

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



**“INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE MARMOLINA
EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO F’C 210 KG/CM²”**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. VERA CASANOVA. Robinson Justiniano

ASESOR:

Dr. Ing. MOSQUEIRA MORENO, Miguel Angel

CAJAMARCA - PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** ROBINSON JUSTINIANO VERA CASANOVA
DNI: 75462216
Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL
- Asesor:** Dr. Ing. MIGUEL 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:**
INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE MARMOLINA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO F'C 210 KG/CM2
- Fecha de evaluación:** 15/10/2024
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 21%
- Código Documento: Oid:** 3117:393015413
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 15/10/2024



FIRMA DEL ASESOR

Dr. Ing. MIGUEL MOSQUEIRA MORENO
DNI: 26733060

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



Dra. Yvonne Katherine Fernández León
DIRECTORA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

COPYRIGHT © 2024 by
ROBINSON JUSTINIANO VERA CASANOVA
Todos los derechos reservados

AGRADECIMIENTO

A mis queridos padres, cuyo amor y apoyo incondicional han sido mi mayor fuente de fortaleza y motivación.

A mis hermanos, por estar siempre a mi lado con su comprensión y aliento. Su compañía y estímulo han hecho el camino mucho más agradable.

Al Ing. Miguel Mosqueira Moreno, por su guía experta, paciencia y apoyo inquebrantable. Su orientación y conocimiento han sido cruciales para el desarrollo y culminación de este proyecto, estoy agradecido por su compromiso y dedicación.

A mis amigos, por su apoyo y ánimo durante este viaje. Su presencia y palabras de aliento han sido un gran consuelo y motivación en los momentos más exigentes

DEDICATORIA

A mi querido padre, cuya memoria sigue siendo una fuente constante de inspiración y fortaleza en mi vida. Aunque no estes físicamente, tu amor y sabiduría siguen guiando cada uno de mis pasos.

A mi madre, por su amor incondicional y su apoyo inquebrantable. Tu fortaleza y ternura han sido el ancla que me ha sostenido en los momentos más difíciles.

A mis hermanos, por ser mis compañeros de vida y apoyo constante, compartiendo tanto los momentos de felicidad como los desafíos. Su presencia en mi vida es un regalo invaluable.

A todos ustedes, con todo mi amor y gratitud

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| AGRADECIMIENTO | ii |
| DEDICATORIA | iii |
| ÍNDICE..... | iv |
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| INDICE DE TABLAS | x |
| RESUMEN..... | xiv |
| ABSTRACT..... | xv |
| 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 | 2 |
| 1.6. Limitaciones..... | 3 |
| 1.7. Objetivo de la investigación..... | 3 |
| 1.7.1 Objetivo general | 3 |
| 1.7.2 Objetivo específicos | 3 |
| 1.8. Descripción de los contenidos de los capítulos | 3 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial | 5 |
| 2.1.1. En el ámbito internacional..... | 5 |
| 2.1.2. En el ámbito nacional..... | 5 |
| 2.2. Bases Teóricas | 6 |
| 2.2.1. El concreto..... | 6 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.2. Cemento Portland..... | 7 |
| 2.2.3. Agregados..... | 9 |
| 2.2.4. Propiedades del Concreto Fresco | 14 |
| 2.2.5. Propiedades del Concreto Endurecido | 16 |
| 2.2.6. Marmolina o polvo de mármol..... | 18 |
| 2.3. Definición de términos básicos..... | 20 |
| CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS | 21 |
| 3.1. Ubicación geográfica | 21 |
| 3.1.1. Ubicación geográfica de la investigación..... | 21 |
| 3.1.2. Ubicación geográfica del origen de los agregados..... | 22 |
| 3.1.3. Ubicación geográfica del origen de la marmolina | 23 |
| 3.2. Tiempo de realización de la investigación..... | 23 |
| 3.3. Metodología..... | 23 |
| 3.3.1. Tipo, nivel y diseño de investigación..... | 23 |
| 3.3.2. Variables..... | 24 |
| 3.3.3. Población de estudio..... | 24 |
| 3.3.4. Muestra..... | 24 |
| 3.3.5. Unidad de análisis | 25 |
| 3.3.6. Unidad de Observación | 25 |
| 3.4. Procedimiento de la investigación | 27 |
| 3.4.1. Revisión de la literatura..... | 27 |
| 3.4.2. Selección del agregado..... | 27 |
| 3.4.3. Selección del cemento..... | 27 |
| 3.4.4. Determinación físico-mecánicas del agregado..... | 27 |
| 3.4.5. Diseño de la mezcla Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados | 37 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4.6. Elaboración de probetas | 40 |
| 3.4.7. Curado de probetas..... | 41 |
| 3.4.8. Resistencia..... | 41 |
| 3.5. Presentación de resultados | 43 |
| 3.5.1. Propiedades Físicas y mecánicas de los agregados..... | 43 |
| 3.5.2. Diseño de mezclas..... | 43 |
| 3.5.3. Propiedades del concreto Fresco | 45 |
| 3.5.4. Propiedades del Concreto Endurecido | 45 |
| CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 50 |
| 4.1. Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados | 50 |
| 4.1.1. Granulometría de los agregados | 50 |
| 4.1.2. Peso específico y Absorción | 50 |
| 4.1.3. Peso Unitario de los agregados | 50 |
| 4.1.4. Materiales finos que pasan el tamiz N°200..... | 51 |
| 4.1.5. Abrasión del agregado grueso..... | 51 |
| 4.1.6. Contenido de humedad..... | 51 |
| 4.2. Propiedades del concreto Fresco..... | 51 |
| 4.2.1. Peso unitario del concreto fresco | 51 |
| 4.3. Propiedades del concreto Endurecido..... | 51 |
| 4.3.1. Peso unitario del concreto endurecido | 51 |
| 4.3.2. Resistencia a compresión del concreto..... | 52 |
| 4.3.3. Resistencia a flexión del concreto..... | 52 |
| CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 53 |
| 5.1. Conclusiones | 53 |
| 5.2. Recomendaciones | 54 |

| | |
|---|----|
| CAPITULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 55 |
| ANEXOS..... | 60 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1. Estados de humedad de los agregados | 14 |
| Figura 2. Modelos de Fracturas | 17 |
| Figura 3. Región y distritos de Cajamarca | 21 |
| Figura 4. Vista satelital de la Universidad Nacional de Cajamarca | 22 |
| Figura 5. Procedimiento o esquema de la investigación | 26 |
| Figura 6. Gráfica resistencia a la compresión vs adición de marmolina a los 7 días | 47 |
| Figura 7. Gráfica resistencia a la compresión vs adición de marmolina a los 14 días | 47 |
| Figura 8. Gráfica resistencia a la compresión vs adición de marmolina a los 28 días | 48 |
| Figura 9. Gráfica resistencia a flexión vs adición de marmolina a los 28 días | 49 |
| Figura 10. Curva Granulométrica del agregado fino – Ensayo N°01 | 61 |
| Figura 11. Curva Granulométrica del agregado fino - Ensayo N° 02 | 63 |
| Figura 12. Curva Granulométrica del agregado fino- – Ensayo N° 03 | 65 |
| Figura 13. Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Ensayo N° 01 | 70 |
| Figura 14. Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Ensayo N° 02 | 72 |
| Figura 15. Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Ensayo N° 03 | 74 |
| Figura 16. Gráfica de esfuerzo vs deformación del concreto patrón..... | 103 |
| Figura 17. Gráfica de esfuerzo vs deformación del concreto con adición de marmolina 3%..... | 106 |
| Figura 18. Gráfica de esfuerzo vs deformación del concreto con adición de marmolina 5%..... | 109 |
| Figura 19. Gráfica de esfuerzo vs deformación del concreto con adición de marmolina 7%..... | 112 |
| Figura 20. Gráfica de esfuerzo vs deformación del concreto con adición de marmolina 9%..... | 115 |
| Figura 21. Realización del Ensayo del Peso Unitario Suelto Seco | 125 |

| | |
|---|-----|
| Figura 22. Cuarteo del material | 125 |
| Figura 23. Ensayo con la máquina de los Ángeles | 126 |
| Figura 24. Lavado del material para la muestra de abrasión | 126 |
| Figura 25. Elaboración del ensayo del peso específico del agregado grueso..... | 127 |
| Figura 26. Elaboración de los especímenes cilíndricos..... | 127 |
| Figura 27. Elaboración de los especímenes cilíndricos..... | 128 |
| Figura 28. Especímenes prismáticos con adición de marmolina al 7% | 128 |
| Figura 29. Roturas de probetas a compresión | 129 |
| Figura 30. Rotura de probetas a flexión | 129 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Compuestos del concreto..... | 7 |
| Tabla 2. Compuestos principales del cemento portland | 7 |
| Tabla 3. Tipos de cementos Portland según ASTM C150 | 8 |
| Tabla 4. Tipos de agregados pasados por los tamices normalizados..... | 10 |
| Tabla 5. Límites de granulometría para el agregado grueso (NTP 400.037) | 12 |
| Tabla 6. Límites de granulometría para el agregado fino..... | 13 |
| Tabla 7. Circunstancias que afectan la durabilidad | 16 |
| Tabla 8. Composición mineralógica de una muestra de mármol..... | 18 |
| Tabla 9. Composición química de una muestra de mármol | 19 |
| Tabla 10. Ubicación geografica del proyecto de investigación..... | 21 |
| Tabla 11. Coordenadas UTM del laboratorio “Carlos Esparza Diaz” | 22 |
| Tabla 12. Coordenadas UTM de la Cantera “Aguilar”..... | 23 |
| Tabla 13. Coordenadas UTM del Taller de artesanía“Los Picapedreros” | 23 |
| Tabla 14. Número de muestras proyectadas para ensayos a compresión | 25 |
| Tabla 15. Número de muestras proyectadas para ensayos a flexión | 25 |
| Tabla 16. Propiedades físicas y mecánicas del agregado (Cantera Aguilar)..... | 43 |
| Tabla 17. Materiales de diseño en estado seco por m^3 $f'c=210$ kg/cm ² | 44 |
| Tabla 18. Materiales de diseño corregidos por humedad por m^3 $f'c=210$ kg/cm ² | 44 |
| Tabla 19. Materiales corregidos por m^3 de concreto $f'c= 210$ kg/cm ² con adición de distintos porcentajes de marmolina..... | 45 |
| Tabla 20. Peso Unitario del concreto en estado fresco..... | 45 |
| Tabla 21. Peso Unitario del Concreto endurecido $f'c= 210$ kg/cm ² | 46 |
| Tabla 22. Resistencia a compresión promedio a los 7, 14 y 28 días | 46 |
| Tabla 23. Resistencia a flexión promedio a los 28 días..... | 48 |
| Tabla 24. Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 01 | 60 |

| | |
|--|----|
| Tabla 25. Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 02..... | 62 |
| Tabla 26. Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 03..... | 64 |
| Tabla 27. Ensayo Peso Específico y Absorción del agregado fino | 66 |
| Tabla 28. Ensayo de peso específico del agua y factor F del agregado fino | 66 |
| Tabla 29. Ensayo de peso unitario suelto seco del agregado fino | 67 |
| Tabla 30. Ensayo de peso unitario suelto compacto del agregado fino..... | 67 |
| Tabla 31. Ensayo de partículas que pasa el tamiz N°200 del agregado fino..... | 68 |
| Tabla 32. Ensayo contenido de humedad del agregado fino | 68 |
| Tabla 33. Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 01..... | 69 |
| Tabla 34. Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 02..... | 71 |
| Tabla 35. Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 03..... | 73 |
| Tabla 36. Ensayo Peso Específico y Absorción del agregado grueso | 75 |
| Tabla 37. Ensayo de peso específico del agua y factor F del agregado grueso..... | 75 |
| Tabla 38. Ensayo de peso unitario suelto seco del agregado grueso | 76 |
| Tabla 39. Ensayo de peso unitario suelto compacto del agregado grueso..... | 76 |
| Tabla 40. Ensayo de partículas que pasa el tamiz N°200 del agregado grueso..... | 77 |
| Tabla 41. Ensayo contenido de humedad del agregado grueso | 77 |
| Tabla 42. Ensayo de abrasión del agregado grueso..... | 78 |
| Tabla 43. Volumen unitario de Agua (Rivva, 2013) | 79 |
| Tabla 44. Contenido de aire (Rivva, 2013)..... | 79 |
| Tabla 45. Relación a/c de diseño (Rivva, 2013)..... | 80 |
| Tabla 46. Módulo de fineza de la combinación de agregados (Rivva, 2013) | 80 |
| Tabla 47. Peso unitario del concreto fresco de la muestra patrón con adición de marmolina 3%..... | 87 |
| Tabla 48. Peso unitario del concreto fresco de la muestra con adición de marmolina 5 y 7%..... | 88 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 49. Peso unitario del concreto fresco de la la muestra con adición de marmolina 9%..... | 89 |
| Tabla 50. Peso unitario del concreto endurecido de la muestra patrón y adición de marmolina 3%..... | 90 |
| Tabla 51. Peso unitario del concreto endurecido de la la muestra con adición de marmolina 5 y 7%..... | 91 |
| Tabla 52. Peso unitario del concreto endurecido de la la muestra con adición de marmolina 9%..... | 92 |
| Tabla 53. Resistencia a compresión de la muestra patrón a los 7 días | 93 |
| Tabla 54. Resistencia a compresión de adición de marmolina 3% a los 7 días..... | 93 |
| Tabla 55. Resistencia a compresión de adición de marmolina 5% a los 7 días..... | 94 |
| Tabla 56. Resistencia a compresión de adición de marmolina 7% a los 7 días..... | 94 |
| Tabla 57. Resistencia a compresión de adición de marmolina 9% a los 7 días..... | 95 |
| Tabla 58. Resistencia a compresión de la muestra patrón a los 14 días | 95 |
| Tabla 59. Resistencia a compresión de adición de marmolina 3% a los 14 días..... | 96 |
| Tabla 60. Resistencia a compresión de adición de marmolina 5% a los 14 días..... | 96 |
| Tabla 61. Resistencia a compresión de adición de marmolina 7% a los 14 días..... | 97 |
| Tabla 62. Resistencia a compresión de adición de marmolina 9% a los 14 días..... | 97 |
| Tabla 63. Resistencia a compresión de la muestra patrón a los 28 días | 98 |
| Tabla 64. Resistencia a compresión de adición de marmolina 3% a los 28 días..... | 98 |
| Tabla 65. Resistencia a compresión de adición de marmolina 5% a los 28 días..... | 99 |
| Tabla 66. Resistencia a compresión de adición de marmolina 7% a los 28 días..... | 99 |
| Tabla 67. Resistencia a compresión de adición de marmolina 9% a los 28 días..... | 100 |
| Tabla 68. Deformación y esfuerzo del concreto patrón | 101 |
| Tabla 69. Deformación y esfuerzo del concreto con adición de marmolina 3%..... | 104 |
| Tabla 70. Deformación y esfuerzo del concreto con adición de marmolina 5%..... | 107 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 71. Deformación y esfuerzo del concreto con adición de marmolina 7%..... | 110 |
| Tabla 72. Deformación y esfuerzo del concreto con adición de marmolina 9%..... | 113 |
| Tabla 73. Resistencia a flexión de la muestra patrón a los 28 días | 116 |
| Tabla 74. Resistencia a flexión de adición de la marmolina 3% a los 28 días | 116 |
| Tabla 75. Resistencia a flexión de adición de la marmolina 5% a los 28 días | 117 |
| Tabla 76. Resistencia a flexión de adición de la marmolina 7% a los 28 días | 117 |
| Tabla 77. Resistencia a flexión de adición de la marmolina 9% a los 28 días | 118 |

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal determinar la influencia de la adición de diferentes porcentajes de marmolina en la resistencia mecánica del concreto $f'c = 210$ kg/cm² en la ciudad de Cajamarca, para la cual se llevaron a cabo ensayos utilizando agregados de la cantera Aguilar, cemento portland tipo I y polvo de marmolina. Se elaboraron probetas de concreto de forma cilíndrica para realizar el ensayo de compresión, probetas prismáticas para llevar a cabo el ensayo de flexión, con una muestra patrón y adición de marmolina al 3%, 5%, 7% y 9%. Se determinó que, a los 7 días de realizarse el ensayo de compresión, la variación positiva de 2.59%; a los 14 días se obtuvo la variación positiva de 1.05%; a los 28 días, la variación negativa de 3.31%; y a los 28 días de ser sometido al ensayo de flexión, la variación positiva fue de 7.47%. Se concluye que la adición de marmolina reduce la resistencia mecánica del concreto a medida que transcurre el tiempo.

Palabras clave: concreto, resistencia mecánica, resistencia a compresión, resistencia a flexión, marmolina

ABSTRACT

The main objective of his research is to determine the influence of the addition of different percentages of marble on the mechanical of concrete $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ in the city of Cajamarca, for which test were carried out. Using aggregates from the Aguilar quarry, Portland cement type I and marble powder. Cylindrical concrete specimens were made to carry out the compression test, as well as prismatic specimens to carry out the bending test, with a standard sample and addition of marble at 3%, 5%, 7% and 9%. It was determined that, 7 days after performing the compression test, a positive variation of 2.59% was observed; After 14 days, the positive variation of 1.05% was obtained; at 28 days, a negative variation of 3.31% was recorded; and 28 days after being subjected to the bending test, the positive variation of 7.47%. It was concluded that the addition of marble reduces the mechanical resistance of the concrete as time passes.

