----	-------	------	------	-------	--------

IV) PROPORCIÓN POR TANDA 0.020 m³

TANDA		=	0.02 m ³
Cemento		=	6611.20 g
Agua efectiva		=	4391.34 g
Agregado fino húmedo		=	16937.07 g
Agregado grueso húmedo		=	15547.34 g
Piedra pómez		=	875.25 g

**APÉNDICE N° 05: PROCEDIMIENTO DE LA DOSIFICACIÓN DE MEZCLA
DEL CONCRETO – SUSTITUCIÓN DEL 20% DEL VOLUMEN DEL
AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ**

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA DEL CONCRETO CON 20% PIEDRA PÓMEZ

I) MATERIALES

1. Cemento:

Pacasmayo TIPO I

- Peso específico 3.11 g/cm³

2. Agua:

Agua potable

3. Agregados:

	Agregado fino		Agregado grueso		Piedra pómez	
- Peso específico de masa:	2.600	g/cm ³	2.600	g/cm ³	0.830	g/cm ³
- Peso específico sss:	2.630	g/cm ³	2.630	g/cm ³	1.160	g/cm ³
- Peso específico aparente:	2.690	g/cm ³	2.680	g/cm ³	1.240	g/cm ³
- Peso unitario suelto seco:	1699	kg/m ³	1475	kg/m ³	396	kg/m ³
- Peso unitario compactado seco:	1827	kg/m ³	1577	kg/m ³	501	kg/m ³
- Humedad:	2.277%		0.435%		0.35%	
- Absorción:	1.300%		1.100%		40.50%	
- Abrasión:			28.00%			
- % que pasa malla N° 200	1.380		1.000			
- Granulometría:						

Agregado fino			Agregado grueso			Piedra pómez		
Tamiz	% que pasa	% Ret.	Tamiz	% que pasa	% Ret.	Tamiz	% que pasa	% Ret.
N° 4	95.79%	4.21%	1"	100.00%	0.00%	1"	100.00%	0.00%
N° 8	81.68%	18.32%	3/4"	94.30%	5.70%	3/4"	90.73%	9.28%
N° 16	59.52%	40.48%	1/2"	50.73%	49.27%	1/2"	57.71%	42.29%
N° 30	35.84%	64.16%	3/8"	23.09%	76.91%	3/8"	24.29%	75.71%
N° 50	15.14%	84.86%	N° 4	1.00%	99.00%	N° 4	0.00%	100.00%
N° 100	5.51%	94.49%	N° 8	0.00%	99.00%	N° 8	0.00%	100.00%
	mr	3.07		mg	6.77		mp	6.85

II) VOLÚMENES ABSOLUTOS

Cemento	330.56/(3.11x1000)	=	0.106 m ³
Agua	205/1000	=	0.205 m ³
Aire	2.00%	=	0.020 m ³
Volumen absoluto de la pasta		=	0.331 m³
Agregado fino		=	0.318 m ³
Agregado grueso		=	0.280 m ³
Piedra pómez al 20%		=	0.070 m ³
Volumen absoluto de los agregados		=	0.669 m³

III) PESO SECO DE LOS MATERIALES DE DISEÑO POR m³

Cemento	=	330.56 kg/m ³
Agua de Diseño	=	205.00 l/m ³
Agregado Fino Seco	=	828.00 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	=	729.00 kg/m ³
Piedra pómez al 20%	=	58.14 kg/m ³

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA DEL CONCRETO CON 20% PIEDRA PÓMEZ

IV) MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

Corrección por humedad de los agregados

Agregado fino	=	8.090 lt
Agregado grueso	=	-4.848 lt
Piedra pómez	=	-23.343 lt
Aporte total	=	-20.102 lt

Cemento	=	330.56 kg/m ³
Agua Efectiva	=	225.10 l/m ³
Agregado Fino Húmedo	=	846.85 kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo	=	732.17 kg/m ³
Piedra pómez al 20%	=	58.34 kg/m ³

V) DOSIFICACIÓN EN PESO

1	2.56	2.21	0.18	28.94	lt/bls
---	------	------	------	-------	--------

III) CONVERSIÓN DE DOSIFICACIÓN EN PESO A VOLUMEN

1. Materiales

	Agregado fino	Agregado grueso	Piedra Pómez
- Peso unitario suelto seco:	1699 kg/m ³	1475 kg/m ³	396 kg/m ³
- Humedad:	2.277%	0.435%	0.35%

2. Cálculo de la cantidad de materiales por tanda

Cemento	=	42.50 kg/bls
Agua efectiva	=	28.94 kg/bls
Agregado fino húmedo	=	108.880 kg/bls
Agregado grueso húmedo	=	94.135 kg/bls
Piedra pómez	=	7.501 kg/bls

3. Cálculo de los pesos unitarios húmedos de los agregados

Peso unitario húmedo del agregado fino	=	1737.69 kg/m ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	1481.42 kg/m ³
Peso unitario húmedo de la piedra pómez	=	397.386 kg/m ³

4. Convertimos el peso unitario de los materiales a kg/pie³

Peso unitario húmedo del agregado fino	=	49.205 kg/pie ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	41.949 kg/pie ³
Peso unitario húmedo de la piedra pómez	=	11.253 kg/pie ³
Bolsa de cemento	=	42.50 kg/pie ³

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN

1:	2.21:	2.24	0.67	28.94	lt/bls
----	-------	------	------	-------	--------

IV) PROPORCIÓN POR TANDA 0.020 m³

TANDA	=	0.02 m ³
Cemento	=	6611.20 g
Agua efectiva	=	4502.03 g
Agregado fino húmedo	=	16937.07 g
Agregado grueso húmedo	=	14643.42 g
Piedra pómez	=	1166.87 g

APÉNDICE N° 06: PROCEDIMIENTO DE LA DOSIFICACIÓN DE MEZCLA DEL CONCRETO – SUSTITUCIÓN DEL 25% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA DEL CONCRETO CON 25% PIEDRA PÓMEZ

I) MATERIALES

1. Cemento:

Pacasmayo TIPO I

- Peso específico 3.11 g/cm³

2. Agua:

Agua potable

3. Agregados:

	Agregado fino		Agregado grueso		Piedra pómez
- Peso específico de masa:	2.600	g/cm ³	2.600	g/cm ³	0.830
- Peso específico sss:	2.630	g/cm ³	2.630	g/cm ³	1.160
- Peso específico aparente:	2.690	g/cm ³	2.680	g/cm ³	1.240
- Peso unitario suelto seco:	1699	kg/m ³	1475	kg/m ³	396
- Peso unitario compactado seco:	1827	kg/m ³	1577	kg/m ³	501
- Humedad:	2.277%		0.435%		0.35%
- Absorción:	1.300%		1.100%		40.50%
- Abrasión:			28.00%		
- % que pasa malla N° 200	1.380		1.000		
- Granulometría:					

Agregado fino			Agregado grueso			Piedra pómez		
Tamiz	% que pasa	% Ret. Acum.	Tamiz	% que pasa	% Ret. Acum.	Tamiz	% que pasa	% Ret. Acum.
N° 4	95.79%	4.21%	1"	100.00%	0.00%	1"	100.00%	0.00%
N° 8	81.68%	18.32%	3/4"	94.30%	5.70%	3/4"	90.73%	9.28%
N° 16	59.52%	40.48%	1/2"	50.73%	49.27%	1/2"	57.71%	42.29%
N° 30	35.84%	64.16%	3/8"	23.09%	76.91%	3/8"	24.29%	75.71%
N° 50	15.14%	84.86%	N° 4	1.00%	99.00%	N° 4	0.00%	100.00%
N° 100	5.51%	94.49%	N° 8	0.00%	99.00%	N° 8	0.00%	100.00%
mr		3.07	mg		6.77	mp		6.85

II) VOLÚMENES ABSOLUTOS

Cemento	330.56/(3.11x1000)	=	0.106 m ³
Agua	205/1000	=	0.205 m ³
Aire	2.00%	=	0.020 m ³
Volumen absoluto de la pasta		=	0.331 m³
Agregado fino		=	0.318 m ³
Agregado grueso		=	0.263 m ³
Piedra pómez al 25%		=	0.088 m ³
Volumen absoluto de los agregados		=	0.669 m³

III) PESO SECO DE LOS MATERIALES DE DISEÑO POR m³

Cemento	=	330.56 kg/m ³
Agua de Diseño	=	205.00 l/m ³
Agregado Fino Seco	=	828.00 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	=	683.00 kg/m ³
Piedra pómez al 25%	=	72.68 kg/m ³

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA DEL CONCRETO CON 25% PIEDRA PÓMEZ

IV) MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

Corrección por humedad de los agregados			
Agregado fino	=	8.090	lt
Agregado grueso	=	-4.542	lt
Piedra pómez	=	-29.181	lt
Aporte total	=	-25.633	lt
Cemento	=	330.56	kg/m ³
Agua Efectiva	=	230.63	l/m ³
Agregado Fino Húmedo	=	846.85	kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo	=	685.97	kg/m ³
Piedra pómez al 25%	=	72.93	kg/m ³

V) DOSIFICACIÓN EN PESO

1	2.56	2.08	0.22	29.65	lt/bls
---	------	------	------	-------	--------

III) CONVERSIÓN DE DOSIFICACIÓN EN PESO A VOLUMEN

1. Materiales

	Agregado fino	Agregado grueso	Piedra Pómez
- Peso unitario suelto seco:	1699 kg/m ³	1475 kg/m ³	396 kg/m ³
- Humedad:	2.277%	0.435%	0.35%

2. Cálculo de la cantidad de materiales por tanda

Cemento	=	42.50	kg/bls
Agua efectiva	=	29.65	kg/bls
Agregado fino húmedo	=	108.880	kg/bls
Agregado grueso húmedo	=	88.195	kg/bls
Piedra pómez	=	9.377	kg/bls