Keywords: concrete, mechanical strength, compressive strength, flexural strength, marble

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

En el Perú, el concreto es el material más común en la construcción. Alrededor del 77% de las edificaciones son informales, lo que significa que se realizan sin supervisión técnica, utilizando materiales de baja calidad y sin seguir las normativas establecidas en el país. En el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) E.060, la resistencia mínima del concreto estructural debe ser $f'c=175$ kg/cm². Sin embargo, debido al uso excesivo de agua en las mezclas y otros factores a considerar, el concreto utilizado en las construcciones informales tiende a tener resistencia a compresión promedio de 138 kg/cm². (Garay Pichardo, L., & Quispe Cotrina, C. 2016)

El uso del concreto ofrece varias ventajas a comparación de los diversos materiales, asimismo tiene características que se pueden mejorar como es la resistencia mecánica, lo que limita su uso en trabajos de compresión y flexión. Por esta razón, muchos investigadores están trabajando en encontrar distintas alternativas para mezclar con concreto que puede influir en las características del concreto. (Jaimes. E., & García., C. 2020).

El cemento, como componente esencial del concreto, es fundamental para proporcionar la resistencia, su proporción varía en función de la dosificación y la resistencia requerida. Aunque el cemento es difícil de sustituir debido a sus propiedades, existen materiales con componentes químicos similares que pueden reemplazar una parte del cemento en la mezcla del concreto. (Goicochea. T., & Inga. C. 2018)

Los enfoques recientes para optimizar las propiedades del concreto es la incorporación de materiales reciclados o alternativos en la mezcla, En este contexto, la marmolina, un agregado fino derivado de la trituración de mármol, ha ganado atención como un posible aditivo para mejorar las propiedades del concreto. La resistencia mecánica del concreto, es un factor crítico que determina su capacidad para soportar cargas y su durabilidad en aplicaciones estructurales. La adición de marmolina en diferentes porcentajes puede influir en esta propiedad, afectando la resistencia del concreto.

En la ciudad de Cajamarca en el caserío de Huambocancha se han especializado en esculpir su arte en piedra, granito y marmolina; asimismo estos materiales son utilizados para decorar fachadas de nichos (trabajos funerarios) generando desperdicios de estos materiales,

como alternativa para el uso de estos residuos son mejorar los procedimientos constructivos y la resistencia mecánica del concreto.

Este problema se manifiesta en la necesidad de entender si la adición de la marmolina en la mezcla del concreto puede mejorar, mantener o reducir la resistencia mecánica del concreto, y en qué medida los diferentes porcentajes de marmolina influyen en esta propiedad.

1.2. Formulación del problema

¿En cuánto influye la adición de diferentes porcentajes de marmolina en la resistencia mecánica del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$?

1.3. Hipótesis general

La adición de diferentes porcentajes de marmolina incrementa la resistencia mecánica del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en un 10%.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

La presente investigación permite fortalecer y ampliar el conocimiento en el área de concreto y reutilización de materiales, además esta investigación es un aporte importante como fuente de información a los estudiantes, profesionales y constructores. Asimismo, contribuye al avance tecnológico del estudio del concreto a través de la investigación que busca incorporar este nuevo material (marmolina).

1.5. Alcances o delimitación de la investigación

La presente investigación se llevó a cabo en la ciudad de Cajamarca, provincia y región de Cajamarca, en el cual se determinó la influencia de la adición de diferentes porcentajes de adición de marmolina en la resistencia mecánica del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con porcentajes de 3%, 5%, 7% y 9%; los ensayos fueron realizados en el laboratorio de Ensayos de Materiales “Carlos Esparza Díaz” de la Universidad Nacional de Cajamarca.

En la investigación se evaluó las propiedades mecánicas del concreto, que son la resistencia a compresión y flexión; el tipo de cemento que se utilizó es el portland tipo I, los agregados usados en la elaboración del concreto fueron obtenidos de la cantera Aguilar, la resistencia requerida del concreto fue 210 kg/cm^2 , para la fabricación de las probetas de concreto.

1.6. Limitaciones

No se realizó el análisis químico del polvo de la marmolina.

No se realizó el estudio de la adherencia entre el polvo de la marmolina y el cemento.

No se realizó el análisis de la resistencia al desgaste de la marmolina y el cemento.

1.7. Objetivo de la investigación

1.7.1 Objetivo general

Determinar la influencia con la adición de diferentes porcentajes de marmolina en la resistencia mecánica del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

1.7.2 Objetivo específicos

Determinar la variación de la resistencia promedio a compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la adición de diferentes porcentajes de marmolina (3%, 5%, 7%, 9%) y la muestra patrón a los 7 días.

Determinar la variación de la resistencia promedio a compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la adición de diferentes porcentajes de marmolina (3%, 5%, 7%, 9%) y la muestra patrón a los 14 días.

Determinar la variación de la resistencia promedio a compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la adición de diferentes porcentajes de marmolina (3%, 5%, 7%, 9%) y la muestra patrón a los 28 días.

Determinar la variación de la resistencia promedio a flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la adición de diferentes porcentajes de marmolina (3%, 5%, 7%, 9%) y la muestra patrón a los 28 días.

1.8. Descripción de los contenidos de los capítulos

Primer capítulo, ***“Introducción”*** describe el planteamiento del problema, la formulación del problema, hipótesis general, justificación de la investigación, alcances y delimitación, limitaciones, objetivos de la investigación y la descripción de los contenidos.

Segundo capítulo, ***“Marco Teórico”*** contempla las investigaciones internacionales y nacionales, también expone las bases teóricas y definición de los términos.

Tercer capítulo, ***“Materiales y Métodos”*** describe el procedimiento que se utiliza en la investigación y los resultados de los ensayos realizados para determinar la resistencia a compresión y flexión.

Cuarto capítulo, ***“Análisis y discusión de los resultados”***, describe el análisis y comparación de los resultados realizados en el laboratorio en base a los datos de la literatura.

Quinto capítulo, ***“Conclusiones y recomendaciones”***, describe la conclusión del autor de la investigación, así como recomendaciones para ampliar el conocimiento en el tema de investigación.

Sexto capítulo, ***“Referencias bibliográficas”***, describe las citas bibliográficas que han aportado a la investigación.

En ***“Anexos”***, describe las propiedades físicas de los agregados, las tablas para el diseño de mezclas del concreto, propiedades del concreto, resultados de los ensayos de la resistencia a compresión y flexión, la ficha técnica del cemento Pacasmayo portland tipo I y la marmolina, constancia del uso del laboratorio y el panel fotográfico.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial

2.1.1. En el ámbito internacional

En la revista de materials science and engineering, (Hidayawanti, R. Yhuanah., Mayasari, D. & Wicaksono, B.2020) en su investigación “*El efecto de mármol – arena y residuos de mármol para la resistencia del concreto*” tuvo como objetivo determinar la resistencia a la compresión y el contenido de absorción de agua entre el concreto fino y grueso, realizó las variaciones de composición de mármol de desecho de 0%, 25%, 50%, 75% y 100% para el agregado grueso y 40% mármol- arena de agregado fino. Concluyen en la investigación que obtiene mayor resistencia en la variación de 50% de mármol de desecho con el 40% mármol arena de agregado fino, además, el valor óptimo de absorción del agua de 1.77%.

En la revista International Journal of Concrete Structures and Materials, (Ahmad, J., Zhoud., Z & Farouk D. 2023) en su investigación “*Hormigón autocompactante con sustitución parcial de residuos de mármol: una revisión*” realiza una revisión de la sustitución de los residuos de mármol en el concreto, en el que la composición química del mármol es similar a la del cemento por lo que es de credibilidad para ser utilizado como aglutinante en el concreto autocompactante, así mismo las propiedades de resistencia del concreto autocompactante disminuye con el reemplazo de mármol, sin embargo hasta una sustitución del 20% de mármol mantiene la resistencia y durabilidad del concreto. El uso de los residuos de mármol proporciona múltiples beneficios en términos de aprovechamiento de los residuos, bajo costo, mayor resistencia y durabilidad del concreto.

2.1.2. En el ámbito nacional

Cruz, O. (2017) en su investigación “*Comparación de la resistencia mecánica a la compresión del concreto elaborado con residuos de mármol*”. La investigación es experimental, prospecto y de corte longitudinal, tuvo como objetivo hacer una comparación del concreto tradicional y el concreto elaborado con residuos de mármol, para determinar sus propiedades más determinantes del concreto (concreto en estado fresco y endurecido), por lo que estudió las propiedades de los agregados, normativa peruana e internacional. En la investigación concluye que el comportamiento del concreto elaborado con residuos de mármol es más óptima que el concreto tradicional, el concreto tradicional obtuvo una resistencia de 268.01 kg/cm² y el concreto con

adición de mármol alcanzó una resistencia de 279.18 kg/cm², al incorporar residuos de mármol al 0%, 10% y 20% influye positivamente a la resistencia a compresión.

Goicochea. T., & Inga. C. (2018) en su investigación “*La marmolina y su influencia en las propiedades de concreto de alta resistencia $f'c=350$ kg/cm² y 400 kg/cm² para la ciudad de Trujillo*” tuvo como objetivo determinar la influencia de la marmolina en las propiedades del concreto, la investigación fue cuantitativa, experimental y de corte transversal; con una población de 176 probetas. Concluyo que se obtuvo un asentamiento de 4” como máximo y 3.2 “como mínima, cuando se añadió el porcentaje de la marmolina el peso unitario se incrementó ya que este llenaba los espacios vacíos y el concreto resulta más compacto y la resistencia a la compresión se incrementó en un 10% a la edad de 28 días.

Quiliche, N. (2018). En su investigación “*Influencia del polvo de mármol y superplastificante sobre la compresión, porosidad, capacidad al paso y relleno de un concreto autocompactante, Trujillo 2018*” tuvo como objetivo evaluar la influencia de la adición de polvo de mármol y superplastificante sobre la compresión, porosidad, capacidad al paso y relleno de un concreto autocompactante. La investigación es experimental, cuasi-experimental; en su muestra analiza 120 probetas en estado endurecido para la resistencia a compresión, 60 probetas para porosidad, y 9 probetas patrón; teniendo un total de 189 probetas. Concluye que la interacción del polvo de mármol mejora las propiedades del concreto, logra un mejor rendimiento en estado fresco y endurecido con un 0.35% de superplastificante; la mezcla muestra el mejor comportamiento en estado fresco y endurecido fue con un 0.45% de superplastificante y un 2.00% de polvo de mármol.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. El concreto

El concreto es un material de construcción fundamental que se compone principalmente de agua, agregados como grava y arena, cemento y aire. Su resistencia aumenta con el pasar del tiempo debido a la reacción química que tiene lugar entre el agua y cemento, lo que resulta en un proceso de endurecimiento gradual. Se puede agregar otros materiales para modificar las propiedades finales, que pueden mejorar las propiedades como la resistencia y trabajabilidad del concreto. (Ortega García, 2017)

Tabla 1.*Compuestos del concreto*

| Con aire atrapado naturalmente (%) | Componente | | Con aire incluido intencionalmente (%) |
|---|-------------------|-------------------------|---|
| 0.5 a 3 | Pasta del cemento | Aire | 4 a 8 |
| 7 a 15 | | Cemento | 7 a 15 |
| 16 a 21 | | Agua | 14 a 18 |
| 26 a 30 | Agregados | Arena o agregado fino | 25 a 30 |
| 26 a 50 | | Grava o agregado grueso | 30 a 50 |

Fuente: Matallana Rodríguez, 2019.

2.2.2. Cemento Portland

El cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, que le otorgan la capacidad de unir fragmentos minerales para formar una masa compacta. Los cementos usados en la producción del concreto tienen la capacidad de fraguar y endurecer cuando están expuestos o sumergidos en agua, debido a una reacción química con ella. Por esta razón, se les conoce como cementos hidráulicos. (Neville, 2013)

2.2.2.1. Composición del cemento

Los componentes básicos empleados en la producción del cemento Portland son principalmente cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Estos elementos reaccionan entre sí en un horno para dar lugar a una serie de productos más complejos, hasta que se alcanza un equilibrio químico. (Neville, 2013)

Tabla 2.*Compuestos principales del cemento portland*

| Compuesto | Fórmula química | Abreviatura usada |
|----------------------------|--|--------------------------|
| Silicato tricálcico | 3CaO SiO ₂ | C ₃ S |
| Silicato bicálcico | 2CaO SiO ₂ | C ₂ S |
| Aluminato tricálcico | 3CaO Al ₂ O ₃ | C ₃ A |
| Ferroluminato tetracálcico | 4CaO Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ | C ₄ AF |

Fuente: Matallana Rodríguez, 2019.

2.2.2.2. Tipos de Cemento Portland

Se producen diversos tipos de cemento Portland para cumplir con los requisitos físicos y químicos específicos para diferentes propósitos o usos. Las especificaciones y métodos de prueba para estos tipos de cemento se detallan en las normativas de la American Society for Testing and Materials (ASTM) y en la norma C-150 de la Canadian Estándar Association (CSA). (Ortega García, 2017)

Tabla 3.

Tipos de cementos Portland según ASTM C150

| Tipo de cemento | Uso | Ejemplo de uso |
|-----------------|---|---|
| I | Cuando no es requerida ninguna de las propiedades especiales de los otros elementos | Estructuras de concreto en general como vigas, columnas, losas y muros entre otras, donde no son requeridas propiedades especiales de los demás cementos. |
| II | Cuando precisa moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación | Estructuras de drenaje, donde las concentraciones de sulfatos en aguas subterráneas son moderadas. Estructuras de masa considerable, como en muros de contención o cimentaciones masivas. Aguas freáticas o de infiltración, con moderadas concentraciones de sulfatos. |
| III | Cuando se requieren altas resistencias iniciales | En estructuras donde hay que desformaletar pronto, como estructuras industrializadas, o cuando la estructura debe ponerse al servicio rápidamente |
| IV | Cuando es necesario bajo calor de hidratación | Para estructuras de concreto masivo, como grandes presas, donde existen altas diferencias de temperatura entre el interior y la parte externa de la estructura. |
| V | Cuando necesita alta resistencia a los sulfatos | Para estructuras en contacto con suelos o aguas con alto contenido de sulfatos. |

Fuente: Matallana Rodríguez, 2019.

2.2.2.3. Propiedades del cemento

2.2.2.3.1. Finura o fineza

La finura del polvo se expresa mediante su superficie específica, medida en m^2/kg . A medida que la finura aumenta, también lo hace el calor de hidratación, la resistencia y el volumen. (Torre Carrillo, 2004)

2.2.2.3.2. *Peso específico*

Es el peso del cemento por unidad de volumen, es expresado gr/cm^3 . Este valor se determina mediante el ensayo del frasco de Le Chatelier, como se indica en la NTP 334.005 (Torre Carrillo, 2004)

2.2.2.3.3. *Tiempo de fraguado*

El tiempo de mezclado (agua con cemento) y la solidificación de la pasta se mide en minutos. Se calcula utilizando dos métodos de prueba: la prueba de Aguja de Vicat (NTP 334.006) y Agujas de Gillmore (NTP 334.056). (Torre Carrillo, 2004)

2.2.2.3.4. *Contenido de aire*

Esta medida evalúa la cantidad de aire retenido en el mortero, expresada como porcentaje del volumen total. En laboratorio se determina mediante el ensayo “Pesos y volúmenes absolutos de mortero C-A en molde cilíndrico estándar: NTP 334.048. Es importante destacar que el concreto con aire atrapado tiende a tener una reducción de la resistencia. (Torre Carrillo, 2004)

2.2.2.3.5. *Calor de Hidratación*

Se refiere al calor producido por la reacción del cemento y agua durante la hidratación. Se expresa en cal/gr , en laboratorio se determina mediante “Ensayo del Calorímetro de Langavant o el de la Botella Aislante”: NTP 334.048. (Torre Carrillo, 2004)

2.2.3. *Agregados*

Los morteros y concretos hidráulicos contienen un alto porcentaje de agregados que pueden variar entre 50 % y 80% en volumen. Muchas de las propiedades de estas mezclas de mortero dependen en gran medida de las características y propiedades de los agregados utilizados. (Rivera L, 2012)

Según la norma técnica peruana NTP 400.011 (2020), los agregados son componentes fundamentales en el concreto, y su calidad está estrechamente relacionada con el origen, pudiendo ser naturales o artificiales. Estos materiales inertes están compuestos por minerales cuyas dimensiones deben estar dentro de los límites establecidos por la norma en función a la granulometría.

Tabla 4.

Tipos de agregados pasados por los tamices normalizados

| 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

2.2.3.1. Clasificación de los agregados

La clasificación más común de los agregados se basa en su tamaño, y esta distribución de partículas se denomina granulometría.

2.2.3.1.1 Agregado fino

La NTP 400.011 (2020) define al agregado fino como el material que se obtiene de la descomposición natural o artificial de la roca, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 75 mm (No. 200), puede clasificarse en arena fina y arena gruesa tomando en cuenta el módulo de finura.

2.2.3.1.2. Agregado grueso

La NTP 400.011 (2020) define al agregado grueso como la fracción de agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N° 04), se incluye en esta categoría el concreto reciclado, concreto chancado, piedra chancada y la grava.