3. Cálculo de los pesos unitarios húmedos de los agregados

Peso unitario húmedo del agregado fino	=	1737.69	kg/m ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	1481.42	kg/m ³
Peso unitario húmedo de la piedra pómez	=	397.386	kg/m ³

4. Convertimos el peso unitario de los materiales a kg/pie³

Peso unitario húmedo del agregado fino	=	49.205	kg/pie ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	41.949	kg/pie ³
Peso unitario húmedo de la piedra pómez	=	11.253	kg/pie ³
Bolsa de cemento	=	42.50	kg/pie ³

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN

1:	2.21:	2.10	0.83	29.65	lt/bls
----	-------	------	------	-------	--------

IV) PROPORCIÓN POR TANDA 0.020 m³

TANDA	=	0.02	m ³
Cemento	=	6611.20	g
Agua efectiva	=	4612.67	g
Agregado fino húmedo	=	16937.07	g
Agregado grueso húmedo	=	13719.42	g
Piedra pómez	=	1458.69	g

APÉNDICE N° 07: RESULTADOS DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Tabla 57

Peso específico del agua

Descripción	Peso	unidades
Peso de la fiola	168.00	g
Peso de la fiola +agua	666.00	g
Volumen de la fiola	500.00	cm ³
Peso específico	0.996	g/cm ³
P.e en (Kg/m ³)	996	kg/cm ³

Tabla 58

Factor f del molde

Descripción	Peso	Unidad
Peso del Molde	4197.00	g
Peso del Molde +Agua	14002.00	g
Peso Agua (Kg)	9.81	kg
f (1/m ³)	101.58	1/m ³

Tabla 59

Peso unitario del concreto en estado fresco

Descripción	F	Wm+r	Wr	Pu	Pu (Promedio)
Patrón	101.58	27.517	4.167	2371.893	2379.444
		27.634	4.167	2383.778	
		27.623	4.167	2382.660	
		26.734	4.167	2292.356	
Sustitución del 15% por piedra pómez	101.58	26.615	4.167	2280.268	2286.735
		26.687	4.167	2287.582	
Sustitución del 20% por piedra pómez	101.58	26.390	4.167	2257.412	2252.401
		26.290	4.167	2247.254	
		26.342	4.167	2252.537	
Sustitución del 25% por piedra pómez	101.58	26.104	4.167	2228.360	2230.087
		26.050	4.167	2222.875	
		26.209	4.167	2239.026	

APÉNDICE N° 08: RESULTADOS DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Tabla 60

Peso unitario del concreto patrón en estado endurecido

	Edad	Área (cm2)	Altura (cm)	Peso (kg)	PU	PU promedio
Patrón	7 días	177.89	30.30	13.085	2427.550	2394.449
		180.27	30.50	13.156	2392.814	
		181.46	30.50	13.165	2378.724	
		181.46	30.40	13.178	2388.905	
		182.65	30.40	13.239	2384.251	
Patrón	14 días	180.27	30.30	13.089	2396.341	2405.698
		177.89	30.10	13.055	2438.077	
		179.08	30.10	13.060	2422.886	
		177.89	30.40	12.898	2384.986	
		180.15	30.30	13.025	2386.199	
Patrón	28 días	180.27	30.30	13.150	2407.509	2390.871
		183.85	30.30	13.178	2365.561	
		180.27	30.30	13.147	2406.960	
		180.27	30.40	13.156	2400.685	
		183.85	30.30	13.223	2373.639	

Tabla 61

Peso unitario del concreto con sustitución del 15% del volumen del agregado grueso por piedra pómez en estado endurecido

	Edad	Área (cm2)	Altura (cm)	Peso (kg)	PU	PU promedio
15% por piedra pómez	7 días	180.27	30.40	12.647	2307.803	2318.811
		180.27	30.30	12.598	2306.449	
		180.27	30.50	12.688	2307.694	
		179.08	30.40	12.777	2346.992	
		179.91	30.20	12.633	2325.117	
15% por piedra pómez	14 días	177.89	30.40	12.718	2351.702	2332.940
		177.89	30.60	12.633	2320.717	
		180.27	30.40	12.741	2324.956	
		176.71	30.50	12.630	2343.317	
		178.49	30.40	12.610	2324.005	
15% por piedra pómez	28 días	180.27	30.30	12.693	2323.842	2315.327
		180.27	30.40	12.772	2330.613	
		182.65	30.50	12.805	2298.530	
		181.46	30.40	12.759	2312.949	
		181.58	30.40	12.755	2310.703	

Tabla 62

Peso unitario del concreto con sustitución del 20% del volumen del agregado grueso por piedra pómez en estado endurecido

	Edad	Área (cm²)	Altura (cm)	Peso (kg)	PU	PU promedio
		180.27	30.40	12.467	2274.957	
20% por piedra pómez	7 días	182.65	30.50	12.482	2240.551	
		181.46	30.40	12.447	2256.389	2292.046
		176.71	30.20	12.556	2352.729	
		177.30	30.40	12.589	2335.602	
		177.89	30.50	12.566	2315.977	
20% por piedra pómez	14 días	179.08	30.30	12.537	2310.507	
		177.89	30.40	12.418	2296.229	2295.949
		179.08	30.30	12.406	2286.364	
		181.58	30.40	12.534	2270.667	
		181.46	30.50	12.567	2270.674	
20% por piedra pómez	28 días	180.27	30.50	12.605	2292.598	
		179.08	30.30	12.541	2311.244	2291.603
		181.46	30.40	12.576	2279.774	
		180.39	30.40	12.633	2303.728	

Tabla 63

Peso unitario del concreto con sustitución del 25% del volumen del agregado grueso por piedra pómez en estado endurecido

	Edad	Área (cm²)	Altura (cm)	Peso (kg)	PU	PU promedio
		180.27	30.40	12.213	2228.608	
25% por piedra pómez	7 días	182.65	30.50	12.535	2250.064	
		180.27	30.20	12.354	2269.267	2249.934
		180.27	30.30	12.211	2235.597	
		178.49	30.40	12.296	2266.135	
		177.89	30.50	12.360	2278.011	
25% por piedra pómez	14 días	182.65	30.30	12.267	2216.492	
		179.08	30.20	12.357	2284.874	2259.816
		177.89	30.30	12.312	2284.142	
		181.34	30.40	12.324	2235.562	
		185.06	30.30	12.678	2261.005	
25% por piedra pómez	28 días	182.65	30.40	12.379	2229.371	
		181.46	30.40	12.379	2244.062	2253.602
		181.46	30.30	12.411	2257.289	
		181.58	30.40	12.565	2276.283	

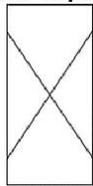
APÉNDICE N° 09: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO PATRÓN A LOS 7 DÍAS.

N° DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	PATRÓN - M1	PATRÓN - M2	PATRÓN - M3	PATRÓN - M4	PATRÓN - M5
FECHA DE MUESTREO	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023
EDAD (días)	7	7	7	7	7
FECHA DE ROTURA	21/12/2023	21/12/2023	21/12/2023	21/12/2023	21/12/2023
DIÁMETRO (cm)	15.05	15.15	15.20	15.20	15.25
ALTURA (cm)	30.30	30.50	30.50	30.40	30.40
PESO (g)	13085	13156	13165	13178	13239
VOLUMEN (cm ³)	5390.21	5498.13	5534.48	5516.34	5552.69
TIPO DE ROTURA	5	5	5	6	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.43	2.39	2.38	2.39	2.38
CARGA (kN)	446.81	459.42	475.67	461.62	448.49
CARGA (Kg)	45561.22	46847.06	48504.07	47071.39	45732.5
ÁREA (cm ²)	177.89	180.27	181.46	181.46	182.65
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	256.11	259.88	267.30	259.41	250.38
RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	258.62				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	91.47%	92.81%	95.46%	92.64%	89.42%
PORCENTAJE PROMEDIO (%)	92.36%				
DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	6.16				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)	2.38%				

OBSERVACIONES:

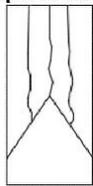
Los especímenes se ensayaron con almohadillas elastoméricas, tanto en la parte superior como en la parte inferior.

Esquema de patrones típicos de fractura:



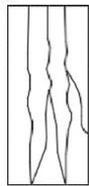
Tipo 1

Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



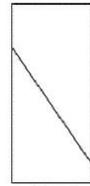
Tipo 2

Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3

Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4

Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5

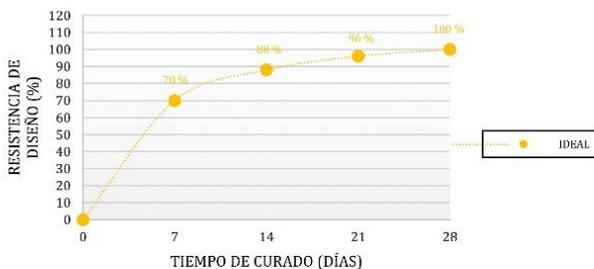
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6

Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

RESISTENCIA PROMEDIO DEL CONCRETO EN FUNCIÓN DEL DÍA (VALORES REFERENCIALES)



Predicción de la resistencia a compresión ACI-209 (A-17)

$$f_{cmt} = \left[\frac{t}{a + bt} \right] f_{cm28}$$

Donde (*):

a = 4

b = 0.85

t = Edad (días)

* Cemento tipo I y curado en condiciones húmedas

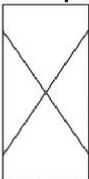
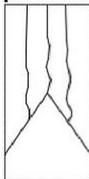
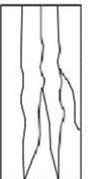
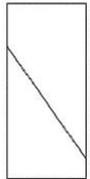
APÉNDICE N° 10: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO SUSTITUYENDO EL 15% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ A LOS 7 DÍAS.

N° DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	15% PP - M1	15% PP - M2	15% PP - M3	15% PP - M4	15% PP - M5
FECHA DE MUESTREO	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023
EDAD (días)	7	7	7	7	7
FECHA DE ROTURA	21/12/2023	21/12/2023	21/12/2023	21/12/2023	21/12/2023
DIÁMETRO (cm)	15.15	15.15	15.15	15.10	15.14
ALTURA (cm)	30.40	30.30	30.50	30.40	30.20
PESO (g)	13089	13055	13060	12898	13025
VOLUMEN (cm³)	5480.10	5462.08	5498.13	5443.99	5433.27
TIPO DE ROTURA	5	3	5	5	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.39	2.39	2.38	2.37	2.40
CARGA (kN)	444.91	427.69	443.52	434.84	422.66
CARGA (Kg)	45367.47	43611.55	45225.73	44340.63	43098.6
ÁREA (cm²)	180.27	180.27	180.27	179.08	179.91
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	251.67	241.93	250.88	247.60	239.56
RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm²)	246.33				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	89.88%	86.40%	89.60%	88.43%	85.56%
PORCENTAJE PROMEDIO (%)	87.97%				
DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	5.39				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)	2.19%				

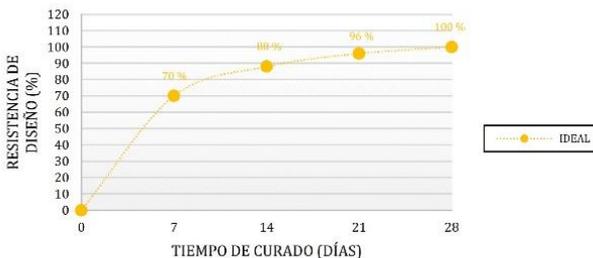
OBSERVACIONES:

Los especímenes se ensayaron con almohadillas elastomericas, tanto en la parte superior como en la parte inferior.

Esquema de patrones típicos de fractura:

					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embanado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

RESISTENCIA PROMEDIO DEL CONCRETO EN FUNCIÓN DEL DÍA (VALORES REFERENCIALES)



Predicción de la resistencia a compresión ACI-209 (A-17)

$$f_{cmt} = \left[\frac{t}{a + bt} \right] f_{cm28}$$

Donde (*):
 a = 4
 b = 0.85
 t = Edad (días)

* Cemento tipo I y curado en condiciones húmedas

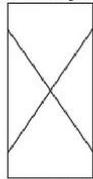
APÉNDICE N° 11: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO SUSTITUYENDO EL 20% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ A LOS 7 DÍAS.

N° DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	20% PP - M1	20% PP - M2	20% PP - M3	20% PP - M4	20% PP - M5
FECHA DE MUESTREO	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023
EDAD (días)	7	7	7	7	7
FECHA DE ROTURA	21/12/2023	21/12/2023	21/12/2023	21/12/2023	21/12/2023
DIÁMETRO (cm)	15.15	15.25	15.20	15.00	15.03
ALTURA (cm)	30.40	30.50	30.40	30.20	30.40
PESO (g)	12467	12482	12447	12556	12589
VOLUMEN (cm ³)	5480.10	5570.95	5516.34	5336.78	5390.05
TIPO DE ROTURA	5	6	6	3	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.27	2.24	2.26	2.35	2.34
CARGA (kN)	415.16	406.54	422.42	407.5	430.2
CARGA (Kg)	42333.87	41454.88	43074.17	41552.78	43867.5
ÁREA (cm ²)	180.27	182.65	181.46	176.71	177.30
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	234.84	226.96	237.38	235.14	247.41
RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	236.35				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	83.87%	81.06%	84.78%	83.98%	88.36%
PORCENTAJE PROMEDIO (%)	84.41%				
DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	7.34				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)	3.10%				

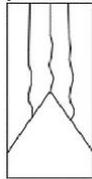
OBSERVACIONES:

Los especímenes se ensayaron con almohadillas elastomericas, tanto en la parte superior como en la parte inferior.

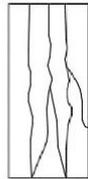
Esquema de patrones típicos de fractura:



Tipo 1
Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2
Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, como no bien definido en las otras partes.



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.

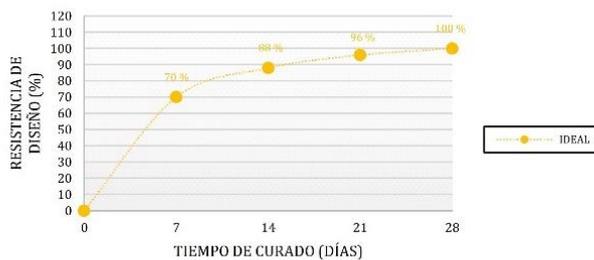


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

RESISTENCIA PROMEDIO DEL CONCRETO EN FUNCIÓN DEL DÍA (VALORES REFERENCIALES)



Predicción de la resistencia a compresión ACI-209 (A-17)

$$f_{cmt} = \left[\frac{t}{a + bt} \right] f_{cm28}$$

Donde (*):

$$a = 4$$

$$b = 0.85$$

$$t = \text{Edad (días)}$$

* Cemento tipo I y curado en condiciones húmedas

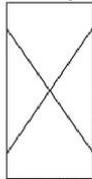
APÉNDICE N° 12: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO SUSTITUYENDO EL 25% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ A LOS 7 DÍAS.

N° DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	25% PP - M1	25% PP - M2	25% PP - M3	25% PP - M4	25% PP - M5
FECHA DE MUESTREO	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023
EDAD (días)	7	7	7	7	7
FECHA DE ROTURA	21/12/2023	21/12/2023	21/12/2023	21/12/2023	21/12/2023
DIÁMETRO (cm)	15.15	15.25	15.15	15.15	15.08
ALTURA (cm)	30.40	30.50	30.20	30.30	30.40
PESO (g)	12213	12535	12354	12211	12296
VOLUMEN (cm ³)	5480.10	5570.95	5444.05	5462.08	5425.98
TIPO DE ROTURA	6	5	5	5	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.23	2.25	2.27	2.24	2.27
CARGA (kN)	392.88	390.20	405.10	405.85	403.60
CARGA (Kg)	40061.97	39788.69	41308.05	41384.52	41155.1
ÁREA (cm ²)	180.27	182.65	180.27	180.27	178.49
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	222.24	217.84	229.15	229.57	230.58
RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	225.88				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	79.37%	77.80%	81.84%	81.99%	82.35%
PORCENTAJE PROMEDIO (%)	80.67%				
DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	5.58				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)	2.47%				

OBSERVACIONES:

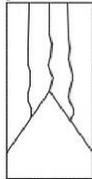
Los especímenes se ensayaron con almohadillas elastomericas, tanto en la parte superior como en la parte inferior.

Esquema de patrones típicos de fractura:



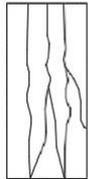
Tipo 1

Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



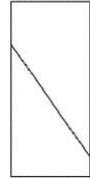
Tipo 2

Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, como no bien definido en las otras partes.



Tipo 3

Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4

Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5

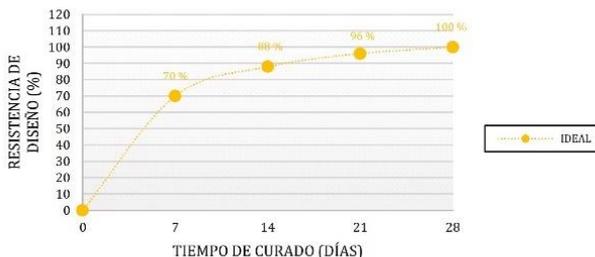
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6

Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

RESISTENCIA PROMEDIO DEL CONCRETO EN FUNCIÓN DEL DÍA (VALORES REFERENCIALES)



Predicción de la resistencia a compresión ACI-209 (A-17)

$$f_{cmt} = \left[\frac{t}{a + bt} \right] f_{cm28}$$

Donde (*):

$$a = 4$$

$$b = 0.85$$

$$t = \text{Edad (días)}$$

* Cemento tipo I y curado en condiciones húmedas

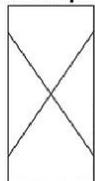
APÉNDICE N° 13: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO PATRÓN A LOS 14 DÍAS.

N° DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	PATRÓN - M1	PATRÓN - M2	PATRÓN - M3	PATRÓN - M4	PATRÓN - M5
FECHA DE MUESTREO	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023
EDAD (días)	14	14	14	14	14
FECHA DE ROTURA	28/12/2023	28/12/2023	28/12/2023	28/12/2023	28/12/2023
DIÁMETRO (cm)	15.15	15.05	15.10	15.05	15.15
ALTURA (cm)	30.30	30.10	30.10	30.40	30.30
PESO (g)	13089	13055	13060	12898	13025
VOLUMEN (cm ³)	5462.08	5354.63	5390.27	5408.00	5458.47
TIPO DE ROTURA	6	5	5	6	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.40	2.44	2.42	2.38	2.39
CARGA (kN)	526.81	497.65	504.82	491.14	506.23
CARGA (Kg)	53718.82	50745.37	51476.50	50081.55	51620.3
ÁREA (cm ²)	180.27	177.89	179.08	177.89	180.15
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	298.00	285.26	287.45	281.52	286.54
RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	287.75				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	106.43%	101.88%	102.66%	100.54%	102.34%
PORCENTAJE PROMEDIO (%)	102.77%				
DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	6.15				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)	2.14%				

OBSERVACIONES:

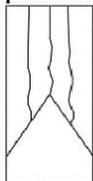
Los especímenes se ensayaron con almohadillas elastomericas, tanto en la parte superior como en la parte inferior.