2.2.3.2 Propiedades de los agregados

Al tener el componente mayoritario, es crucial que los agregados posean características adecuadas que se alineen con las funciones del concreto. Además, estos influyen en las propiedades, características y el comportamiento del concreto. (Matallana, 2019)

2.2.3.2.1. Granulometría

Se conoce como granulometría a la distribución por tamaños de las partículas en un agregado, expresada como el porcentaje en peso de cada tamaño con respecto al peso total de la muestra. Se sugiere que los agregados a utilizar para producir concreto tengan una distribución de tamaño continua. Los requisitos y límites están definidos en las normas NTP 400.037 y ASTM C33.

Tabla 5.

Límites de granulometría para el agregado grueso (NTP 400.037)

| Huso | Tamaño máximo nominal | Porcentaje que pasa por los tamices normalizados | | | | | | | | | | | | | |
|------|--|--|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | 100 mm (4 pulg) | 90 mm (3 ½ pulg) | 75 mm (3 pulg) | 63 mm (2 ½ pulg) | 50 mm (2 pulg) | 37.5 mm (1 ½ pulg) | 25.0 mm (1 pulg) | 19.0 mm (3/4 pulg) | 12.5 mm (1/2 pulg) | 9.5 mm (3/8 pulg) | 4.75 mm (No. 4) | 2.36 mm (No. 8) | 1.18 mm (No. 16) | 300 µm (No. 50) |
| 1 | 90 mm a 37.5 mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg) | 100 | 90 a 100 | ... | 25 a 60 | ... | 0 a 15 | ... | 0 a 5 | ... | ... | ... | ... | ... | |
| 2 | 63 mm a 37.5 mm (2 ½ pulg a 1 ½ pulg) | ... | ... | 100 | 90 a 100 | 35 a 70 | 0 a 15 | ... | 0 a 5 | ... | ... | ... | ... | ... | |
| 3 | 50 mm a 25.0 mm (2 pulg a 1 pulg) | ... | ... | ... | 100 | 90 a 100 | 35 a 70 | 0 a 15 | ... | 0 a 15 | ... | ... | ... | ... | |
| 357 | 50 mm a 4.75 mm (2 pulg a No. 4) | ... | ... | ... | 100 | 95 a 100 | ... | 35 a 70 | ... | 10 a 30 | ... | 0 a 5 | ... | ... | |
| 4 | 37.5 mm a 19.0 mm (1 ½ pulg a 3/4 pulg) | ... | ... | ... | ... | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 5 | ... | 0 a 5 | ... | ... | ... | |
| 467 | 37.5 mm a 4.75 mm (1 ½ pulg a No. 4) | ... | ... | ... | ... | 100 | 95 a 100 | ... | 35 a 70 | ... | 10 a 30 | 0 a 5 | ... | ... | |
| 5 | 25.0 mm a 12.5 mm (1 pulg a 1/2 pulg) | ... | ... | ... | ... | ... | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 10 | 0 a 5 | ... | ... | ... | |
| 56 | 25.0 mm a 9.5 mm (1 pulg a 3/8 pulg) | ... | ... | ... | ... | ... | 100 | 90 a 100 | 40 a 85 | 10 a 40 | 0 a 15 | 0 a 5 | ... | ... | |
| 57 | 25.0 mm a 4.75 mm (1 pulg a No. 4) | ... | ... | ... | ... | ... | 100 | 95 a 100 | ... | 25 a 60 | ... | 0 a 10 | 0 a 5 | ... | |
| 6 | 19.0 mm a 9.5 mm (3/4 pulg a 3/8 pulg) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 15 | 0 a 5 | ... | ... | |
| 67 | 19.0 mm a 4 mm (3/4 pulg a No. 4) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 100 | 90 a 100 | ... | 20 a 55 | 0 a 10 | 0 a 5 | ... | |
| 7 | 12.5 mm a 4.75 mm (1/2 pulg a No. 4) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 100 | 90 a 100 | 40 a 70 | 0 a 15 | 0 a 5 | ... | |
| 8 | 9.5 mm a 2.36 mm (3/8 pulg a No. 8) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 100 | 85 a 100 | 10 a 30 | 0 a 10 | 0 a 5 | |
| 89 | 12.5 mm a 9.5 mm (1/2 pulg a 3/8 pulg) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 5 a 30 | 0 a 10 | |
| 9 | 4.75 mm a 1.18 mm (No. 4 a No. 16) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 100 | 85 a 100 | 10 a 40 | 0 a 10 | |

Fuente: NTP 400.037

Tabla 6.

Límites de granulometría para el agregado fino

| Tamiz estándar (abertura cuadrada) | Porcentaje que pasa |
|---------------------------------------|------------------------|
| 3/8" (9.5 mm) | 100 |
| N°4 (4.75 mm) | 95 a 100 |
| N°8 (2.36 mm) | 80 a 100 |
| N°16 (1.18 mm) | 50 a 85 |
| N°30 (600 μm) | 25 a 60 |
| N°50 (300 μm) | 5 a 30 |
| N°100 (150 μm) | 0 a 10 |

Fuente: NTP 400.037

Tamaño Máximo (TM)

Esta característica del agregado grueso se refiere a la abertura del tamiz más pequeño que permite que todas las partículas del agregado pasen a través de él. El tamaño máximo se refiere a las partículas más grandes del material. (Matallana, 2019)

Tamaño Máximo Nominal (TMN)

El Tamaño Máximo Nominal es el tamiz que está justo por encima del que retiene el 15% o más del material. El TMN es la representación del promedio de los fragmentos más grandes. (Matallana, 2019)

2.2.3.2.2. Módulo de Finura

Se obtiene sumando los porcentajes acumulados del material retenido en los tamices de la serie especificada, que siguen con la relación 1:2, desde el tamiz N°100 hasta el tamiz N° 04 y dividido por 100. (Matallana, 2019)

2.2.3.2.3. Peso Unitario

También conocido como peso volumétrico, se refiere al peso que ocupa un determinado volumen unitario, típicamente expresado en kg/cm^3 . Este valor puede variar según las características como la forma, granulometría y tamaño máximo. Además, depende de factores externos como la relación entre el tamaño máximo de las partículas y el volumen del recipiente usado, así como la forma en que se coloca el material. Se distinguen dos tipos de peso unitario: suelto y compacto, que está estipulado en la NTP 400.017.

2.2.3.2.4. Absorción

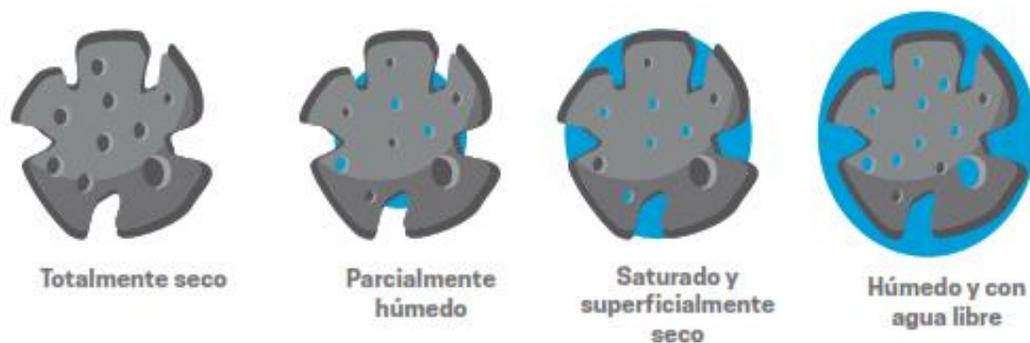
Es la capacidad que tienen los agregados de retener agua en sus poros debido a la capilaridad. Esto puede afectar al concreto al influir en la cantidad de agua disponible lo que a su vez puede afectar propiedades importantes como la trabajabilidad y resistencia, que esta estipulado en las normas NTP 400.021 y NTP 400.022.

2.2.3.2.5. Contenido de humedad

El contenido de humedad se refiere a la cantidad de agua presente en un material (agregado) en su estado natural, y puede variar dependiendo del tiempo y las condiciones ambientales. Esta característica es crucial porque puede influir en la relación a/c del diseño de la mezcla, lo que a su vez afecta la resistencia, trabajabilidad y otras propiedades del concreto. Por tanto, es fundamental determinar este valor para poder realizar ajustes necesarios según sea el diseño de concreto, Este procedimiento está estipulado en las normas NTP 339.85 – ASTM C566-13.

Figura 1.

Estados de humedad de los agregados



Fuente: Matallana Rodríguez, 2019.

2.2.3.2.6. Resistencia a la Abrasión

Se describe como la resistencia de los agregados a las fuerzas de impacto, abrasión y frotamiento. Se calcula en función de la disminución de material fino y se expresa como porcentaje de pérdida de peso con respecto la muestra original. Este procedimiento está estipulado en la NTP 400.019: 2020.

2.2.4. Propiedades del Concreto Fresco

2.2.4.1. Segregación

Según Chouhan (2020), la segregación se refiere a la separación de los materiales constituyentes del concreto, mientras que un concreto de buena calidad es aquel en que todos los

materiales están distribuidos de manera uniforme para formar una mezcla homogénea. La principal causa de la segregación en el concreto son las diferencias significativas en el tamaño y la densidad de los materiales, lo que provoca que el agregado se separe de la pasta y genera la segregación.

2.2.4.2. Trabajabilidad

American Concrete Institute (ACI) define a la trabajabilidad del concreto como la propiedad que indica la facilidad y uniformidad con la que se puede mezclar, colocar, compactar y acabar el concreto recién mezclado. La consistencia se refiere a la factibilidad con la que el concreto recién mezclado puede fluir, representando la movilidad relativa desde mezclas más secas hasta las más fluidas. Factores que afectan la trabajabilidad del concreto:

- Relación a/c (agua -cemento)
- Tipos de cemento, agregado grueso, agregado fino
- Estado del tiempo, clima.

2.2.4.3. Asentamiento

Cordero Esteves (2019) el asentamiento, también conocido como Slump, es una medida que está relacionada directamente con la trabajabilidad y la consistencia del concreto recién mezclado. Se realiza compactando una muestra de concreto fresco en un molde cónico y después se mide el asentamiento de la mezcla una vez retirado el molde. Esta prueba está íntimamente ligada al grado de fluidez

2.2.4.4. Exudación

Según Diaz Tapia (2023) la exudación puede ser causada por una dosificación incorrecta de la mezcla, un exceso de agua, uso de aditivos, y la temperatura, por lo que, a mayor temperatura, mayor es la velocidad de exudación. La exudación se refiere a la liberación de líquido o un material viscoso, que es expulsada a través de grietas o aberturas de la superficie.

2.2.4.5. Peso unitario del concreto

Según Matallana (2019), el peso unitario del concreto está determinado por la forma y disposición de las partículas de sus componentes. Se expresa comúnmente en kg/m³. Este valor depende de factores como la densidad de los agregados, la cantidad de aire atrapado, la relación a/c.

2.2.5. *Propiedades del Concreto Endurecido*

2.2.5.1. Durabilidad

Según Loya Olivera (2018), la durabilidad del concreto se refiere a la capacidad para resistir los efectos de la intemperie, ataques químicos, abrasivos, y otros procesos de deterioro. Es fundamental que el concreto mantenga su forma original, calidad y capacidad de uso cuando está expuesto al medio ambiente, tal como fue diseñado.

Tabla 7.

Circunstancias que afectan la durabilidad

| Circunstancias que afectan la durabilidad | |
|--|---|
| Mecánicas | Vibraciones, sobrecargas, impacto, choques. |
| Físicas | Oscilaciones térmicas, ciclos de hielo y deshielo, fuego, causas higrométricas. |
| Químicas | Contaminación atmosférica, aguas filtradas, terrenos agresivos. |
| Biológicas | Vegetación o microorganismos. |

Fuente: Torre Carrillo, 2004

2.2.5.2. Curado

Según Zemajtis (2018), el proceso de curado desempeña un papel crucial en el fortalecimiento del concreto. Este proceso implica mantener las condiciones adecuadas de humedad y temperatura inmediatamente después del fraguado, en toda el área de contacto de la superficie, durante periodos prolongados. Un concreto curado asegura que el concreto mantenga la humedad necesaria para una hidratación continua y el desarrollo óptimo de la resistencia.

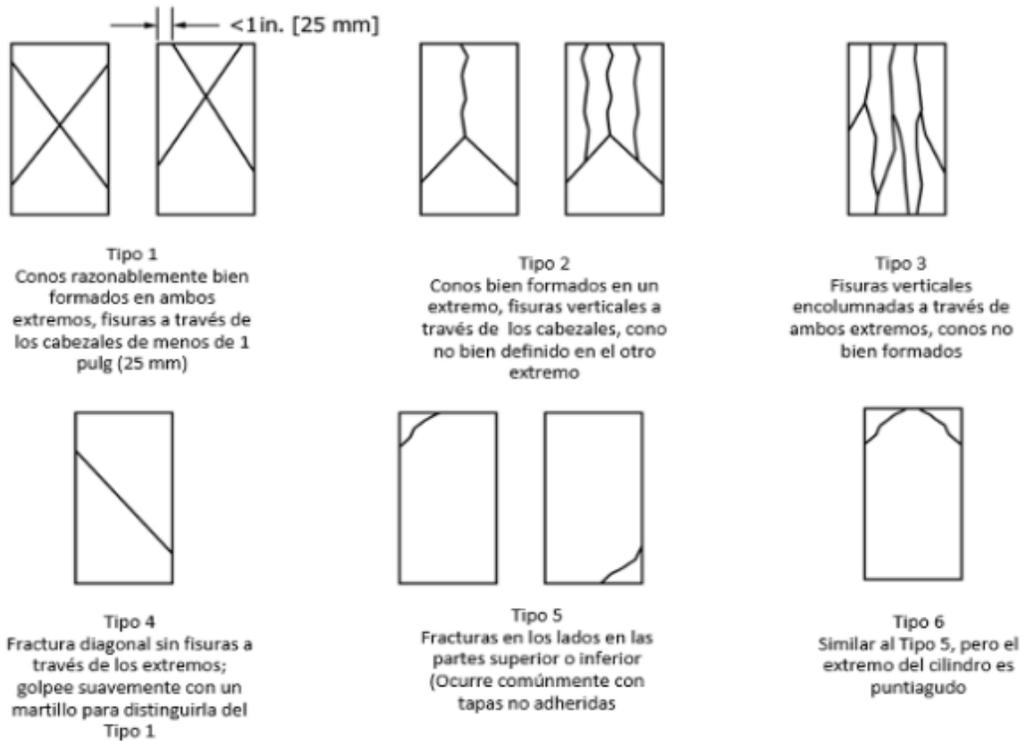
El curado es un procedimiento para mantener niveles óptimos de humedad y temperatura en una mezcla de cemento recién colocada. Esto favorece la hidratación del cemento hidráulico y las reacciones puzolánicas, promoviendo así las propiedades del concreto. Estas medidas buscan evitar la contracción prematura. (NTP 339.047, 2019)

2.2.5.3. Resistencia a compresión

Hunker (2019), señala que el concreto posee una alta resistencia a la compresión, lo que significa que puede soportar elevados pesos o fuerzas. Además, esta resistencia aumenta con el tiempo. Aunque el concreto comienza a solidificarse en pocas horas y a endurecerse en pocos días, sigue ganando resistencia durante al menos 28 días.

Figura 2.

Modelos de Fracturas



Fuente: NTP 339.034, 2011

2.2.5.4. Resistencia a la flexión

Neville (2013), la resistencia a la flexión se evalúa mediante una prueba en la que una viga de concreto se somete a flexión mediante una carga de dos puntos simétrica hasta que se produce la falla. Dado que los puntos de carga están espaciados a un tercio del claro libre, esta prueba se conoce como prueba de carga en los tercios. El máximo esfuerzo de tracción teórico alcanzado en la fibra inferior de la viga de prueba se denomina módulo de ruptura.

2.2.6. Marmolina o polvo de mármol

La marmolina es el material resultante de los residuos del mármol tras realizar tallados, laminados o cortes, y se distingue por tener estructura fina, también contiene partículas cristalizadas que mejoran su manejabilidad. (Goicochea & Inga. 2018)

El polvo de mármol contiene una cantidad significativa de carbonato de calcio, que se puede agregar a morteros y concretos que utilizan cemento portland para mejorar su durabilidad, actúa como un material de relleno de los poros. (Singh, et al., 2017)

2.2.6.1. Características de la Marmolina

Las características físicas, como la gravedad específica, la absorción, la distribución del tamaño de las partículas, la finura, la humedad y la densidad, son algunas de las características físicas de la marmolina que ayudan a definir su idoneidad para su uso en el concreto. (Ofuyatan et al., 2019).

2.2.6.2. Composición química del polvo de mármol

La composición química y mineralógica de una muestra de mármol

Tabla 8.

Composición mineralógica de una muestra de mármol

| Mármol | | | |
|----------------------|--------------|----------------|----------|
| Clasificación | Grupo | Mineral | % |
| Tectosilicato | Plagioclasa | Albita | 0.41 |
| Carbonatos | Calcita | Calcita | 98.92 |
| Óxidos e Hidróxidos | Silice | Cuarzo | 0.67 |

Fuente: Carpio Ronquillo & Chong Kam (2018)

Tabla 9.*Composición química de una muestra de mármol*

| Mármol | |
|--------------------------------|----------|
| Elemento | % |
| Al ₂ O ₃ | 0.07 |
| CaO | 55.04 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.1 |
| K ₂ O | 0.02 |
| MgO | 0.81 |
| MnO | 0.01 |
| Na ₂ O | 0.03 |
| P ₂ O ₅ | 0.01 |
| SiO ₂ | 0.29 |
| TiO ₂ | 0.01 |
| LOI* | 43.12 |
| Otros | 0.02 |
| Total | 99.53 |

Fuente: Carpio Ronquillo & Chong Kam (2018)

2.2.6.3 Usos de la marmolina

Entre los usos más frecuentes de los residuos de mármol se pueden mencionar: su aplicación en la industria del cemento, como desulfurante, en la industria del papel, en la producción de pinturas, donde mejora las características reológicas de la emulsión. Además, se usa en la agricultura para disminuir la acidez del suelo, en la fabricación de elementos prefabricados en la construcción, en la creación de mármol artificial, objetos de decoración y en la restauración de elementos constructivos; el polvo de mármol es una adición eficaz para mejorar la cohesión en las mezclas. (Santos, A., Villegas, N & Betancourt, J. 2012)

2.3. Definición de términos básicos

-Concreto: Es una combinación de material aglomerante que resulta de una pasta (agua y cemento) junto con agregados finos y gruesos. En el caso del concreto común, el material aglomerante suele ser el cemento portland y el agua, aunque también puede incluir puzolanas, escorias y/o aditivos químicos. (NTP 339.047, 2019)

-Resistencia mecánica: Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación a tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta (cemento y agua). (Matallana, 2019)

- Resistencia a la compresión: Se refiere a la máxima resistencia que puede soportar un espécimen de concreto o mortero bajo carga axial. Se expresa en kg/cm² y se determina mediante pruebas de especímenes de mortero o concreto. (Matallana, 2019)

- Resistencia a la flexión: Es la capacidad del concreto para resistir cargas aplicadas a lo largo de su eje longitudinal. Además, existen métodos para calcular la resistencia a la flexión de vigas apoyadas de forma simple. (NTP 339.078, 2017)

- Marmolina: Es el material resultante de los residuos del mármol tras realizar tallados, laminados o cortes, y se distingue por tener estructura fina, también contiene partículas cristalizadas que mejoran su manejabilidad. (Goicochea & Inga ,2018)

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

Tabla 10.

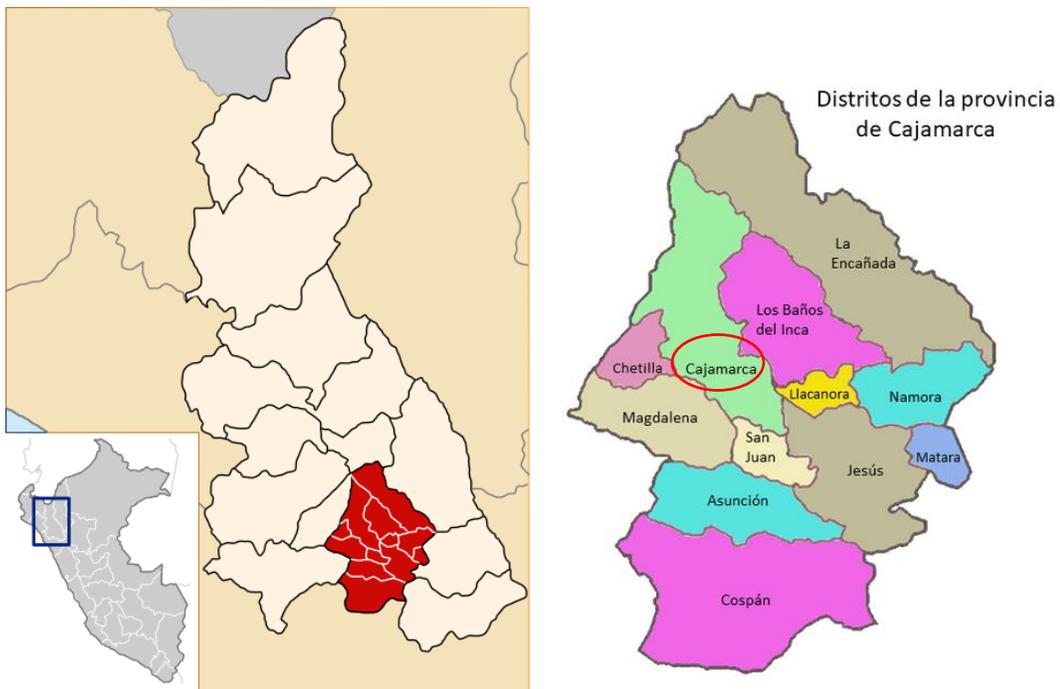
Ubicación geográfica del proyecto de investigación

| Ubicación geográfica | |
|----------------------|-----------|
| País | Perú |
| Departamento | Cajamarca |
| Provincia | Cajamarca |
| Distrito | Cajamarca |

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.

Región y distritos de Cajamarca



Fuente: Wikipedia

3.1.1. Ubicación geográfica de la investigación

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca de la Facultad de Ingeniería y Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz”, ubicada en Av. Atahualpa N ° 1050, Cajamarca, Perú.

Tabla 11.

Coordenadas UTM del laboratorio "Carlos Esparza Diaz"

| COORDENADAS UTM LABORATORIO "CARLOS ESPARZA DIAZ" | |
|--|------------|
| SISTEMA WGS 84 ZONA 17S | |
| Norte | 9207000.00 |
| Este | 776620.00 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.

Vista satelital de la Universidad Nacional de Cajamarca



Fuente: Google Earth 2024

3.1.2. Ubicación geográfica del origen de los agregados

En la presente investigación se realizó utilizando agregados naturales de la cantera "Aguilar", ubicado en el distrito de Baños del Inca, en la carretera de Baños del Inca – Otuzco en el Km 1+600.00.

Tabla 12.

Coordenadas UTM de la Cantera "Aguilar"

| COORDENADAS UTM CANTERA "AGUILAR" | |
|--|------------|
| SISTEMA WGS 84 ZONA 17S | |
| Norte | 9208940.00 |
| Este | 779910.00 |

Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Ubicación geográfica del origen de la marmolina

En la presente investigación se realizó utilizando marmolina producto de los desechos de realizar artesanías de esta roca en los talleres de esculturas, ubicado en el centro poblado de Huambocancha Alta, provincia y región de Cajamarca.

Tabla 13.

Coordenadas UTM del Taller de artesanía "Los Picapedreros"

| COORDENADAS UTM TALLER "LOS PICAPEDREROS" | |
|--|------------|
| SISTEMA WGS 84 ZONA 17S | |
| Norte | 9220325.90 |
| Este | 769411.00 |

Fuente: Elaboración propia

3.2. Tiempo de realización de la investigación

Esta investigación se realizó entre los meses de enero y agosto del 2024.

3.3. Metodología

3.3.1. Tipo, nivel y diseño de investigación

- **Tipo:** Aplicada

- **Nivel:** Correlacional

- **Diseño:** La investigación es experimental, ya que las propiedades del concreto serán modificadas de manera intencional para analizar la resistencia mecánica del concreto.

- **Enfoque de la investigación:** Cuantitativa

3.3.2. Variables

Variable independiente: Polvo de la marmolina

Variable dependiente: Resistencia a compresión y flexión

3.3.3. Población de estudio

La población está constituida por las probetas y vigas de concreto a analizar con la adición de diferentes porcentajes de marmolina, y comparar con el concreto patrón $f'c = 210$ kg/cm²

3.3.4. Muestra

La selección de la muestra es un fragmento de la representación de la población de estudio, se considera una muestra probabilística, por lo que, en la presente tesis, es un estudio de investigación. Se justifica el número de probetas, utilizando la siguiente fórmula para hallar el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra buscado

Z_{α} = Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza

p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

q = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

e = Error de estimación máximo aceptado

Tomando un nivel de probabilidad de que ocurra el evento de 0.80, probabilidad de que no ocurra el evento de 0.20, un error de 0.01, un nivel de confianza de 0.99 tiene un parámetro estadístico $Z = 2.58$.

$$n = \frac{2.58^2 * 0.80 * 0.20}{0.01^2}$$

$$n = 71 \text{ probetas}$$

Se realizaron 80 probetas divididas en 60 probetas cilíndricas para la resistencia a compresión en las edades de curado de 7, 14 y 28 días; 20 probetas prismáticas para la resistencia a flexión a la edad de curado de los 28 días.

Tabla 14.*Número de muestras proyectadas para ensayos a compresión*

| ESPECIMENES | | FACTOR DE ANÁLISIS | | | | |
|-----------------------------|---------|-----------------------------|-------------------------|------|------|------|
| | | CONCRETO PATRÓN | ADICIÓN DE MARMOLINA | | | |
| Dosificación | | Sin adición de marmolina | AM3% | AM5% | AM7% | AM9% |
| Resistencia a compresión | 7 días | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | 14 días | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | 28 días | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Sub Total | | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Total | | 60 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15.*Número de muestras proyectadas para ensayos a flexión*

| ESPECIMENES | | FACTOR DE ANÁLISIS | | | | |
|--------------------------|---------|-----------------------------|-------------------------|------|------|------|
| | | CONCRETO PATRÓN | ADICIÓN DE MARMOLINA | | | |
| Dosificación | | Sin adición de marmolina | AM3% | AM5% | AM7% | AM9% |
| Resistencia a Flexión | 28 días | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Total | | 20 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

3.3.5. Unidad de análisis

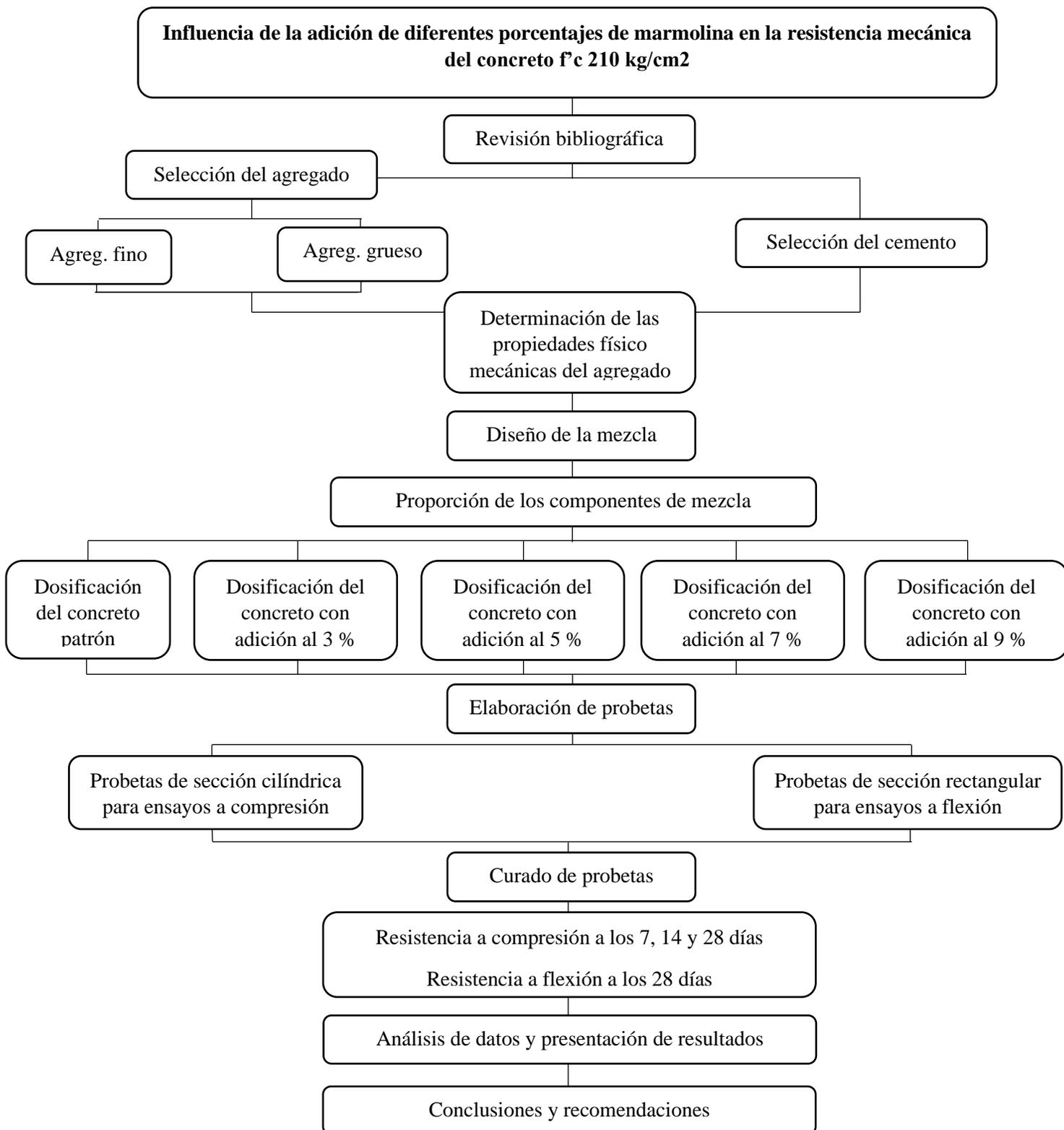
La resistencia mecánica del concreto con la adición de diferentes porcentajes de marmolina en la rotura de las probetas de concreto.

3.3.6. Unidad de Observación

Las probetas de concreto que van a ser ensayadas.

Figura 5.

Procedimiento o esquema de la investigación



3.4. Procedimiento de la investigación

3.4.1. Revisión de la literatura

Se realizó la revisión literaria de los componentes del concreto, como son el cemento, agregado fino, agregado grueso y agua; asimismo se recopiló información de investigaciones con adición de distintos materiales al concreto que pueden aumentar la resistencia a compresión y flexión, como mejorar la trabajabilidad del concreto.

3.4.2. Selección del agregado

Se calculó el volumen que se usaría para las 60 probetas cilíndricas y 20 probetas prismáticas, así como para los ensayos a elaborarse; se evitó la contaminación y pérdida de la muestra con un adecuado transporte de la Cantera “Aguilar” y almacenamiento en el laboratorio de materiales de la UNC.

3.4.2.1. Agregado Fino

Se seleccionó el agregado fino de río de la Cantera “El Aguilar” ubicado en el distrito de Baños del Inca, en la carretera de Baños del Inca – Otuzco en el Km 1+600.00.

3.4.2.2. Agregado Grueso

Se seleccionó el agregado grueso de TMN de ½” de río de la Cantera “El Aguilar” ubicado en el distrito de Baños del Inca, en la carretera de Baños del Inca – Otuzco en el Km 1+600.00.

3.4.3. Selección del cemento

Se seleccionó el cemento portland TIPO I PACASMAYO color verde.

3.4.4. Determinación físico-mecánicas del agregado

En el concreto, los agregados son de vital importancia, ya que la calidad y las características determinan la durabilidad, la trabajabilidad, la resistencia mecánica, así como el comportamiento estructural.

El análisis de las propiedades físicas es crucial para el diseño de mezcla del concreto. Es necesario realizar el estudio de las características físicas del agregado para verificar si cumplen con los límites establecidos por las normas ASTM o NTP.

3.4.4.1. Análisis granulométrico

Según la NTP 400.012 (2021) y ASTM C136-19, la muestra de agregado seco, de masa conocida, se divide mediante tamices de diferentes aberturas, de mayor a una menor, con el fin de analizar la distribución del tamaño de las partículas.

Equipos o aparatos

- Balanza: Precisa, legible y con aproximación de 0.1 gramos.
- Tamices: ¾", ½", 3/8", N°04, N°08, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200.
- Horno: Apto para mantener una temperatura promedio de 110° C ± 5° C.

Muestreo

Se obtuvo la muestra de agregados según la NTP 400.010, que esta muestra se tuvo que cuartear y tomar las diagonales, hasta obtener la cantidad que se requirió. Se necesitó 2 kg para la muestra de agregado grueso y 500 mg para la muestra del agregado fino.

Procedimiento

- La muestra se sometió a un proceso de secado en el horno a una temperatura promedio de 110° C ± 5° C.
- Se procedió a disponer los tamices de orden descendente y la muestra se añadió desde la parte posterior, los cual se agitaron manualmente de manera vertical y horizontal.
- Al haberse agitado los tamices en general, se procedió a realizar de manera individual por cada tamiz. El proceso terminó al no pasar entre tamices parte de la muestra tomada.
- Se ponderó la muestra retenida en cada tamiz para registrarla en el cuaderno de laboratorio.

Cálculo

El módulo de fineza o finura, se calculó con la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas 3", 1 ½", ¾", 3/8", N°04, N°08, N°16, N°30, N°50 y N°100 para posteriormente ser divididas entre 100.

3.4.4.2. Contenido de humedad

- NTP 339.185 (2021) y ASTM C566-19. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

Equipos o aparatos

- Balanza: Precisa, legible y con aproximación de 0.1 gramos.
- Recipiente Envase que sea resistente al calor y lo suficientemente grande para contener a la muestra.
- Horno: Apto para mantener una temperatura promedio de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- Agitador: Utensilio metálico, como cuchara o espátula.

Muestreo

Se obtuvo la muestra de agregados según la NTP 400.010, que esta muestra se tuvo que cuartear y tomar las diagonales, hasta obtener la cantidad que se requirió. Se necesitó 2 kg para la muestra de agregado grueso y 2 kg para la muestra del agregado fino.

Procedimiento

- La muestra seleccionada después de cuartear, se eligió muestras mayores a 2kg en estado natural, la cual se procedió a ponderar la tara, la muestra y tara.
- La muestra se sometió a un proceso de secado en el horno a una temperatura promedio de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- Se ponderó la muestra seca después de 24 horas que estuvo en el horno y se registró en el cuaderno de laboratorio.