Esquema de patrones típicos de fractura:



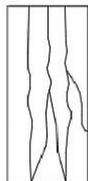
Tipo 1

Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



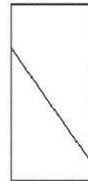
Tipo 2

Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, como no bien definido en las otras partes.



Tipo 3

Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4

Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5

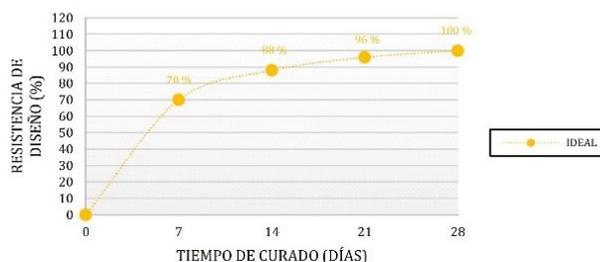
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6

Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

RESISTENCIA PROMEDIO DEL CONCRETO EN FUNCIÓN DEL DÍA (VALORES REFERENCIALES)



Predicción de la resistencia a compresión ACI-209 (A-17)

$$f_{cmt} = \left[\frac{t}{a + bt} \right] f_{cm28}$$

Donde (*):

a = 4

b = 0.85

t = Edad (días)

* Cemento tipo I y curado en condiciones húmedas

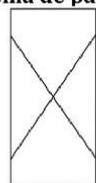
APÉNDICE N° 14: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO SUSTITUYENDO EL 15% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ A LOS 14 DÍAS.

N° DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	15% PP - M1	15% PP - M2	15% PP - M3	15% PP - M4	15% PP - M5
FECHA DE MUESTREO	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023
EDAD (días)	14	14	14	14	14
FECHA DE ROTURA	28/12/2023	28/12/2023	28/12/2023	28/12/2023	28/12/2023
DIÁMETRO (cm)	15.05	15.05	15.15	15.00	15.08
ALTURA (cm)	30.40	30.60	30.40	30.50	30.40
PESO (g)	12718	12633	12741	12630	12610
VOLUMEN (cm ³)	5408.00	5443.58	5480.10	5389.79	5425.98
TIPO DE ROTURA	5	5	5	5	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.35	2.32	2.32	2.34	2.32
CARGA (kN)	487.63	464.26	468.43	476.8	472.23
CARGA (Kg)	49723.63	47340.59	47765.81	48619.30	48153.3
ÁREA (cm ²)	177.89	177.89	180.27	176.71	178.49
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	279.51	266.12	264.97	275.13	269.79
RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	271.10				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	99.83%	95.04%	94.63%	98.26%	96.35%
PORCENTAJE PROMEDIO (%)	96.82%				
DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	6.15				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)	2.27%				

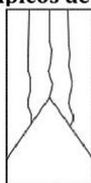
OBSERVACIONES:

Los especímenes se ensayaron con almohadillas elastomericas, tanto en la parte superior como en la parte inferior.

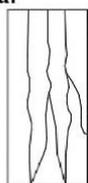
Esquema de patrones típicos de fractura:



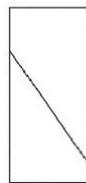
Tipo 1
Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2
Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.

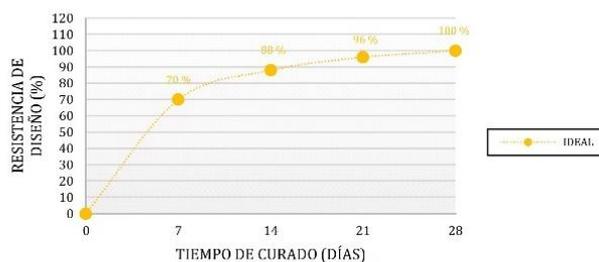


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

RESISTENCIA PROMEDIO DEL CONCRETO EN FUNCIÓN DEL DÍA (VALORES REFERENCIALES)



Predicción de la resistencia a compresión ACI-209 (A-17)

$$f_{cmt} = \left[\frac{t}{a + bt} \right] f_{cm28}$$

Donde (*):

$$a = 4$$

$$b = 0.85$$

$$t = \text{Edad (días)}$$

* Cemento tipo I y curado en condiciones húmedas

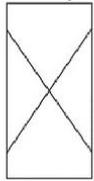
APÉNDICE N° 15: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO SUSTITUYENDO EL 20% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ A LOS 14 DÍAS.

N° DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	20% PP - M1	20% PP - M2	20% PP - M3	20% PP - M4	20% PP - M5
FECHA DE MUESTREO	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023
EDAD (días)	14	14	14	14	14
FECHA DE ROTURA	28/12/2023	28/12/2023	28/12/2023	28/12/2023	28/12/2023
DIÁMETRO (cm)	15.05	15.10	15.05	15.10	15.21
ALTURA (cm)	30.50	30.30	30.40	30.30	30.40
PESO (g)	12566	12537	12418	12406	12534
VOLUMEN (cm ³)	5425.79	5426.08	5408.00	5426.08	5519.96
TIPO DE ROTURA	6	5	6	6	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.32	2.31	2.30	2.29	2.27
CARGA (kN)	460.71	449.42	458.38	451.38	463.56
CARGA (Kg)	46978.60	45827.36	46741.01	46027.22	47269.2
ÁREA (cm ²)	177.89	179.08	177.89	179.08	181.58
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	264.08	255.91	262.75	257.02	260.32
RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	260.02				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	94.31%	91.40%	93.84%	91.79%	92.97%
PORCENTAJE PROMEDIO (%)	92.86%				
DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	3.53				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)	1.36%				

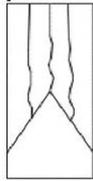
OBSERVACIONES:

Los especímenes se ensayaron con almohadillas elastomericas, tanto en la parte superior como en la parte inferior.

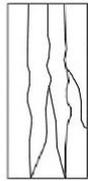
Esquema de patrones típicos de fractura:



Tipo 1
Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



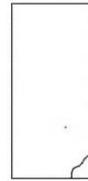
Tipo 2
Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.

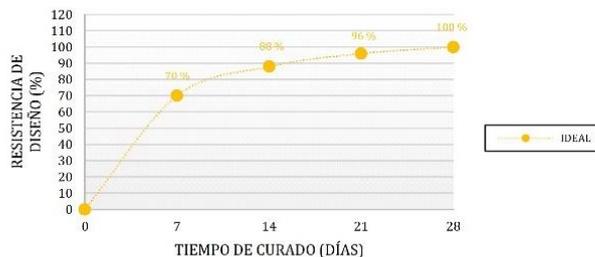


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

RESISTENCIA PROMEDIO DEL CONCRETO EN FUNCIÓN DEL DÍA (VALORES REFERENCIALES)



Predicción de la resistencia a compresión ACI-209 (A-17)

$$f_{cmt} = \left[\frac{t}{a + bt} \right] f_{cm28}$$

Donde (*):

a = 4

b = 0.85

t = Edad (días)

* Cemento tipo I y curado en condiciones húmedas

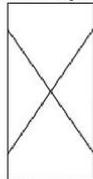
APÉNDICE N° 16: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO SUSTITUYENDO EL 25% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ A LOS 14 DÍAS.

N° DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	25% PP - M1	25% PP - M2	25% PP - M3	25% PP - M4	25% PP - M5
FECHA DE MUESTREO	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023
EDAD (días)	14	14	14	14	14
FECHA DE ROTURA	28/12/2023	28/12/2023	28/12/2023	28/12/2023	28/12/2023
DIÁMETRO (cm)	15.05	15.25	15.10	15.05	15.20
ALTURA (cm)	30.50	30.30	30.20	30.30	30.40
PESO (g)	12360	12267	12357	12312	12324
VOLUMEN (cm ³)	5425.79	5534.42	5408.17	5390.21	5512.71
TIPO DE ROTURA	5	5	5	6	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.28	2.22	2.28	2.28	2.24
CARGA (kN)	440.31	447.86	446.05	431.74	437.21
CARGA (Kg)	44898.41	45668.28	45483.72	44024.53	44582.3
ÁREA (cm ²)	177.89	182.65	179.08	177.89	181.34
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	252.39	250.03	253.99	247.48	245.85
RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	249.95				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	90.14%	89.29%	90.71%	88.38%	87.80%
PORCENTAJE PROMEDIO (%)	89.27%				
DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	3.36				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)	1.34%				

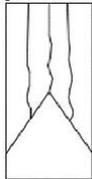
OBSERVACIONES:

Los especímenes se ensayaron con almohadillas elastomericas, tanto en la parte superior como en la parte inferior.

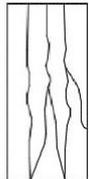
Esquema de patrones típicos de fractura:



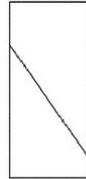
Tipo 1
Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2
Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, como no bien definido en las otras partes.



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.

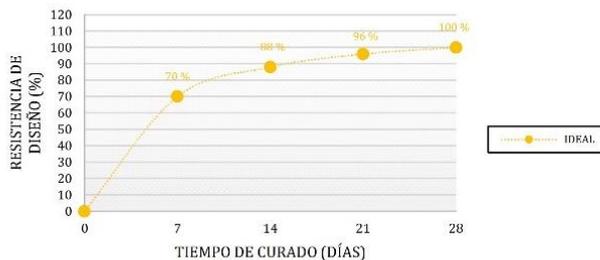


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

RESISTENCIA PROMEDIO DEL CONCRETO EN FUNCIÓN DEL DÍA (VALORES REFERENCIALES)



Predicción de la resistencia a compresión ACI-209 (A-17)

$$f_{cmt} = \left[\frac{t}{a + bt} \right] f_{cm28}$$

Donde (*):

a = 4

b = 0.85

t = Edad (días)

* Cemento tipo I y curado en condiciones húmedas

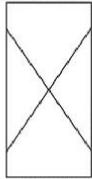
APÉNDICE N° 17: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO PATRÓN A LOS 28 DÍAS.

N° DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	PATRÓN - M1	PATRÓN - M2	PATRÓN - M3	PATRÓN - M4	PATRÓN - M5
FECHA DE MUESTREO	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023
EDAD (días)	28	28	28	28	28
FECHA DE ROTURA	11/01/2024	11/01/2024	11/01/2024	11/01/2024	11/01/2024
DIÁMETRO (cm)	15.15	15.30	15.15	15.15	15.30
ALTURA (cm)	30.30	30.30	30.30	30.40	30.30
PESO (g)	13150	13178	13147	13156	13223
VOLUMEN (cm ³)	5462.08	5570.77	5462.08	5480.10	5570.77
TIPO DE ROTURA	5	6	5	5	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.41	2.37	2.41	2.40	2.37
CARGA (kN)	560.5	566.66	558.35	555.33	586.38
CARGA (Kg)	57154.19	57782.32	56934.95	56627.00	59793.2
ÁREA (cm ²)	180.27	183.85	180.27	180.27	183.85
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	317.05	314.28	315.84	314.13	325.22
RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	317.31				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	113.23%	112.24%	112.80%	112.19%	116.15%
PORCENTAJE PROMEDIO (%)	113.32%				
DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	4.59				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)	1.45%				

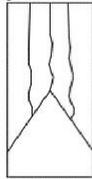
OBSERVACIONES:

Los especímenes se ensayaron con almohadillas elastomericas, tanto en la parte superior como en la parte inferior.

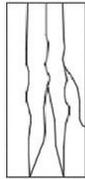
Esquema de patrones típicos de fractura:



Tipo 1
Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2
Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.

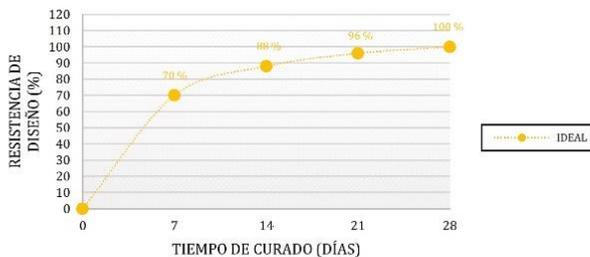


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

RESISTENCIA PROMEDIO DEL CONCRETO EN FUNCIÓN DEL DÍA (VALORES REFERENCIALES)



Predicción de la resistencia a compresión ACI-209 (A-17)

$$f_{cmt} = \left[\frac{t}{a + bt} \right] f_{cm28}$$

Donde (*):

$$a = 4$$

$$b = 0.85$$

$$t = \text{Edad (días)}$$

* Cemento tipo I y curado en condiciones húmedas

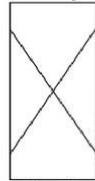
APÉNDICE N° 18: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO SUSTITUYENDO EL 15% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ A LOS 28 DÍAS.

N° DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	15% PP - M1	15% PP - M2	15% PP - M3	15% PP - M4	15% PP - M5
FECHA DE MUESTREO	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023
EDAD (días)	28	28	28	28	28
FECHA DE ROTURA	11/01/2024	11/01/2024	11/01/2024	11/01/2024	11/01/2024
DIÁMETRO (cm)	15.15	15.15	15.25	15.20	15.21
ALTURA (cm)	30.30	30.40	30.50	30.40	30.40
PESO (g)	12693	12772	12805	12759	12755
VOLUMEN (cm ³)	5462.08	5480.10	5570.95	5516.34	5519.96
TIPO DE ROTURA	5	5	6	5	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.32	2.33	2.30	2.31	2.31
CARGA (kN)	547.90	554.08	548.40	536.77	556.24
CARGA (Kg)	55869.36	56499.54	55920.35	54734.44	56719.8
ÁREA (cm ²)	180.27	180.27	182.65	181.46	181.58
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	309.93	313.42	306.15	301.64	312.37
RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	308.70				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	110.69%	111.94%	109.34%	107.73%	111.56%
PORCENTAJE PROMEDIO (%)	110.25%				
DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	4.84				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)	1.57%				

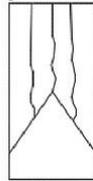
OBSERVACIONES:

Los especímenes se ensayaron con almohadillas elastomericas, tanto en la parte superior como en la parte inferior.

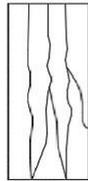
Esquema de patrones típicos de fractura:



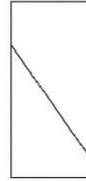
Tipo 1
Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2
Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, como no bien definido en las otras partes.



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.

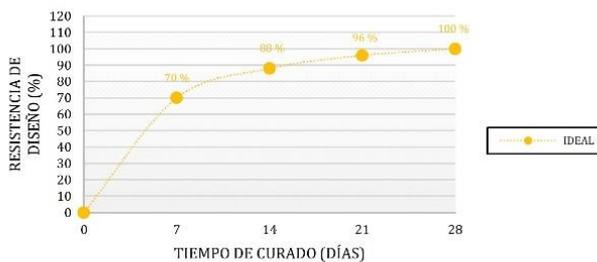


Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

RESISTENCIA PROMEDIO DEL CONCRETO EN FUNCIÓN DEL DÍA (VALORES REFERENCIALES)



Predicción de la resistencia a compresión ACI-209 (A-17)

$$f_{cmt} = \left[\frac{t}{a + bt} \right] f_{cm28}$$

Donde (*):

a = 4

b = 0.85

t = Edad (días)

* Cemento tipo I y curado en condiciones húmedas

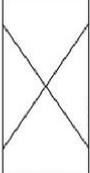
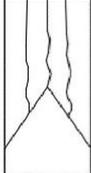
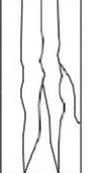
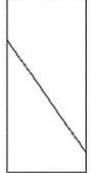
APÉNDICE N° 19: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO SUSTITUYENDO EL 20% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ A LOS 28 DÍAS.

N° DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	20% PP - M1	20% PP - M2	20% PP - M3	20% PP - M4	20% PP - M5
FECHA DE MUESTREO	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023
EDAD (días)	28	28	28	28	28
FECHA DE ROTURA	11/01/2024	11/01/2024	11/01/2024	11/01/2024	11/01/2024
DIÁMETRO (cm)	15.20	15.15	15.10	15.20	15.16
ALTURA (cm)	30.50	30.50	30.30	30.40	30.40
PESO (g)	12567	12605	12541	12576	12633
VOLUMEN (cm³)	5534.48	5498.13	5426.08	5516.34	5483.72
TIPO DE ROTURA	6	5	6	5	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.27	2.29	2.31	2.28	2.30
CARGA (kN)	521.42	534.27	528.60	524.85	530.04
CARGA (Kg)	53169.20	54479.51	53901.34	53518.95	54048.2
ÁREA (cm²)	181.46	180.27	179.08	181.46	180.39
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	293.01	302.22	300.99	294.94	299.63
RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm²)	298.16				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	104.65%	107.93%	107.50%	105.33%	107.01%
PORCENTAJE PROMEDIO (%)	106.48%				
DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	3.99				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)	1.34%				

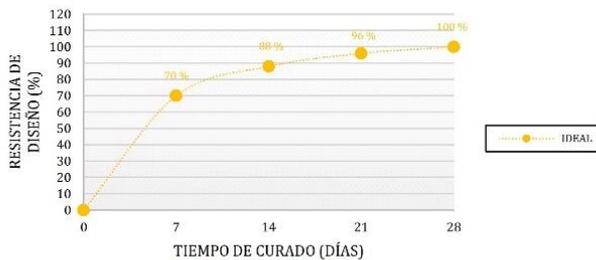
OBSERVACIONES:

Los especímenes se ensayaron con almohadillas elastomericas, tanto en la parte superior como en la parte inferior.

Esquema de patrones típicos de fractura:

					
<p>Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.</p>	<p>Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.</p>	<p>Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.</p>	<p>Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.</p>	<p>Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.</p>	<p>Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.</p>

RESISTENCIA PROMEDIO DEL CONCRETO EN FUNCIÓN DEL DÍA (VALORES REFERENCIALES)



Predicción de la resistencia a compresión ACI-209 (A-17)

$$f_{cmt} = \left[\frac{t}{a + bt} \right] f_{cm28}$$

Donde (*):
 a = 4
 b = 0.85
 t = Edad (días)

* Cemento tipo I y curado en condiciones húmedas

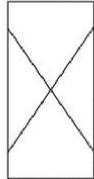
APÉNDICE N° 20: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO SUSTITUYENDO EL 25% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ A LOS 28 DÍAS.

N° DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	25% PP - M1	25% PP - M2	25% PP - M3	25% PP - M4	25% PP - M5
FECHA DE MUESTREO	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023	14/12/2023
EDAD (días)	28	28	28	28	28
FECHA DE ROTURA	11/01/2024	11/01/2024	11/01/2024	11/01/2024	11/01/2024
DIÁMETRO (cm)	15.35	15.25	15.20	15.20	15.21
ALTURA (cm)	30.30	30.40	30.40	30.30	30.40
PESO (g)	12678	12379	12379	12411	12565
VOLUMEN (cm ³)	5607.24	5552.69	5516.34	5498.19	5519.96
TIPO DE ROTURA	5	5	6	6	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.26	2.23	2.24	2.26	2.28
CARGA (kN)	493.71	515.05	491.30	501.86	516.33
CARGA (Kg)	50343.61	52519.65	50097.86	51174.66	52650.2
ÁREA (cm ²)	185.06	182.65	181.46	181.46	181.58
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	272.04	287.54	276.08	282.02	289.96
RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	281.53				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	97.16%	102.69%	98.60%	100.72%	103.56%
PORCENTAJE PROMEDIO (%)	100.55%				
DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	7.53				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)	2.68%				

OBSERVACIONES:

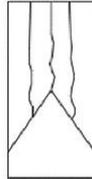
Los especímenes se ensayaron con almohadillas elastomericas, tanto en la parte superior como en la parte inferior.