Cálculo

$$p = \frac{W - D}{D}$$

Donde:

p = contenido de humedad (%)

W = masa de la muestra húmeda o estado natural (gr)

D = masa de la muestra seca (gr)

3.4.4.3. Peso unitario

- NTP 400.017(2020) y ASTM C29 (2017). Ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (Peso Unitario) y los vacíos de los agregados.

Equipos o aparatos

- Balanza: Precisa, legible y con aproximación de 0.1 gramos.
- Recipiente Envase que sea resistente al calor y con la capacidad de 28 L.
- Horno: Apto para mantener una temperatura promedio de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- Pala o cucharón: Utensilio metálico de tamaño conveniente para llenar el recipiente con agregado.
- Varilla de apisonado: Varilla lisa de acero, redondeada de $16 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ de diámetro, asimismo la varilla debe ser recta.

Muestreo

Se obtuvo la muestra de agregados según la NTP 400.010, que esta muestra se tuvo que cuartear y tomar las diagonales, hasta obtener la cantidad que se requirió. Se necesitó 15 kg para la muestra de agregado grueso y 5 kg para la muestra del agregado fino.

Procedimiento

- La muestra seleccionada después de cuartear, se eligió muestras mayores a 15kg de agregado grueso, asimismo el agregado fino 5kg de agregado fino en estado natural.
- La muestra se sometió a un proceso de secado en el horno a una temperatura promedio de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- Se ponderó el recipiente del agregado grueso y fino, asimismo se pesó el recipiente con el vidrio y agua, se midió la temperatura del agua para hallar su densidad con las tablas que se encuentra en la NTP 400.010, y se halló el volumen de los recipientes.
- Conocido el volumen de los recipientes, la muestra seca se dejó caer a una altura de 2” por la parte superior. Después de llenar el recipiente, se niveló la capa superior del agregado con una varilla, para que quede al mismo nivel que el borde superior del recipiente.

- La muestra seca se dejó caer a una altura de 2” por la parte superior a 1/3 de la altura del recipiente compactando con una varilla con 25 golpes al azar, se repitió el proceso las tres capas, se niveló la capa superior.
- Se ponderó la masa del recipiente más con el contenido del agregado y se anotó en el cuaderno de laboratorio.

Cálculo

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M = Peso unitario del agregado (g/cm³)

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

T = Peso del recipiente (gr)

V = Volumen de la medida (cm³)

3.4.4.4. Peso específico y absorción del agregado fino

- NTP 400.022(2021) y ASTM C28 (2015). Ensayo para determinar la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.

Equipos o aparatos

- Balanza: Precisa, legible y con aproximación de 0.1 gramos.
- Picnómetro: Un frasco donde el volumen del líquido al llenarlo hasta la marca sea al menos un 50% mayor que el espacio requerido para la muestra de ensayo. Puede ser un matraz aforado de 500 cm³ o un frasco de vidrio con tapa de picnómetro.
- Estufa: Apto para mantener una temperatura promedio de 110° C ± 5° C.
- Molde y barra compactadora para ensayos superficiales de humedad: El molde metálico debe tener la forma de un tronco de cono, mientras que la barra compactadora metálica debe tener una cara plana circular para compactar.

Muestreo

Se obtuvo la muestra de agregados según la NTP 400.010, que esta muestra se tuvo que cuartear y tomar las diagonales, hasta obtener la cantidad que se requirió. Se necesitó 500gr para la muestra del agregado fino.

Procedimiento

- La muestra seleccionada después de cuartear, se eligió muestras mayores a 500 gr de agregado fino.
- La muestra se sometió a un proceso de secado en el horno a una temperatura promedio de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- La muestra se sometió a un proceso de saturación a temperatura ambiente un promedio de 24 horas, luego se desarrolló el ensayo de la humedad superficial. En el molde metálico sobre una superficie no absorbente, se colocó parte de la muestra que se compactó con 8 golpes suaves con el pisón metálico, se repitió el proceso 3 veces hasta llenar el cono.
- Se levantó el cono verticalmente por lo que parte de la muestra se disgregó levemente, por lo que la muestra estuvo en un estado saturado superficialmente seco (SSS)
- Una vez con la muestra en estado superficialmente seco, se llenó parcialmente el picnómetro con agua, se introdujo la muestra y se llenó hasta su capacidad.
- Se agitó el picnómetro para eliminar las burbujas de aire y se llenó con agua hasta su marca de calibración; se ponderó la masa total del picnómetro, de la muestra y agua.
- Se ponderó la masa del recipiente más con el contenido del agregado y se anotó en el cuaderno de laboratorio. Posteriormente se removió la muestra del picnómetro y se colocó en un recipiente metálico para secar dicha muestra en la estufa a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Se ponderó la muestra seca y se anotó en el cuaderno de laboratorio.

Cálculo

$$\text{Densidad Relativa} = \frac{A}{B + S - C}$$

$$\text{Densidad Relativa Aparente} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Densidad Relativa SSS} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$\text{Absorción} = 100 * \frac{(S - A)}{A}$$

Donde:

A = Masa de la muestra secada al horno (gr)

B = Masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración (gr)

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr)

C = Masa del picnómetro llenado de muestra y agua hasta la calibración (gr)

3.4.4.5. Peso específico y absorción del agregado grueso

- NTP 400.021(2020) y ASTM C127 (2015). Ensayo para determinar la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.

Equipos o aparatos

- Balanza: Precisa, legible y con aproximación de 0.1 gramos.
- Recipiente para muestra: Canasta de alambre (no debe ser mayor al N°06), el recipiente debe estar diseñado para evitar la retención de aire cuando se sumerge en el agua.
- Estufa: Apto para mantener una temperatura promedio de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- Tanque de agua: Contenedor sellado donde se coloca el recipiente con la muestra mientras cuelga debajo de la balanza.
- Tamices: Tamiz N° 04 y otros tamices que sean necesarios.

Muestreo

Se obtuvo la muestra de agregados según la NTP 400.010, que esta muestra se tuvo que cuartear y tomar las diagonales, se rechazó todo el material que pasa por el tamiz N°04, por tamizado en seco y haberse lavado para eliminar el material más fino. Se necesitó 2 kg para la muestra del agregado grueso.

Procedimiento

- La muestra seleccionada después de cuartear, se eligió muestras mayores a 2 kg de agregado grueso.
- La muestra se sometió a un lavado y se eliminó al material que pasó la malla N°04.
- La muestra se sometió a un proceso de secado en el horno a una temperatura promedio de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- La muestra se sometió a un proceso de saturación a temperatura ambiente un promedio de 24 horas, luego con una franela se frotó hasta que la película visible del agua se elimine, y se obtuvo el estado saturado superficialmente seco (SSS).
- Se ponderó la masa de la muestra en su estado saturado superficialmente seco (SSS), se colocó la muestra SSS dentro de la canastilla sumergida en agua y se ponderó dicha muestra.
- Una vez con la muestra en estado superficialmente seco, se llenó parcialmente el picnómetro con agua, se introdujo la muestra y se llenó hasta su capacidad.
- Se colocó en un recipiente metálico para secar dicha muestra en la estufa a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Se ponderó la muestra seca y se anotó en el cuaderno de laboratorio.

Cálculo

$$\text{Densidad Relativa} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Densidad Relativa Aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Densidad Relativa SSS} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Absorción} = 100 * \frac{(B - A)}{A}$$

Donde:

A = Masa de la muestra secada al horno al aire (gr)

B = Masa de la muestra de ensayo saturada superficialmente al aire (gr)

C = Masa aparente de la muestra de ensayo saturada al agua (gr)

3.4.4.6. Contaminación de los agregados

- NTP 400.018(2020) y ASTM C117 (2017). Ensayo para la determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz N°200 por lavado de agregados.

Equipos o aparatos

- Balanza: Precisa, legible y con aproximación de 0.1 gramos.
- Recipiente: Recipiente metálico.
- Estufa: Apto para mantener una temperatura promedio de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- Tamices: Tamiz N° 16 y N° 200.

Muestreo

Se obtuvo la muestra de agregados según la NTP 400.010, que esta muestra se tuvo que cuartear y tomar las diagonales. Se necesitó 1 kg para la muestra del agregado grueso y 300 gr de agregado fino.

Procedimiento

- La muestra seleccionada después de cuartear, se eligió muestras mayores a 1 kg de agregado grueso y muestras mayores a 300 gr de agregado fino.
- La muestra se sometió a un proceso de secado en el horno a una temperatura promedio de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- La muestra se sometió a un proceso de lavado apoyándose con las malla N°200, se agitó vigorosamente para separar la muestra que pasa la malla N°200, se realizó el mismo procedimiento con el agregado grueso apoyándose con la malla N°16.
- Se repitió los procesos hasta que el agua estuvo clara, el material retenido se retornó sobre los recipientes metálicos y se sometió a un proceso de secado en el horno a una temperatura promedio de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- Se ponderó la muestra seca y se anotó en el cuaderno de laboratorio.

Cálculo

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

Donde:

A = Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz N°200

P_1 = Peso seco de la muestra original (gr)

P_2 = Peso seco de la muestra luego del lavado (gr)

3.4.4.7. Resistencia al desgaste o abrasión

- NTP 400.019(2020) y ASTM C131 (2020). Ensayo para la determinación de la resistencia en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.

Equipos o aparatos

- Máquina de los Ángeles:
- Balanza: Precisa, legible y con aproximación de 0.1 gramos.
- Carga: Compuesta por esferas de acero
- Estufa: Apto para mantener una temperatura promedio de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- Tamices.

Muestreo

Se obtuvo la muestra de agregados según la NTP 400.010, que esta muestra se tuvo que cuartear y tomar las diagonales. Se necesitó 5 kg para la muestra del agregado grueso.

Procedimiento

- La muestra seleccionada después de cuartear, se eligió una muestra de 2.5 kg entre los tamices de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " y 2.5 kg entre $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{8}$ ".
- La muestra se sometió a un proceso de secado en el horno a una temperatura promedio de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- Se ponderó el peso de las muestras antes de realizarse el ensayo de la Máquina de los Ángeles.

- Se colocó la muestra y la carga abrasiva en la Máquina de los Ángeles y se rotó a una velocidad de 30 rpm a 33 rpm durante 500 revoluciones aproximadamente 15 minutos.
- Se realizó la separación en el tamiz N°12 con un lavado y se procedió a colocar en un recipiente metálico.
- Se sometió a un proceso de secado en el horno a una temperatura promedio de $110^{\circ} C \pm 5^{\circ} C$.
- Se ponderó la muestra seca y se anotó en el cuaderno de laboratorio.

Cálculo

$$\text{Porcentaje de pérdida} = \frac{(C - Y)}{C} 100$$

Donde:

C = Masa original de la muestra (gr)

Y = Masa final de la muestra (gr)

3.4.5. Diseño de la mezcla Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados

El diseño de mezcla empleado en esta investigación se realizó utilizando el método de la Combinación de Agregados, y se planificó para lograr una resistencia $f^{\circ}c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

3.4.5.1. Procedimiento del Diseño de Mezcla

1° Se determinó la resistencia a compresión $f^{\circ}cr$ para lograr la resistencia especificada $f^{\circ}c$ en condiciones de obra, seleccionando un factor de 1.1.

2° Se asignó el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

3° Se asignó el asentamiento, se consideró una consistencia plástica. Se definió el contenido de aire (Tabla 44)

4° Se definió el volumen de agua en el diseño para concreto sin aire incorporado (Tabla 43).

5° Se interpoló la relación a/c por resistencia (Tabla 45), y se definió la relación a/c.

6° Se definió el factor cemento, con la siguiente fórmula:

$$\text{Factor Cemento} = \frac{\text{Volumen de agua de diseño}}{42.5 * a/c}$$

7° Se definió los volúmenes de la pasta.

$$\text{Volumen Absoluto} = \text{Peso (m3)} \times \text{Peso Especifico}$$

8° Se definió el volumen de los agregados.

$$\text{Volumen Absoluto. Ag.} = 1 \text{ m}^3 - \text{Volumen Pasta}$$

9° Se interpoló y definió el valor “mc” (Tabla 46).

10° Se definió el porcentaje de (rf), con la siguiente fórmula:

$$r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} * 100$$

Donde:

m_c = Módulo de finura de la combinación de agregados.

m_g = Módulo de finura del agregado grueso.

m_f = Módulo de finura del agregado fino.

r_f = % de Ag. Fino en relación con el volumen absoluto del agregado.

11° Se definió el volumen absoluto de los agregados.

$$\text{Volumen Ag. Fino} = \text{Vol. Agregados} \times \% \text{ Ag. fino}$$

$$\text{Volumen Ag. Grueso} = \text{Vol. Agregados} - \% \text{ Ag. fino}$$

12° Se definió los pesos secos de los agregados fino y grueso.

$$\text{Peso Seco Agregado} = \text{Vol. Agregado} \times \text{Peso especifico del agregado}$$

13° Se ajustó los valores de humedad del agregado.

$$\text{Peso Ag. húmedo} = \text{Peso seco} \times \text{Contenido de Humedad}$$

$$\text{Humedad Superficial (\%)} = \text{Contenido de Humedad} - \text{Absorción}$$

$$\text{Aporte de Humedad} = \text{Peso seco} \times \text{Humedad superficial}$$

$$\text{Agua Efectiva} = \text{Agua de diseño} - \text{Aporte de humedad Agregados}$$

14° Se definió la proporción en volumen de obra.

15° Se definió la proporción del lote de mezcla para 0.020 m^3 .

3.4.5.2. Procedimiento del ajuste de Diseño de Mezcla

1° Se definió la tanda total (0.002 m^3).

$$\text{Cemento} = \text{Cemento (kg/cm}^3\text{)} \times \text{tanda (0.02m}^3\text{)}$$

$$\text{Agregados} = \text{Agregados Humedos (kg/cm}^3\text{)} \times \text{tanda (0.02m}^3\text{)}$$

$$\text{Agua Añadida} = \text{Agua efectiva} \times \text{tanda (0.02m}^3\text{)} + \text{Agua adicional}$$

$$\text{Peso de la tanda} = \sum \text{Materiales por Tanda}$$

2° Se definió el rendimiento del lote de mezcla para 0.020 m^3 .

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso total de la tanda}}{\text{Peso Unitario del Concreto}}$$

3° Se definió el agua de la mezcla por cada lote de mezcla 0.020 m^3 .

$$\text{Aporte de humedad Ag.} = \text{Ag. por tanda} \left(\frac{\%W - \%W_{Abs}}{100} \right)$$

$$\text{Agua de tanda} = \text{Agua efectiva} + \text{Agua Añadida} + \text{Aportes}$$

$$\text{Agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Agua de la tanda}}{\text{Rendimiento}}$$

4° Se definió la nueva cantidad de cemento.

$$\text{Cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Agua (m}^3\text{)}}{a/c}$$

5° Se definió la cantidad de agregado grueso.

Para la mezcla sobre arenosa

$$\text{Peso}(\text{Ag. Grueso seco}) = 1.10 \times \text{PUCS}(\text{Ag. Grueso}) \times \frac{b}{b_0}$$

Mezcla con Trabajabilidad satisfactoria

$$\text{Agregado grueso húmedo} = \frac{\text{Agregado grueso húmedo por tanda}}{\text{Rendimiento}}$$

$$\text{Agregado grueso seco} = \frac{\text{Agregado grueso húmedo}}{1 + \% \text{Humedad}/100}$$

$$\text{Agregado grueso S.S.S} = \frac{\text{Agregado grueso húmedo}}{1 + \% \text{Absorción}/100}$$

6° Se definió los nuevos volúmenes de materiales en el diseño, los pesos secos de los materiales, se corrigió por humedad, la proporción en peso del diseño, y las proporciones.

3.4.6. Elaboración de probetas

Normativa: ASTM C192/ NTP 339.183

3.4.6.1. Probetas de sección cilíndrica para ensayos a compresión

- Se lavó los moldes cilíndricos, se secó y se procedió a engrasar por la parte inferior e interna para tener especímenes de concreto adecuados y sea fácil su desmolde.
- Se ponderó cada molde cilíndrico y se dio una cada codificación a cada molde.
- Se ponderó el cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y marmolina en distintos baldes.
- Se vació en la mezcladora de cemento el agregado grueso, agregado fino, un porcentaje del agua, luego el cemento y marmolina, luego el agua restante.
- Se inspeccionó que tenga una consistencia plástica con el cono de Abrams, el cual se varilló en 3 capas a 25 golpes y se retiró el cono de Abrams para medir el asentamiento.
- Se colocó el concreto en los moldes cilíndricos, el cual se varilló en 3 capas, en cada capa se varilló 25 golpes y con una comba de goma se golpeó por los lados externos entre 10 a 15 veces.
- Se procedió a ponderar el peso del molde cilíndrico más el concreto.

3.4.6.2. Probetas de sección rectangular para ensayos a flexión

- Se lavó los moldes prismáticos, se secó y se procedió a engrasar por la parte inferior e interna para tener especímenes de concreto adecuados y sea fácil su desmolde.
- Se ponderó cada molde prismático y se dio una cada codificación a cada molde.
- Se ponderó el cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y marmolina en distintos baldes.
- Se vació en la mezcladora de cemento el agregado grueso, agregado fino, un porcentaje del agua, luego el cemento y marmolina, luego el agua restante.
- Se inspeccionó que tenga una consistencia plástica con el cono de Abrams, el cual se varilló en 3 capas a 25 golpes y se retiró el cono de Abrams para medir el asentamiento.
- Se colocó el concreto en los moldes prismáticos, el cual se varilló en 3 capas, en cada capa se varilló 25 golpes y con una comba de goma se golpeó por los lados externos entre 10 a 15 veces.

3.4.7. Curado de probetas

Normativa: ASTM C192/ 339.183

Procedimiento

- Una vez endurecida la mezcla (después de 24 horas de haber vaciado la mezcla), se procedió a desmoldar las muestras y darle una codificación.
- Se llenó el pozo de agua y se añadió cal para evitar cambios bruscos de temperatura.
- Se colocó a las muestras en un pozo de agua que cubra toda la altura de las probetas.

3.4.8. Resistencia

3.4.8.1. Resistencia a compresión

Normativa: NTP 339.034 / ASTM C39.

- Los especímenes de concreto se sometieron al ensayo de compresión a los 7, 14 y 28 días.

- Se retiró los especímenes del pozo de agua, se secó a temperatura ambiente 30 minutos.
- Se colocó las placas de neopreno en la superficie inferior y superior del espécimen de concreto y se alineó con el centro de empuje de rótula del bloque.

Cálculo

$$f'c = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$A = \frac{\pi\phi^2}{4}$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia a la rotura a la compresión del concreto (kg/cm^2)

P = Carga de rotura (Kg)

ϕ = Diámetro de la probeta cilíndrica (cm)

3.4.8.2. Resistencia a flexión

Normativa: NTP 339.078 (2023)

- Los especímenes de concreto se sometieron al ensayo de flexión a los 28 días.
- Se retiró los especímenes del pozo de agua, se secó a temperatura ambiente 30 minutos.
- Se centró sobre los bloques de apoyo, se ajustó a los tercios de la luz de la viga y se aplicó la carga.

Cálculo

$$Mr = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Donde:

Mr = Módulo de rotura (kg/cm^2)

P = Carga máxima (kg)

L = Longitud del tramo (cm)

b = Ancho promedio de la viga en la sección de falla (cm)

h = Altura promedio de la viga en sección de falla (cm)

3.5. Presentación de resultados

Los resultados obtenidos en el laboratorio, se presentan de manera resumida en tablas y gráficos, los cuales serán discutidos y analizados en el siguiente capítulo IV (Análisis y Discusión de Resultados).

3.5.1. Propiedades Físicas y mecánicas de los agregados

En la tabla 16 se muestra un resumen de las propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso y fino extraídos de la Cantera Aguilar (Tartar Chico).

Tabla 16.

Propiedades físicas y mecánicas del agregado (Cantera Aguilar)

| Propiedades | Agregado Grueso | Agregado Fino |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| TMN | 1/2" | |
| Peso Específico Masa | 2.52gr/cm ³ | 2.54gr/cm ³ |
| Peso Específico Aparente | 2.69gr/cm ³ | 2.62gr/cm ³ |
| Peso Unitario Suelto | 1453.77kg/m ³ | 1472.41kg/m ³ |
| Peso Unitario Compactado | 1583.40kg/m ³ | 1733.71kg/m ³ |
| Contenido de Humedad | 2.11% | 6.70% |
| Absorción | 1.38% | 2.18% |
| Módulo de Finura | 6.77 | 2.98 |
| Abrasión | 29.77% | |
| % Que pasa malla N° 200 | 0.63% | 3.40% |

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Diseño de mezclas

En la tabla 17 se presenta la cantidad de materiales secos necesarios por metro cúbico de concreto.

Tabla 17.

Materiales de diseño en estado seco por $m^3 f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

| Materiales de diseño en estado seco | |
|--|------------|
| Cemento | 405.67 kg |
| Agua de diseño | 263.85 lts |
| Aire | 2.50% |
| Ag. Fino seco | 749.37 kg |
| Ag. Grueso seco | 715.77 kg |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18 se presenta la cantidad de materiales corregidos por humedad necesarios por metro cúbico de concreto.

Tabla 18.

Materiales de diseño corregidos por humedad por $m^3 f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

| Materiales de diseño corregidos por humedad | |
|--|------------|
| Cemento | 405.67 kg |
| Agua de diseño | 222.37 lts |
| Aire | 2.50% |
| Ag. Fino húmedo | 799.57 kg |
| Ag. Grueso húmedo | 730.88 kg |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19 se presenta la cantidad de materiales corregidos por humedad necesarios por metro cúbico de concreto.

Tabla 19.

Materiales corregidos por m³ de concreto f'c= 210 kg/cm² con adición de distintos porcentajes de marmolina.

| Materiales Corregidos | Porcentaje de Marmolina | | | | |
|-----------------------|-------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0% | 3% | 5% | 7% | 9% |
| Cemento (kg) | 405.67 kg | 405.67 kg | 405.67 kg | 405.67 kg | 405.67 kg |
| Agua Efectiva (lts) | 222.37 lts | 222.37 lts | 222.37 lts | 222.37 lts | 222.37 lts |
| Aire Total (%) | 2.50% | 2.50% | 2.50% | 2.50% | 2.50% |
| Agregado fino (kg) | 799.57 kg | 799.57 kg | 799.57 kg | 799.57 kg | 799.57 kg |
| Agregado grueso (kg) | 730.88 kg | 730.88 kg | 730.88 kg | 730.88 kg | 730.88 kg |
| Marmolina (kg) | 0.00 kg | 12.17 kg | 20.28 kg | 28.40 kg | 36.51 kg |

Fuente: Elaboración propia

3.5.3. Propiedades del concreto Fresco

En la tabla 20 se presenta el promedio del peso unitario del concreto fresco en la muestra patrón, adición de marmolina en sus distintos porcentajes (3%, 5%, 7% y 9%) y su variación del concreto en estado fresco.

Tabla 20.

Peso Unitario del concreto en estado fresco

| Adición de marmolina | Peso Unitario Promedio (kg/m ³) | Variación (%) |
|----------------------|---|---------------|
| MP | 2362.21 | 0.00 |
| MP + 3% AM | 2367.48 | 0.22 |
| MP + 5% AM | 2347.69 | -0.61 |
| MP + 7% AM | 2361.72 | -0.02 |
| MP + 9% AM | 2364.44 | 0.09 |

Fuente: Elaboración propia

3.5.4. Propiedades del Concreto Endurecido

3.5.4.1. Peso Unitario del Concreto Endurecido

En la tabla 21 se presenta el promedio del peso unitario del concreto endurecido en la muestra patrón, adición de marmolina en sus distintos porcentajes (3%, 5%, 7% y 9%) y su variación.

Tabla 21.*Peso Unitario del Concreto endurecido $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$*

| Adición de marmolina | Peso Unitario Promedio (kg/m^3) | Variación (%) |
|----------------------|--|---------------|
| MP | 2362.18 | 0.00 |
| MP + 3% AM | 2363.40 | 0.05 |
| MP + 5% AM | 2356.51 | -0.24 |
| MP + 7% AM | 2357.29 | -0.21 |
| MP + 9% AM | 2366.16 | 0.17 |

Fuente: Elaboración propia

3.5.4.2. Resistencia a compresión del concreto

En la tabla 22 se presenta el promedio de la resistencia a compresión alcanzados en la muestra patrón y adición de marmolina en sus distintos porcentajes (3%, 5%, 7% y 9%) de las probetas ensayadas a los 7, 14 y 28 días

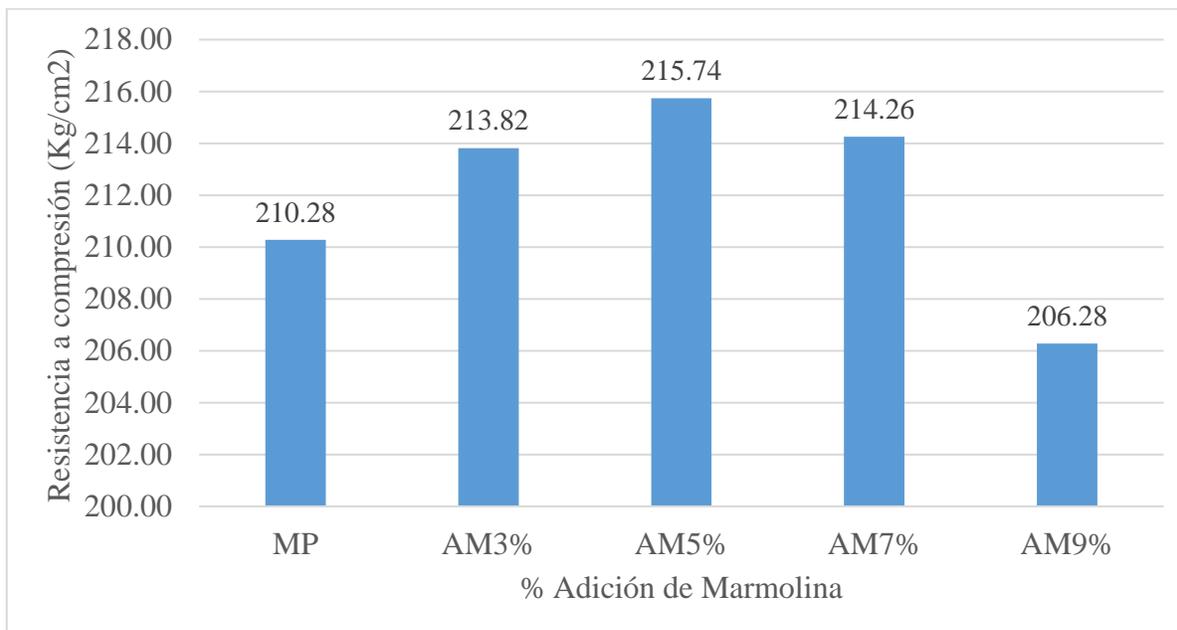
Tabla 22.*Resistencia a compresión promedio a los 7, 14 y 28 días*

| Diseño | 7 días | | 14 días | | 28 días | |
|--------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|
| | f'c promedio (kg/cm^2) | % obtenido | f'c promedio (kg/cm^2) | % obtenido | f'c promedio (kg/cm^2) | % obtenido |
| MP | 210.28 | 100.14 | 249.84 | 118.97 | 294.29 | 140.14 |
| AM3% | 213.82 | 101.82 | 252.46 | 120.22 | 293.18 | 139.61 |
| AM5% | 215.74 | 102.73 | 250.63 | 119.35 | 286.32 | 136.34 |
| AM7% | 214.26 | 102.03 | 248.42 | 118.29 | 285.52 | 135.96 |
| AM9% | 206.28 | 98.23 | 247.29 | 117.76 | 284.86 | 135.65 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 6.

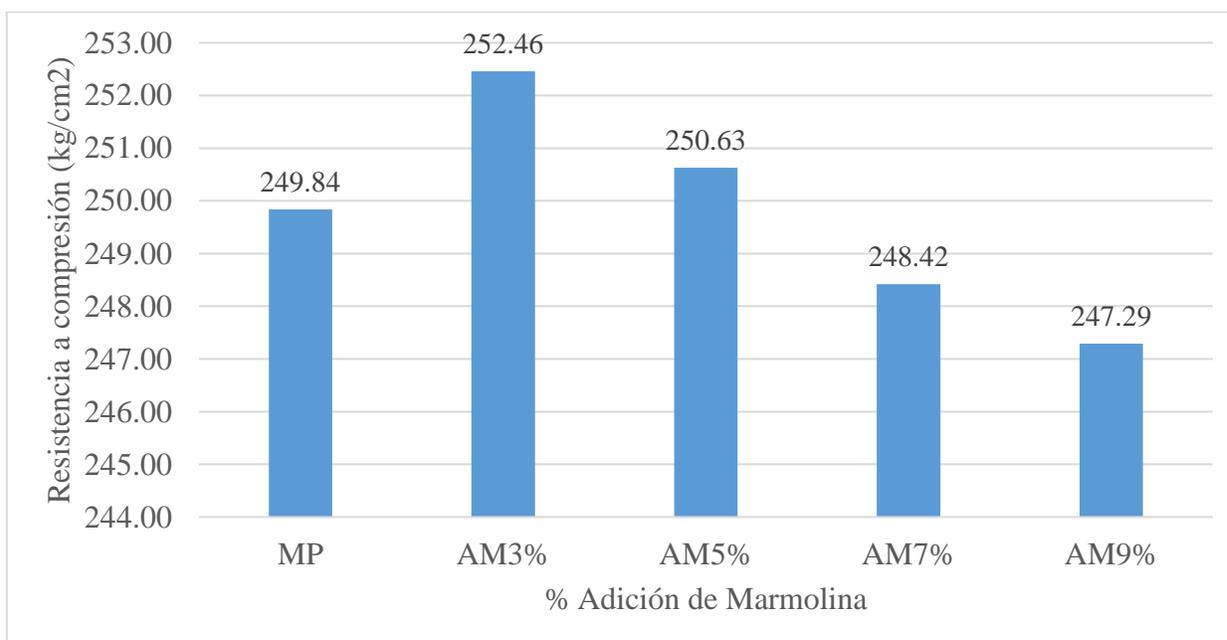
Gráfica resistencia a la compresión vs adición de marmolina a los 7 días



Fuente: Elaboración propia

Figura 7.

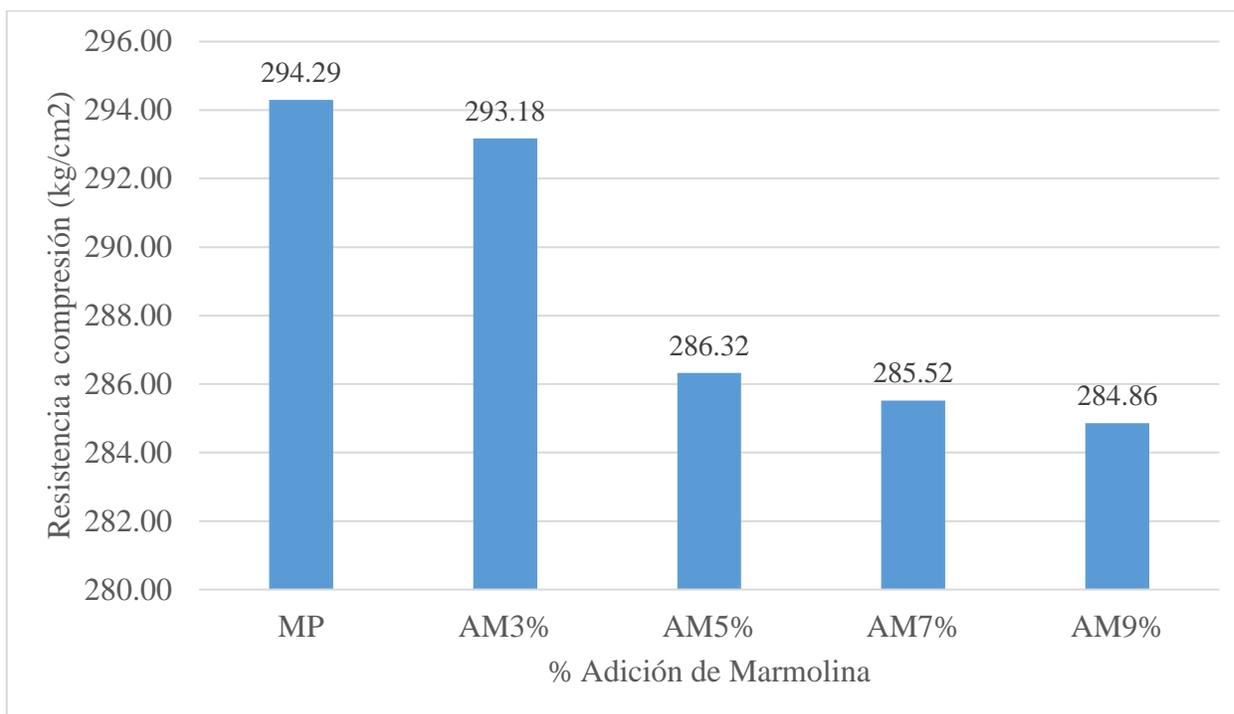
Gráfica resistencia a la compresión vs adición de marmolina a los 14 días



Fuente: Elaboración propia

Figura 8.

Gráfica resistencia a la compresión vs adición de marmolina a los 28 días



Fuente: Elaboración propia

3.5.4.2. Resistencia a flexión del concreto

En la tabla 23 se presenta el promedio de la resistencia a flexión alcanzados en la muestra patrón y adición de marmolina en sus distintos porcentajes (3%, 5%, 7% y 9%) de las probetas ensayadas a los 28 días.

Tabla 23.