Esquema de patrones típicos de fractura:



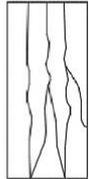
Tipo 1

Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



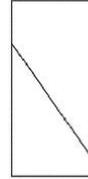
Tipo 2

Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, pero no bien definido en las otras partes.



Tipo 3

Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4

Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5

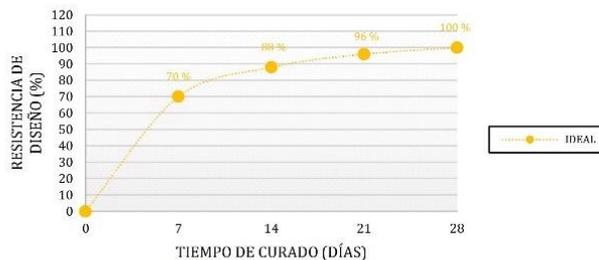
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6

Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

RESISTENCIA PROMEDIO DEL CONCRETO EN FUNCIÓN DEL DÍA (VALORES REFERENCIALES)



Predicción de la resistencia a compresión ACI-209 (A-17)

$$f_{cmt} = \left[\frac{t}{a + bt} \right] f_{cm28}$$

Donde (*):

a = 4

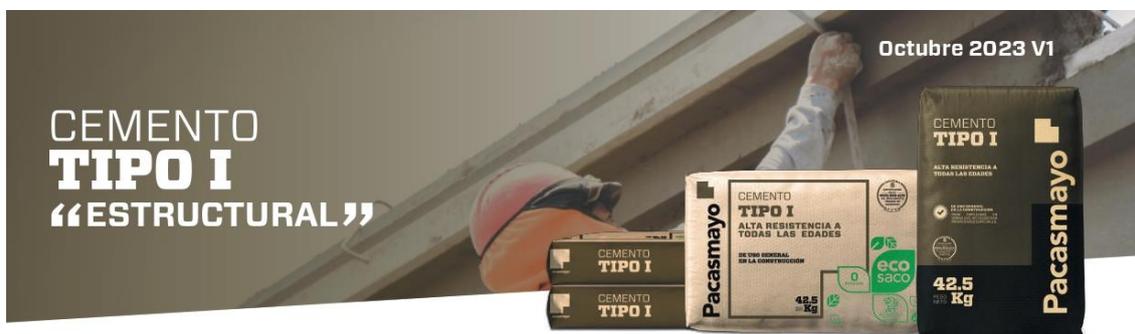
b = 0.85

t = Edad (días)

* Cemento tipo I y curado en condiciones húmedas

ANEXOS

ANEXO N° 01: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO



DESCRIPCIÓN

Cemento Portland de uso general Tipo I. Gracias a su diseño de clinker, se logra una mejor resistencia a la compresión garantizando óptimos resultados en tu obra.

ATRIBUTOS

Altas resistencias a todas las edades

- Desarrolla altas resistencias iniciales que garantiza un adecuado avance de obra.
- El diseño correcto en concreto garantiza un menor tiempo de desencofrado.

PRESENTACIONES



*En cumplimiento de la Norma Metrológica Peruana (NMP 002:2018)

RECOMENDACIONES DE USO



Utilizar agregados y materiales de buena calidad.



A mayor sea la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua.

DOSIFICACIONES RECOMENDADAS

- Las proporciones de los materiales están sujetas a la calidad de los agregados de la zona, y a la ejecución de un diseño de mezclas por un experto, pero es aceptado que con materiales aprobados para construcción se usen las siguientes proporciones.

Aplicación	Resistencia (f'c)	Cemento	Arena limpia	Piedra de tamaño máximo 19 mm	Agua
Losas aligeradas, placas y otros	175	1	2	3	0.5 (*)
Vigas y columnas	210	1	2	2	0.5 (*)

(*) El agua debe ser la suficiente para lograr una consistencia trabajable (slump de 5 a 6 pulgadas), la mezcla no debe estar muy aguada, debe poder levantarse con un badilejo sin escurrirse rápidamente.

- Para otro tipo de concreto se requiere un diseño de mezclas específico, si se usan aditivos el agua debe reducirse.
- Usar un único recipiente de medida.

RECOMENDACIONES DE ALMACENAMIENTO

- 1 Los primeros cementos que entren, deben ser los primeros en salir.
- 2 Las bolsas de cemento deben almacenarse a una distancia de 15 cms como mínimo de las paredes del almacén y 60 cms de otras pilas.
- 3 Cubrir con una capa impermeable para evitar la humedad.
- 4 Reducir tiempo de almacenamiento cuando las temperaturas sean menores a 10°C.
- 5 Revisar la bolsa de cemento antes de usarla para verificar si es que tiene grumos. En caso tenga grumos, antes de su uso tamizar la bolsa.
- 6 Colocar parihuelas de madera para evitar la humedad del suelo.
- 7 Evitar la circulación del aire entre bolsas en el apilado.





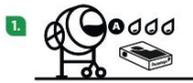
¿QUÉ ES EL ECOSACO?

Bolsa que se disgrega con la acción de la piedra en mezclas de concreto.

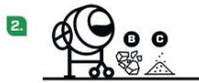
BENEFICIOS DE USAR ECOSACO

- El Ecosaco reducirá el riesgo de exposición al polvo del cemento al maestro ya que va directamente al trompo sin necesidad de abrir la bolsa cuando se ejecutan las mezclas de concreto.
- El Ecosaco genera cero desperdicios, con la acción de la piedra el empaque se disgrega en la mezcla de concreto.
- El Ecosaco mejora la productividad, ahorra en el tiempo de limpieza en obra y gestión de desechos de construcción.

CÓMO USAR EL ECOSACO EN 5 MINUTOS



1. AGREGA la mitad de la proporción de agua (A) y luego introduce el EcoSaco (sin abrir) directo a un trompo de al menos 340 litros.



2. AÑADE el total de los áridos: piedra (B) y arena (C) en el trompo, según el diseño de concreto.



3. AJUSTA la mezcla añadiendo el resto de la proporción de agua y asegura que toda la bolsa esté incorporada en la mezcla para lograr una correcta integración.



4. MEZCLA hasta tener un resultado homogéneo y con la fluidez buscada.

ESCALA DE EMISIONES DE CARBONO

	Factor Dinker	Emisiones
Bajo	hasta 70%	500 a 700 Kg CO2 eq
Medio	71% a 88%	701 a 800 Kg CO2 eq
Alto	89% a 100%	801 Kg CO2 eq a más

***Tipo I** se encuentra en el rango alto en emisiones de carbono según el informe de auditoría realizado por Ecoamet 2022.

*Los resultados presentados corresponden por tonelada (TN) de cemento.

CERTIFICACIÓN EN CUMPLIMIENTO DEL DECRETO SUPREMO N° 001-2022-PRODUCE

Certificación que valida el **cumplimiento del Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico** utilizado en Edificaciones y Construcciones en General

Empresa Certificadora:

ICONTEC, Organismo de certificación internacional reconocido por el IAF (Foro Internacional de Acreditación) con alta experiencia certificando productos y servicios en el mundo.



NTP 534.009
ASTM C 150
Cemento Portland



DS 001-2022-PRODUCE
Cemento Hidráulico
utilizado en Edificaciones y
Construcciones en General

Cementos Pacasmayo optó por el modelo de certificación más alto y riguroso obteniendo la máxima certificación: Esquema Tipo 5.

1 2 3 4 5

*Tipos de esquema de certificación

Esquema Tipo 5: Certifica el proceso productivo y la comercialización, verificación del sistema de gestión de calidad en el comercializador, verificación del control de la producción en planta y verificación del sistema de gestión de calidad en planta.

CERTIFICACIONES DE LA COMPAÑÍA



También miembros de **gbc** PE



Cemento Tipo I

Cemento Portland de uso general Tipo I

Requisitos normalizados - NTP 334.009 / ASTM C150

REQUISITOS QUÍMICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
MgO	Máximo	6.0	%	NTP 334.086	1.7
SO ₃	Máximo	3.00	%	NTP 334.086	2.82
Alcalis equivalente	-	-	%	NTP 334.086	0.8
Pérdida por ignición	Máximo	3.5	%	NTP 334.086	2.8
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	NTP 334.086	0.6

REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
Finura					
Superficie específica	Mínimo	2,600	cm ² /g	NTP 334.002	4100
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	0.08
Contenido de aire	Máximo	12	%	NTP 334.048	7
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	12.0 (1740)	MPa (psi)	NTP 334.051	27.6 (4000)
7 días	Mínimo	19.0 (2760)	MPa (psi)	NTP 334.051	33.3 (4830)
28 días**	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	40.5 (5870)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	148
Fraguado final	Máximo	375	Minutos	NTP 334.006	274
Expansión en barra de mortero curada en agua a 14 días	Máximo	0.020	%	NTP 334.093	0.008

*Valores promedios referenciales de lotes despachados / **Requisito opcional.

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos físicos y químicos de la NTP 334.009 / ASTM C150

Pacasmayo

Para más información ingresa a:
www.cementospacasmayo.com.pe
 O escanea el código QR:





Esquema de certificación 5

Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO PORTLAND

Fabricado por **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** en la Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú

Manufactured by **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** in the Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:

The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria:

NTP 334.009:2022

Cementos Pórtland

Portland cement

SECTOR ICS 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC

This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the "R-PS-019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.

Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate

Certificado: CSC - CER1016270

Certificate

Fecha de Aprobación: 2023-08-18

Approval Date:

Fecha de Renovación:

Renewal Date:

Fecha Última Modificación:

Last Modification Date:

Fecha de Vencimiento:

Expiration Date:

2029-08-17

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@icontec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo

ICONTEC es un organismo de Certificación acreditado por:
ICONTEC is a certification body accredited by:



F-PS-628
Versión 00

Este certificado es propiedad de ICONTEC y debe ser devuelto cuando sea solicitado
ICONTEC carrera 37 nro. 52 - 95, Bogotá D.C., Colombia



Esquema de certificación 5

Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO PORTLAND

Fabricado por **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** en la Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú

Manufactured by **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** in the Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:

The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria:

NTP 334.009:2022

Cementos Pórtland

Portland cement

SECTOR ICS 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC

This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the "R-PS-019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.

Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate

Certificado: CSC - CER1016270

Certificate

Fecha de Aprobación: 2023-08-18

Approval Date:

Fecha de Renovación:

Renewal Date:

Fecha Última Modificación:

Last Modification Date:

Fecha de Vencimiento:

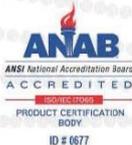
Expiration Date:

2029-08-17

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@icontec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo

ICONTEC es un organismo de Certificación acreditado por:
ICONTEC is a certification body accredited by:



Este certificado es propiedad de ICONTEC y debe ser devuelto cuando sea solicitado
ICONTEC carrera 37 nro. 52 - 95, Bogotá D.C., Colombia

F-PS-628
Versión 00



Esquema de certificación 5

Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO HIDRÁULICO

Fabricado por **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** en la Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú

Manufactured by **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** in the Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:

The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria:

Decreto Supremo No 001-2022

Decreto supremo que aprueba el Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico utilizado en Edificaciones y Construcciones en General.

Supreme Decree that approves the Technical Regulation on Hydraulic Cement used in Buildings and Construction in General
SECTOR ICS 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC

This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the "R-PS-019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.

Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate

Certificado: CSR -CER1016291
Certificate

Fecha de Aprobación: 2023-08-18
Approval Date:

Fecha de Renovación:
Renewal Date:

Fecha Última Modificación:
Last Modification Date:

Fecha de Vencimiento: 2029-08-17
Expiration Date:

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@icontec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo

ICONTEC es un organismo de Certificación acreditado por:
ICONTEC is a certification body accredited by:



Este certificado es propiedad de ICONTEC y debe ser devuelto cuando sea solicitado
ICONTEC carrera 37 nro. 52 - 95, Bogotá D.C., Colombia

F PS 628
Versión 00



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
 Calle La Colonia No. 150 Urb. El Vivero de Manterrico Santiago de Surco - Lima
 Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
 Teléfono 317 - 4000



G-CC-F-04
 Versión 04

Planta: Pacasmayo

Cemento Portland Tipo I
 Periodo de despacho 01 de diciembre de 2022 - 31 de diciembre de 2022

13 de enero de 2023

REQUISITOS NORMALIZADOS

NTP 334.009 Tablas 1 y 3

QUÍMICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
MgO (%)	6.0 máx.	2.4
SO3 (%)	3.0 máx.	2.8
Pérdida por ignición (%)	3.5 máx.	3.0
Residuo insoluble (%)	1.5 máx.	0.5

FÍSICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
Contenido de aire del mortero (volumen %)	12 máx.	9
Superficie específica (cm ² /g)	2600 mín.	3960
Expansión en autoclave (%)	0.80 máx.	0.10
Densidad (g/cm ³)	Λ	3.11
Resistencia a la compresión (MPa)		
1 día	Λ	14.6
3 días	12.0 mín.	27.7
7 días	19.0 mín.	33.7
28 días *	28.0 mín.	42.0
Tiempo de fraguado Vicat (minutos)		
Inicial	45 mín.	145
Final	375 máx.	260

Λ No específica

* Requisito opcional

El (la) RC 28 días corresponde al mes de noviembre del 2022

Certificamos que el cemento descrito arriba, al tiempo de envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.009.2020.

Ing. Dennis R. Rodas Lavado

Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por:

Distribuidora Norte Pacasmayo S. R. L.

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

ANEXO N° 02: TABLA DE DISTRIBUCIÓN NORMAL, ESTIMACIÓN DE Z

$$F(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA NORMAL
Mg. Miguel Angel Macetas Hernández

z	F(z)														
0.50	0.69146	0.95	0.82894	1.40	0.91924	1.85	0.96784	2.30	0.98928	2.75	0.99702	3.20	0.99931	3.65	0.99987
0.51	0.69497	0.96	0.83147	1.41	0.92073	1.86	0.96856	2.31	0.98956	2.76	0.99711	3.21	0.99934	3.66	0.99987
0.52	0.69847	0.97	0.83398	1.42	0.92220	1.87	0.96926	2.32	0.98983	2.77	0.99720	3.22	0.99936	3.67	0.99988
0.53	0.70194	0.98	0.83646	1.43	0.92364	1.88	0.96995	2.33	0.99010	2.78	0.99728	3.23	0.99938	3.68	0.99988
0.54	0.70540	0.99	0.83891	1.44	0.92507	1.89	0.97062	2.34	0.99036	2.79	0.99736	3.24	0.99940	3.69	0.99989
0.55	0.70884	1.00	0.84134	1.45	0.92647	1.90	0.97128	2.35	0.99061	2.80	0.99744	3.25	0.99942	3.70	0.99989
0.56	0.71226	1.01	0.84375	1.46	0.92785	1.91	0.97193	2.36	0.99086	2.81	0.99752	3.26	0.99944	3.71	0.99990
0.57	0.71566	1.02	0.84614	1.47	0.92922	1.92	0.97257	2.37	0.99111	2.82	0.99760	3.27	0.99946	3.72	0.99990
0.58	0.71904	1.03	0.84849	1.48	0.93056	1.93	0.97320	2.38	0.99134	2.83	0.99767	3.28	0.99948	3.73	0.99991
0.59	0.72240	1.04	0.85083	1.49	0.93189	1.94	0.97381	2.39	0.99158	2.84	0.99774	3.29	0.99950	3.74	0.99991
0.60	0.72575	1.05	0.85314	1.50	0.93319	1.95	0.97441	2.40	0.99180	2.85	0.99781	3.30	0.99952	3.75	0.99991
0.61	0.72907	1.06	0.85543	1.51	0.93448	1.96	0.97500	2.41	0.99202	2.86	0.99788	3.31	0.99953	3.76	0.99992
0.62	0.73237	1.07	0.85769	1.52	0.93574	1.97	0.97558	2.42	0.99224	2.87	0.99795	3.32	0.99955	3.77	0.99992
0.63	0.73565	1.08	0.85993	1.53	0.93699	1.98	0.97615	2.43	0.99245	2.88	0.99801	3.33	0.99957	3.78	0.99992
0.64	0.73891	1.09	0.86214	1.54	0.93822	1.99	0.97670	2.44	0.99266	2.89	0.99807	3.34	0.99958	3.79	0.99992
0.65	0.74215	1.10	0.86433	1.55	0.93943	2.00	0.97725	2.45	0.99286	2.90	0.99813	3.35	0.99960	3.80	0.99993
0.66	0.74537	1.11	0.86650	1.56	0.94062	2.01	0.97778	2.46	0.99305	2.91	0.99819	3.36	0.99962	3.81	0.99993
0.67	0.74857	1.12	0.86864	1.57	0.94179	2.02	0.97831	2.47	0.99324	2.92	0.99825	3.37	0.99964	3.82	0.99993
0.68	0.75175	1.13	0.87076	1.58	0.94295	2.03	0.97882	2.48	0.99343	2.93	0.99831	3.38	0.99966	3.83	0.99994
0.69	0.75490	1.14	0.87286	1.59	0.94408	2.04	0.97932	2.49	0.99361	2.94	0.99836	3.39	0.99965	3.84	0.99994
0.70	0.75804	1.15	0.87493	1.60	0.94520	2.05	0.97982	2.50	0.99379	2.95	0.99841	3.40	0.99966	3.85	0.99994
0.71	0.76115	1.16	0.87698	1.61	0.94630	2.06	0.98030	2.51	0.99396	2.96	0.99846	3.41	0.99968	3.86	0.99994
0.72	0.76424	1.17	0.87900	1.62	0.94738	2.07	0.98077	2.52	0.99413	2.97	0.99851	3.42	0.99969	3.87	0.99995
0.73	0.76730	1.18	0.88100	1.63	0.94845	2.08	0.98124	2.53	0.99430	2.98	0.99856	3.43	0.99970	3.88	0.99995
0.74	0.77035	1.19	0.88298	1.64	0.94950	2.09	0.98169	2.54	0.99446	2.99	0.99861	3.44	0.99971	3.89	0.99995
0.75	0.77337	1.20	0.88493	1.65	0.95053	2.10	0.98214	2.55	0.99461	3.00	0.99865	3.45	0.99972	3.90	0.99995
0.76	0.77637	1.21	0.88686	1.66	0.95154	2.11	0.98257	2.56	0.99477	3.01	0.99869	3.46	0.99973	3.91	0.99995
0.77	0.77935	1.22	0.88877	1.67	0.95254	2.12	0.98300	2.57	0.99492	3.02	0.99874	3.47	0.99974	3.92	0.99996
0.78	0.78230	1.23	0.89065	1.68	0.95352	2.13	0.98341	2.58	0.99506	3.03	0.99878	3.48	0.99975	3.93	0.99996
0.79	0.78524	1.24	0.89251	1.69	0.95449	2.14	0.98382	2.59	0.99520	3.04	0.99882	3.49	0.99976	3.94	0.99996
0.80	0.78814	1.25	0.89435	1.70	0.95543	2.15	0.98422	2.60	0.99534	3.05	0.99886	3.50	0.99977	3.95	0.99996
0.81	0.79103	1.26	0.89617	1.71	0.95637	2.16	0.98461	2.61	0.99547	3.06	0.99889	3.51	0.99978	3.96	0.99996
0.82	0.79389	1.27	0.89796	1.72	0.95728	2.17	0.98500	2.62	0.99560	3.07	0.99893	3.52	0.99978	3.97	0.99996
0.83	0.79673	1.28	0.89973	1.73	0.95818	2.18	0.98537	2.63	0.99573	3.08	0.99896	3.53	0.99979	3.98	0.99997
0.84	0.79955	1.29	0.90147	1.74	0.95907	2.19	0.98574	2.64	0.99585	3.09	0.99900	3.54	0.99980	3.99	0.99997
0.85	0.80234	1.30	0.90320	1.75	0.95994	2.20	0.98610	2.65	0.99598	3.10	0.99903	3.55	0.99981	4.00	0.99997
0.86	0.80511	1.31	0.90490	1.76	0.96080	2.21	0.98645	2.66	0.99609	3.11	0.99906	3.56	0.99981	4.01	0.99997
0.87	0.80785	1.32	0.90658	1.77	0.96164	2.22	0.98679	2.67	0.99621	3.12	0.99910	3.57	0.99982	4.02	0.99997
0.88	0.81057	1.33	0.90824	1.78	0.96246	2.23	0.98713	2.68	0.99632	3.13	0.99913	3.58	0.99982	4.03	0.99997
0.89	0.81327	1.34	0.90988	1.79	0.96327	2.24	0.98745	2.69	0.99643	3.14	0.99916	3.59	0.99983	4.04	0.99997
0.90	0.81594	1.35	0.91149	1.80	0.96407	2.25	0.98778	2.70	0.99653	3.15	0.99918	3.60	0.99984	4.05	0.99997
0.91	0.81859	1.36	0.91309	1.81	0.96485	2.26	0.98809	2.71	0.99664	3.16	0.99921	3.61	0.99985	4.06	0.99998
0.92	0.82121	1.37	0.91466	1.82	0.96562	2.27	0.98840	2.72	0.99674	3.17	0.99924	3.62	0.99985	4.07	0.99998
0.93	0.82381	1.38	0.91621	1.83	0.96638	2.28	0.98870	2.73	0.99683	3.18	0.99926	3.63	0.99986	4.08	0.99998
0.94	0.82639	1.39	0.91774	1.84	0.96712	2.29	0.98899	2.74	0.99693	3.19	0.99929	3.64	0.99986	4.09	0.99998