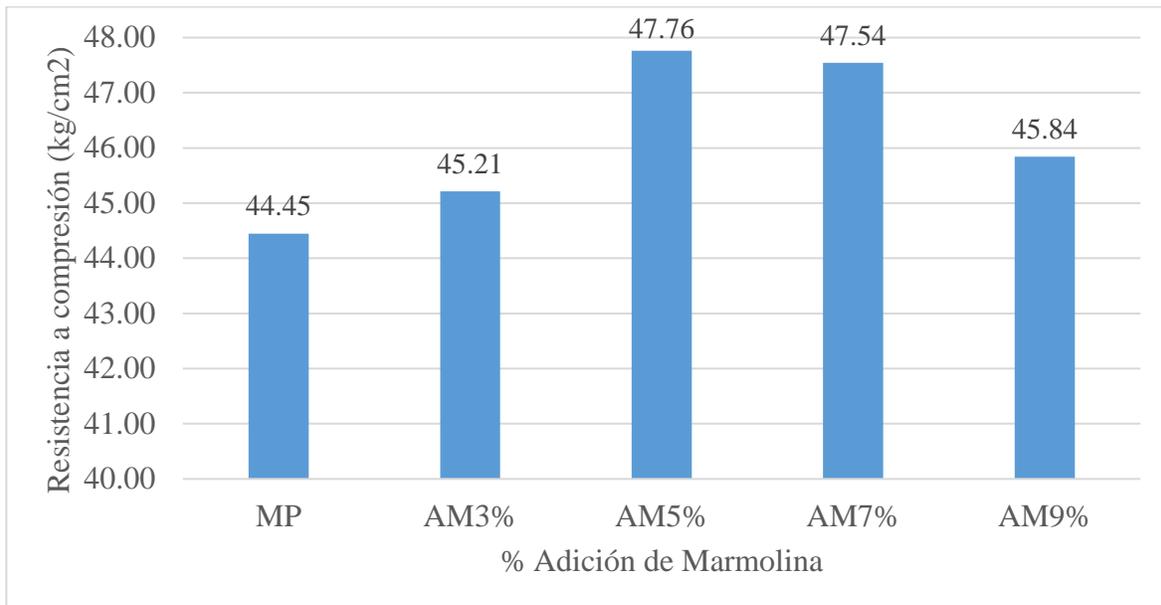
Resistencia a flexión promedio a los 28 días

| Diseño | 28 días | |
|--------|---------------------------------------|----------------|
| | f'c promedio (kg/cm ²) | % Variación |
| MP | 44.4 | |
| AM3% | 45.2 | 101.73% |
| AM5% | 47.8 | 107.47% |
| AM7% | 47.5 | 106.98% |
| AM9% | 45.8 | 103.15% |

Fuente: Elaboración propia

Figura 9.

Gráfica resistencia a flexión vs adición de marmolina a los 28 días



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados

4.1.1. Granulometría de los agregados

De acuerdo con lo establecido en la NTP 400.037 y ASTM C33, se puede apreciar que en la tabla 5 límites para el agregado grueso, el agregado utilizado en la investigación presenta un TMN 1/2" está situada dentro del huso N°67 y está dentro de los límites permisibles. Por lo que se considera adecuado para el diseño de la mezcla.

La distribución granulométrica del agregado fino registra un valor promedio de 2.98 que está dentro del intervalo establecido en la NTP 400.012 (2.80 a 3.10).

4.1.2. Peso específico y Absorción

En la tabla 27 se encuentran los datos del peso específico y absorción del agregado fino, el peso específico de masa promedio es de 2544.29 kg/m³, peso específico de la masa S.S.S promedio de 2599.72 kg/m³, peso específico aparente promedio de 2693.58 kg/m³. Estos valores están dentro de los valores que establece la norma ASTM C128 que los agregados deben de estar dentro de los 2400 y 2900 kg/m³.

En la tabla 36 se encuentran los datos del peso específico y absorción del agregado grueso, el peso específico de masa promedio es de 2523.01 kg/m³, peso específico de la masa S.S.S promedio de 2557.74 kg/m³, peso específico aparente promedio de 2617.59 kg/m³. Estos valores están dentro de los valores que establece la norma ASTM C128 que los agregados deben de estar dentro de los límites 2400 y 2900 kg/m³.

4.1.3. Peso Unitario de los agregados

En la tabla 29 y 30 se encuentran los datos del agregado fino, peso unitario suelto (1472.41 kg/m³) y compactado (1733.71 kg/m³). En la tabla 38 y 39 se encuentran los datos del agregado grueso, peso unitario suelto (1453.77 kg/m³) y compactado (1583.40 kg/m³).

El peso unitario del agregado fino es mayor que el peso unitario del agregado grueso por la composición del material, el agregado fino ocupa mayor espacio y se reacomoda al recipiente. Los valores que establece la norma ASTM que los agregados deben estar dentro de los límites 1200 y 1850 kg/m³.

4.1.4. Materiales finos que pasan el tamiz N°200

En la tabla 31 la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N°200, con respecto al agregado fino es del 2.72%, en la tabla 40 la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N°200 el agregado grueso es del 0.45%, estos valores están dentro del rango que exige la NTP 400.018 para el agregado fino debe ser inferior al 5% y para el agregado grueso deber ser inferior al 1%.

4.1.5. Abrasión del agregado grueso

En la tabla 42 está el desgaste promedio del agregado grueso que es 29.77% valor que está dentro del límite que exige la NTP 400.019, donde el desgaste para el agregado grueso es menor al 50% mediante el método de Los Ángeles.

4.1.6. Contenido de humedad

En la tabla 32 el contenido de humedad del agregado fino es 6.70% y en la tabla 41 el contenido de humedad del agregado grueso es 2.11%, por lo que el agregado fino tiene mayor capacidad de retención de agua a comparación del agregado grueso.

4.2. Propiedades del concreto Fresco

4.2.1. Peso unitario del concreto fresco

La tabla 20 muestra los resultados, en la muestra patrón con un peso unitario promedio de 2362.21 kg/m³, muestra adición de marmolina 3% promedio de 2367.48 kg/m³, muestra adición de marmolina 5% promedio de 23547.69 kg/m³, muestra adición de marmolina 7% promedio de 2361.72 kg/m³ y muestra adición de marmolina 9% promedio de 2364.44 kg/m³. Una máxima variación de 0.99%, se clasifica al concreto como convencional o normal, por lo que los valores están dentro del límite 2200 a 2400 kg/m³.

4.3. Propiedades del concreto Endurecido

4.3.1. Peso unitario del concreto endurecido

La tabla 21 muestra los resultados, en la muestra patrón con un peso unitario promedio de 2362.18 kg/m³, muestra adición de marmolina 3% promedio de 2363.40 kg/m³, muestra adición de marmolina 5% promedio de 2356.51 kg/m³, muestra adición de marmolina 7% promedio de 2357.29 kg/m³ y muestra adición de marmolina 9% promedio de 2366.16 kg/m³. Una máxima variación de 0.41%.

4.3.2. Resistencia a compresión del concreto

La tabla 22 muestra los resultados de la resistencia a compresión, la rotura de probetas a los 7 días la máxima resistencia es con la adición de marmolina al 5% (215.74 kg/cm²), a los 14 días la máxima resistencia es con la adición de marmolina al 3% (252.46 kg/cm²) y a los 28 días se evidencia una disminución de la resistencia con la adición de distintos porcentajes de marmolina teniendo en su punto máximo a la muestra patrón (294.29 kg/cm²).

4.3.3. Resistencia a flexión del concreto

La tabla 23 resistencia a flexión del concreto, muestra un comportamiento que la adición de la marmolina aumenta con respecto a la muestra patrón, con adición de marmolina 5% y una resistencia promedio de 47.8 kg/cm². Existe una variación del 7.47% con respecto a la muestra patrón.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La adición de diferentes porcentajes de marmolina en la resistencia mecánica del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ aumenta en 2.59% a los 7 días, aumenta en 1.05% a los 14 días y disminuye en 3.31% a los 28 días.

Los resultados a los 7 días al ser sometidos al ensayo de compresión son favorables, la muestra patrón tuvo un promedio de 210.28 kg/cm^2 , la muestra con adición de marmolina al 3% tuvo un promedio de 213.82 kg/cm^2 y una variación positiva de 1.68 %, la muestra con adición de marmolina al 5% tuvo un promedio de 215.74 kg/cm^2 y una variación positiva de 2.59%, la muestra con adición de marmolina al 7% tuvo un promedio de 214.26 kg/cm^2 y una variación positiva de 1.88%; la muestra con adición de marmolina al 9% tuvo un promedio de 206.28 kg/cm^2 y una variación negativa de 1.90%.

Los resultados a los 14 días al ser sometidos al ensayo de compresión son favorables, la muestra patrón tuvo un promedio de 249.84 kg/cm^2 , la muestra con adición de marmolina al 3% tuvo un promedio de 252.46 kg/cm^2 y una variación positiva de 1.05 %, la muestra con adición de marmolina al 5% tuvo un promedio de 250.63 kg/cm^2 y una variación positiva de 0.32%, la muestra con adición de marmolina al 7% tuvo un promedio de 248.42 kg/cm^2 y una variación negativa de 0.57%; la muestra con adición de marmolina al 9% tuvo un promedio de 247.29 kg/cm^2 y una variación negativa de 1.02%.

Los resultados a los 28 días al ser sometidos al ensayo de compresión son desfavorables, la muestra patrón tuvo un promedio de 294.29 kg/cm^2 , la muestra con adición de marmolina al 3% tuvo un promedio de 293.18 kg/cm^2 y una variación positiva de 0.38 %, la muestra con adición de marmolina al 5% tuvo un promedio de 286.32 kg/cm^2 y una variación negativa de 2.70%, la muestra con adición de marmolina al 7% tuvo un promedio de 285.52 kg/cm^2 y una variación negativa de 2.78%; la muestra con adición de marmolina al 9% tuvo un promedio de 284.86 kg/cm^2 y una variación negativa de 3.31%.

Los resultados a los 28 días al ser sometidos al ensayo de flexión son favorables, la muestra patrón tuvo un promedio de 44.4 kg/cm^2 , la muestra con adición de marmolina al 3% tuvo un promedio de 45.2 kg/cm^2 y una variación positiva de 1.73 %, la muestra con

adición de marmolina al 5% tuvo un promedio de 47.8 kg/cm² y una variación positiva de 7.47%, la muestra con adición de marmolina al 7% tuvo un promedio de 47.5 kg/cm² y una variación positiva de 6.98%; la muestra con adición de marmolina al 9% tuvo un promedio de 45.8 kg/cm² y una variación positiva de 3.15%.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar investigaciones de distintas proporciones de mezcla entre la marmolina y el cemento para determinar la combinación óptima para maximizar la adherencia y la disminución del desgaste de la marmolina y el cemento.

Se recomienda realizar investigaciones de distintas proporciones de mezcla entre la marmolina y el cemento para determinar la combinación óptima para maximizar la resistencia mecánica del concreto.

Se recomienda realizar investigaciones de la marmolina al reemplazar con otros elementos del concreto, como agregado fino o grueso, para posicionar su eficacia en la resistencia mecánica del concreto.

CAPITULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI. (2020). Cement and Concrete Terminology. Michigan: ACI American Concrete Institute.
- Ahmad, J., Zhoud., Z & Farouk D. (2023). Hormigón autocompactante con sustitución parcial de residuos de mármol: una revisión. International Journal of Concrete Structures and Materials. <https://doi.org/10.1186/s40069-023-00585-5>
- ASTM. (2017). Especificación estándar ASTM D6868 para plásticos biodegradables utilizados como recubrimientos sobre papel y otros sustratos compostables. ASTM International, West Conshohocken PA3. <https://www.astm.org/d6868-03.html>
- Carpio Ronquillo, M., & Chong Kam, M. (2018). Prospección de recursos de rocas y minerales industriales en la región Junín. INGEMMET, Boletín Serie B: Geología Económica N° 50, 153.
- Chouhan, K. (19 de noviembre de 2020). Quora. Obtenido de segregación de hormigón: <https://www.quora.com/What-is-segregation-of-concrete>.
- Cordero Estévez, G. D., Cárdenas Gutiérrez, J. A., & Rojas Suárez., J. P. (2019). Diseño de mezclas de concreto aplicando el método ACI. Ecoe Ediciones.
- Cruz Orduña, A. H. (2017). Comparación de la resistencia mecánica a la compresión del concreto elaborado con residuos de mármol (Tesis de grado). Universidad de Huánuco, Huánuco. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/646>
- Diaz Tapia, R. (2023). Comparación de la resistencia al diseñar concretos $f'c=210$ y 280 kg/cm² con los métodos ACI, Walker y módulo de fineza con agregados de la cantera La Victoria de la ciudad de Chiclayo. Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Garay Pichardo, L., & Quispe Cotrina, C. (2016). Estudio del concreto elaborado en los vaciados de techos de vivienda en Lima y evaluación de alternativa de mejora mediante el empleo de aditivo superplastificante (reductor de agua de alto rango). Pontifica Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7625>

- Goicochea Trujillo, K. B & Inga Cruz, N. J. (2018). La marmolina y su influencia en las propiedades de concretos de alta resistencia $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$ para la ciudad de Trujillo (Tesis de grado). Universidad Privado Antenor Orrego. Trujillo. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/8055>
- Hidayawanti, R. Yhuanah,. Mayasari, D. & Wicaksono, B. (2020) El efecto de mármol-arena y residuos de mármol para la resistencia del hormigón. Conf.Ser.: Mater.Sci.Eng. 930 012024. doi:10.1088/1757-899X/930/1/012024
- Hunker (24 de enero del 2019). Hunker. Obtenido de Compresión de hormigón: <https://www.hunker.com/12003167/tension-vs-compression-of-concrete>.
- Jaimes Estupiñán, D. F., & García Caballero, J. J. (2020). Importancia del concreto en el campo de la construcción. *Formación Estratégica*, 2(1), 1–13. Recuperado a partir de <https://www.formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/18>
- Ofuyatan, OM, Olowofoyeku, AM, Obatoki, J. & Oluwafemi. J. (2019). Utilización de polvo de mármol en el hormigón. Serie de conferencias IOP: Ciencia e Ingeniería de materiales, 640(1), 12053. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/640/1/012053>.
- Ortega García, J. E. (2017). Diseño de Estructuras de Concreto Armado. Empresa Editorial Macro E.I.R.L.
- Quiliche Neira, J. S. (2018). Influencia del polvo de mármol y superplastificante sobre la compresión, porosidad, capacidad al paso y relleno de un concreto autocompactante, Trujillo 2018. Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/13200>
- Loya Olivera, L. F. (2018). Evaluación de la resistencia a la compresión del curado de concreto en obra y laboratorio en el distrito de Yanacancha, Pasco -2017. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Pasco.
- Matallana Rodríguez, R. (2019). El Concreto. Bogotá, Colombia: Compañía Colombiana de Cerámica
- Moreno, A., Ponce P., Múzquiz, E & Avalos, F. (2022). Residuos de mármol en materiales para la construcción: una revisión del uso del polvo de mármol en morteros, concretos

- y ladrillo. Revista ALCONPAT,12 (2), pp. 162 – 183, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v12i2.522>
- Neville, A. M. (2013). Tecnología del Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.
- Rivva, E. (2014). Diseño de Mezclas. Capítulo Peruano ACI. Lima – Perú.
- Rivera L. (2012). Concreto Simple. Universidad de Cauca.
- Santos, A., Villegas., N & Betancourt, J. (2012). Residuo de mármol como insumo en la construcción civil – diagnóstico de la Comarca Lagunera. Revista de la construcción. 2012, vol.11, n.2, pp.17-26. ISSN 0718-915X. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2012000200003>.
- Singh, M., Choudhary, K., Srivastava, A., Sangwan, K. S., & Bhunia, D. (2017), A study on environmental and economic impacts of using waste marble powder in concrete, Journal of Building Engineering, Volume 13, páginas 87-95, ISSN 2352-7102, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710217301031?via%3Dihub>.
- Torre Carrillo, A. (2004). Curso Básico de Tecnología del concreto. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C., & Ozawa Meida, L. (2001). Carbon dioxide emissions from the global cement industry. Energy Environ, 303.
- Zemajtis, J. Z. (12 de marzo de 2018). Asociación de cemento de Portland. Obtenido de Papel del curado del concreto: <https://www.cement.org/learn/concretetechnology/concrete-construction/curing-in-construction>.

NORMAS CITADAS

- NTP 334.009 (2020). CEMENTOS: Cementos Portland. Requisitos. 7a Edición. INACAL.
- NTP 339.034 (2021). CONCRETO: Determinación de la resistencia a la compresión del concreto de muestras cilíndricas. Método de ensayo. 5a Edición. INACAL.
- NTP 339.046 (2019). CONCRETO: Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico del concreto. 3a Edición. INACAL.
- NTP 339.047 (2019). CONCRETO: Definiciones y terminología relativas al concreto y agregados. 4a Edición. INACAL.
- NTP 339.078 (2023). CONCRETO: Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga a los tercios del tramo. 3ª Edición. INACAL
- NTP 339.079 (2017). CONCRETO: Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo. 3ª Edición. INACAL
- NTP 339.183 (2021). CONCRETO: Práctica para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. 3a Edición. INACAL.
- NTP 339.185 (2021). AGREGADOS: Contenido de humedad total evaporable del agregado por secado. INACAL.
- NTP 400.010. (2016). AGREGADOS: Extracción y preparación de las muestras. INACAL.
- NTP 400.011 (2020). AGREGADOS: Definición y clasificación de agregados para uso en mortero y concretos. INACAL.
- NTP 400.012 (2021). AGREGADOS: Análisis granulométricos del agregado fino y grueso. Método de ensayo. INACAL.
- NTP 400.017 (2020). AGREGADOS: Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. INACAL.

NTP 400.018 (2020). AGREGADOS: Determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 um (No. 200) por lavado en agregados. Método de ensayo. INACAL.

NTP 400.019 (2020). AGREGADOS: Determinación de la resistencia al desgaste en agregados de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles. Método de ensayo. INACAL.

NTP 400.021 (2020). AGREGADOS: Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo. INACAL.

NTP 400.022 (2021). AGREGADOS: Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. INACAL.

NTP 400.037 (2021). AGREGADOS: Agregados para concreto. Especificaciones. INACAL.

ANEXOS

ANEXO A: PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

A.1 Agregado Fino

A.1.1. Análisis Granulométrico

Tabla 24.