ANEXO N° 03: TABLA DE DISTRIBUCIÓN NORMAL, ESTIMACIÓN DE “p”

TABLA A: Probabilidades de la normal estándar (cont.)										
z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
0.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
0.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
0.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
0.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
0.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
0.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
0.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
0.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
0.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

**ANEXO N° 04: CONSTANCIA DE REALIZACIÓN DE ENSAYOS EN EL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES “MG. ING. CARLOS
ESPARZA DÍAZ” DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**



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



**El jefe del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de
Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca expide, la siguiente:**

CONSTANCIA

Al Bach. RUBIO TIRADO, CÉSAR DAVID, Exalumno de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, que ha realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz” las siguientes actividades:

ÍTEM	DETALLE
01	Ensayo Contenido de humedad
02	Ensayo Análisis granulométrico
03	Ensayo Peso unitario suelto y compactado
04	Ensayo Peso específico
05	Ensayo de absorción
06	Ensayo material más fino que pasa el tamiz 200
07	Ensayo de resistencia a la degradación, por abrasión e impacto
08	Elaboración de especímenes prismáticos de concreto
09	Ensayo de la resistencia a la compresión en muestras cilíndricas

Para la Tesis Titulada: “**VARIACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO F’C = 280 KG/CM² AL SUSTITUIR EL AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ EN DIFERENTES PORCENTAJES**”. Mencionadas actividades se desarrollaron del 13 de noviembre del 2023 al 29 de febrero del 2024.

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

Cajamarca, 03 de mayo de 2024.

Atentamente:

c.c. a:
_Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Mauro Contreras Vargas
JEFE DEL LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES

ANEXO N° 05: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 9

Toma de muestra de agregado grueso en la cantera “Hermanos Alaya”



Figura 10

Toma de muestra de agregado fino en la cantera “Hermanos Alaya”



Figura 11

Piedra pómez en laboratorio de Ensayo de Materiales



Figura 12

Ensayo de análisis granulométrico de los agregados

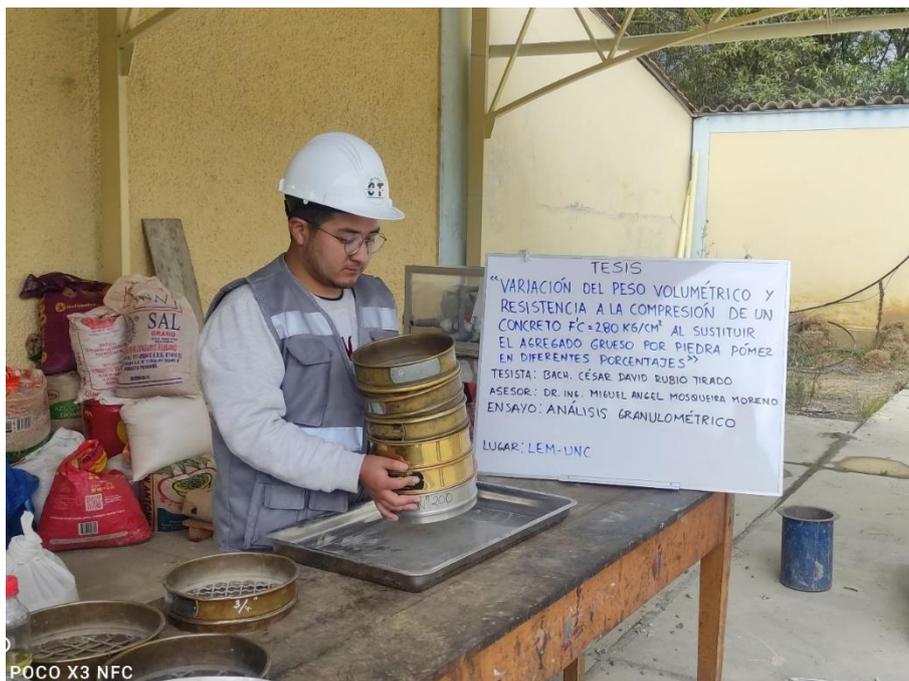


Figura 13

Ensayo de peso unitario de los agregados

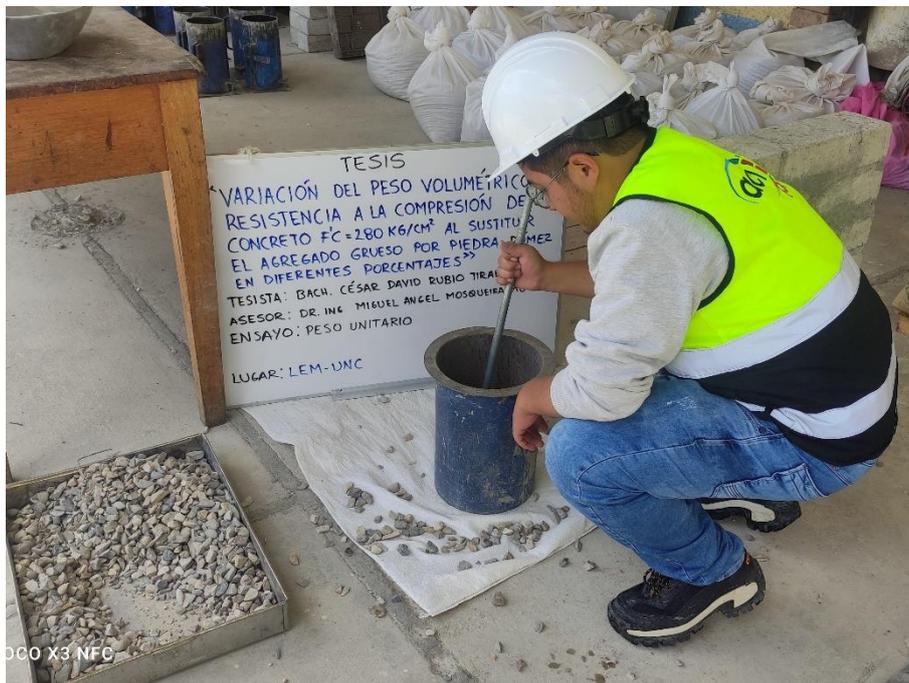


Figura 14

Ensayo de resistencia a la abaración



Figura 15

Ensayo de slump del concreto



Figura 16

Ensayo de slump del concreto patrón



Figura 17

Medición de dimensiones del concreto endurecido



Figura 18

Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días.



Figura 19

Ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días.



Figura 20

Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días.



Figura 21

Especímenes ensayados a compresión a los 28 días.



TESIS
"VARIACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO F' C=280 KG/CM² AL SUSTITUIR EL AGREGADO GRUESO POR PIEDRA PÓMEZ EN DIFERENTES PORCENTAJES"
TESISTA: CÉSAR DAVID RUBIO TIRADO
ASESOR: DR. ING. MIGUEL ÁNGEL MOSQUEIRA MORENO
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
LUGAR : LEM-UNC

Figura 22

Falla tipo 6 de probeta de concreto con sustitución de agregado grueso por 20% piedra pómez a los 28 días.



P3 - PATRÓN 28 DÍAS
20 %

Figura 23

Distribución de los agregados en una probeta ensayada a compresión.