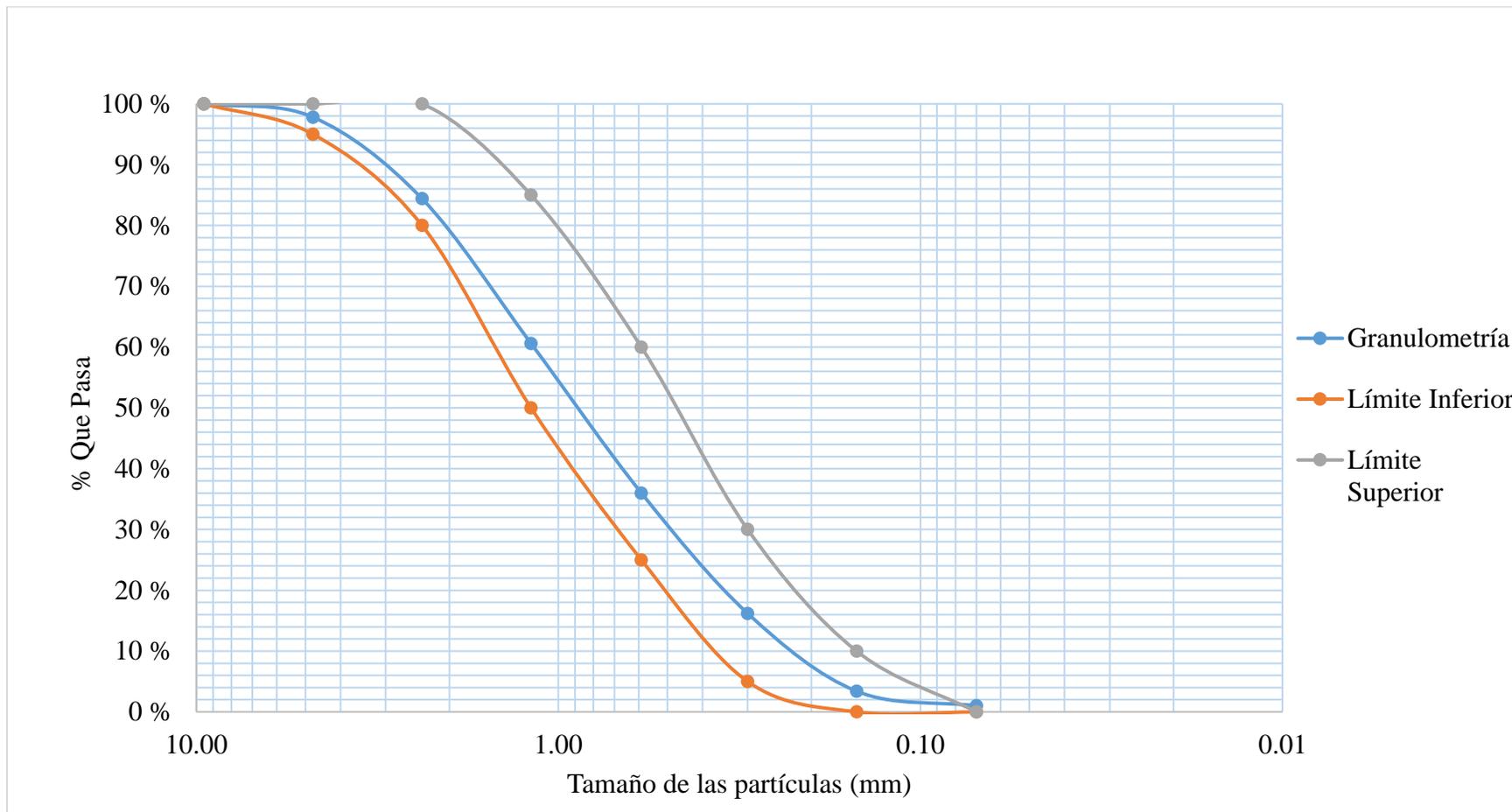
Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 01

| Malla | | Peso Ret. | (%) Ret. Parcial | (%) Acum. Ret. | (%) Acum. Que pasa |
|-------------------------|-------------|------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Pulg. | (mm) | | | | |
| 3/8" | 9.53 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| N° 04 | 4.76 | 11.00 | 2.20 | 2.20 | 97.80 |
| N° 08 | 2.38 | 67.00 | 13.40 | 15.60 | 84.40 |
| N °16 | 1.19 | 119.00 | 23.80 | 39.40 | 60.60 |
| N° 30 | 0.59 | 123.00 | 24.60 | 64.00 | 36.00 |
| N° 50 | 0.30 | 99.00 | 19.80 | 83.80 | 16.20 |
| N° 100 | 0.15 | 64.00 | 12.80 | 96.60 | 3.40 |
| N° 200 | 0.07 | 12.00 | 2.40 | 99.00 | 1.00 |
| < N° 200 | 0.00 | 5.00 | 1.00 | 100.00 | 0.00 |
| TOTAL | | 500.00 | 100.00 | | |
| Módulo de fineza | | | | 3.02 | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 10.

Curva Granulométrica del agregado fino – Ensayo N°01



Fuente: Elaboración propia

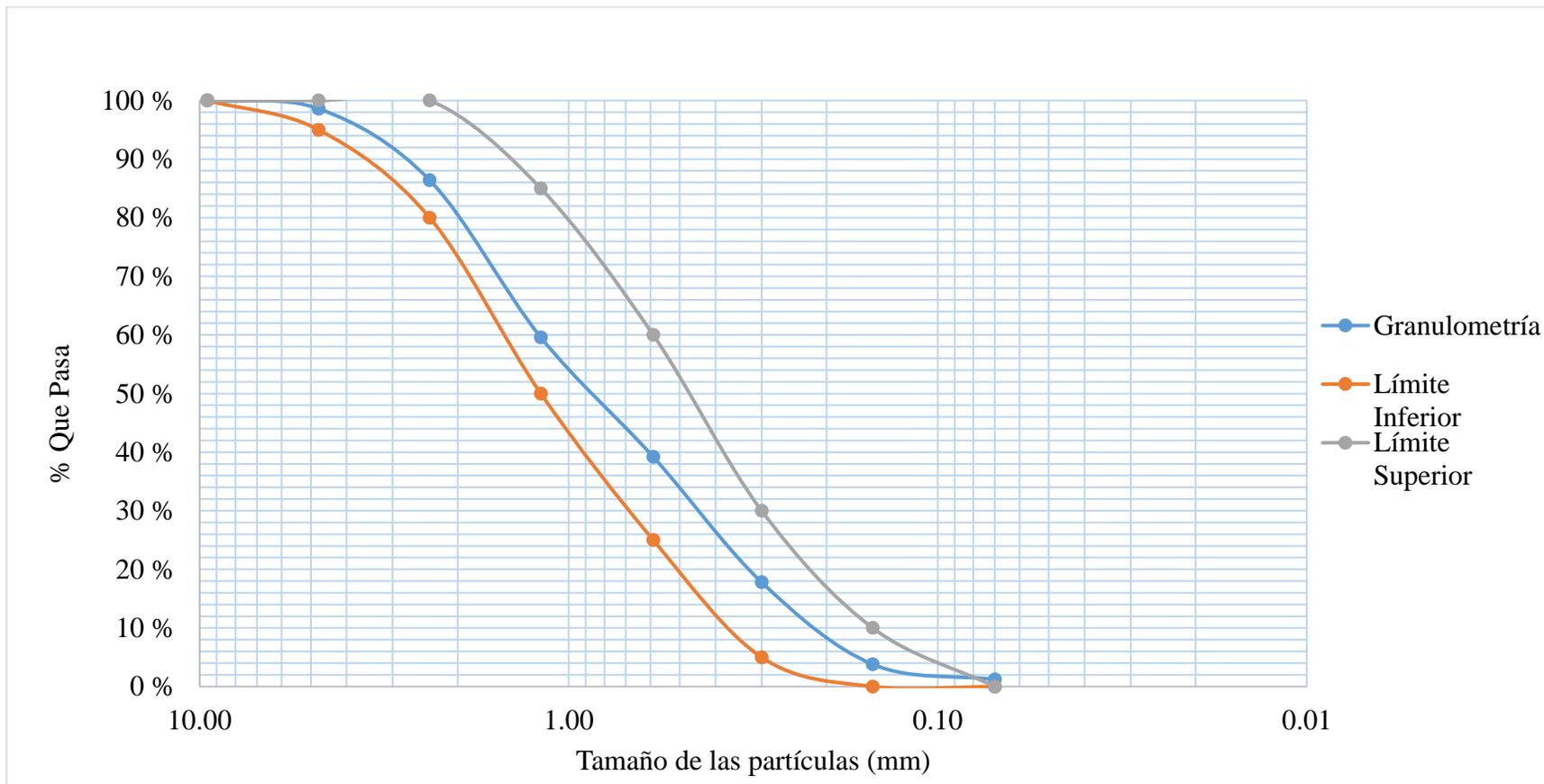
Tabla 25.*Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 02*

| Malla | | Peso Ret. | (%) Ret. Parcial | (%) Acum. Ret. | (%) Acum. Que pasa |
|-------------------------|-------------|------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| Pulg. | (mm) | | | | |
| 3/8" | 9.53 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| N° 04 | 4.76 | 7.00 | 1.40 | 1.40 | 98.60 |
| N° 08 | 2.38 | 61.00 | 12.20 | 13.60 | 86.40 |
| N °16 | 1.19 | 134.00 | 26.80 | 40.40 | 59.60 |
| N° 30 | 0.59 | 102.00 | 20.40 | 60.80 | 39.20 |
| N° 50 | 0.30 | 107.00 | 21.40 | 82.20 | 17.80 |
| N° 100 | 0.15 | 70.00 | 14.00 | 96.20 | 3.80 |
| N° 200 | 0.07 | 13.00 | 2.60 | 98.80 | 1.20 |
| < N° 200 | 0.00 | 6.00 | 1.20 | 100.00 | 0.00 |
| TOTAL | | 500.00 | 100.00 | | |
| Módulo de fineza | | | | 2.95 | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 11.

Curva Granulométrica del agregado fino - Ensayo N° 02



Fuente: Elaboración propia

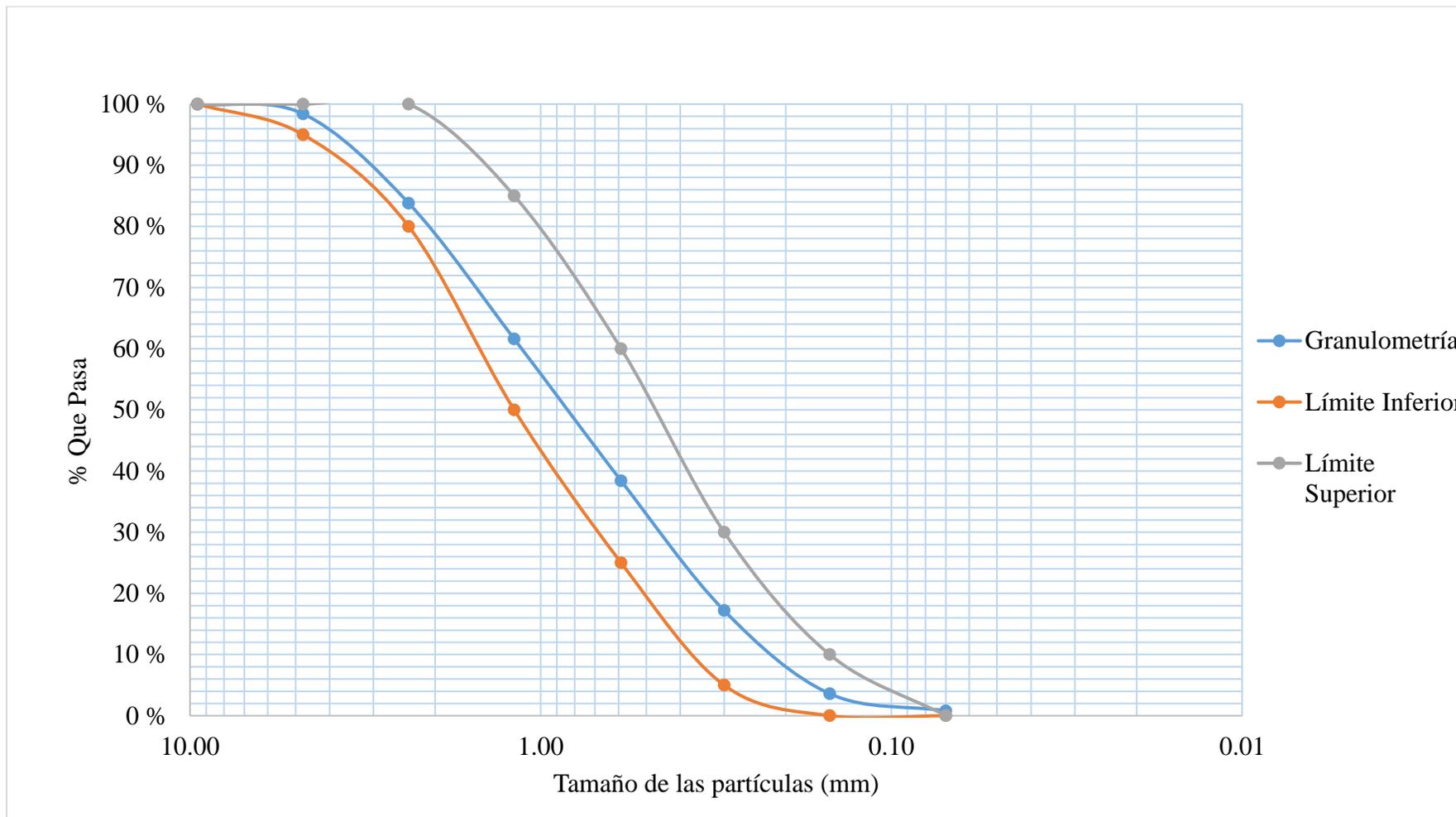
Tabla 26.*Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 03*

| Malla | | Peso Ret. | (%) Ret. Parcial | (%) Acum. Ret. | (%) Acum. Que pasa |
|-------------------------|-------------|------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| Pulg. | (mm) | | | | |
| 3/8" | 9.53 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| N° 04 | 4.76 | 8.00 | 1.60 | 1.60 | 98.40 |
| N° 08 | 2.38 | 73.00 | 14.60 | 16.20 | 83.80 |
| N °16 | 1.19 | 111.00 | 22.20 | 38.40 | 61.60 |
| N° 30 | 0.59 | 116.00 | 23.20 | 61.60 | 38.40 |
| N° 50 | 0.30 | 106.00 | 21.20 | 82.80 | 17.20 |
| N° 100 | 0.15 | 68.00 | 13.60 | 96.40 | 3.60 |
| N° 200 | 0.07 | 14.00 | 2.80 | 99.20 | 0.80 |
| < N° 200 | 0.00 | 4.00 | 0.80 | 100.00 | 0.00 |
| TOTAL | | 500.00 | 100.00 | | |
| Módulo de fineza | | | 2.97 | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 12.

Curva Granulométrica del agregado fino- – Ensayo N° 03



Fuente: Elaboración propia

A.1.2. Peso Específico y Absorción

Tabla 27.

Ensayo Peso Específico y Absorción del agregado fino

| Descripción | M - 1 | M - 2 | M - 3 | Promedio |
|---|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| (A) Peso de la muestra secada al horno (g) | 2167 | 2174 | 2094 | |
| (B) Peso de la muestra S.S.S (g) | 2196 | 2205 | 2123 | |
| Peso de la Canastilla (g) | 3845 | 3517 | 3446 | |
| Peso de la canastilla (g) | 2311 | 2311 | 2311 | |
| (C) Peso en el agua de muestra saturada (g) | 1324 | 1306 | 1338 | |
| RESULTADOS | | | | |
| Peso Específico de la masa | 2.49 | 2.42 | 2.67 | 2.52 |
| Peso Específico de la masa S.S.S | 2.52 | 2.45 | 2.70 | 2.56 |
| Peso Específico Aparente | 2.57 | 2.50 | 2.77 | 2.62 |
| Porcentaje de Absorción | 1.34 | 1.43 | 1.38 | 1.38 |

Fuente: Elaboración propia

A.1.3. Peso Unitario

A.1.3.1. Peso Específico del Agua y Factor F

Tabla 28.

Ensayo de peso específico del agua y factor F del agregado fino

| Descripción | M-1 | M-2 | M-3 | Promedio |
|---|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Peso recipiente+Vidrio (kg) | 4.398 | 4.398 | 4.398 | |
| Peso recipiente+Vidrio + Agua (kg) | 7.408 | 7.408 | 7.408 | |
| Peso del agua (kg) | 3.010 | 3.010 | 3.010 | |
| Peso específico del agua a 20.4 ° (kg/m ³) | 998.113 | 998.113 | 998.113 | |
| Factor F (1/m³) | 331.599 | 331.599 | 331.599 | 331.599 |

Fuente: Elaboración propia

A.1.3.2. Peso Unitario Suelto Seco

Tabla 29.*Ensayo de peso unitario suelto seco del agregado fino*

| Descripción | M-1 | M-2 | M-3 | Promedio |
|--|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Peso del recipiente (kg) | 3.870 | 3.870 | 3.870 | |
| Peso del recipiente + Peso de la muestra suelta (kg) | 8.310 | 8.387 | 8.234 | |
| Peso de la muestra suelta (kg) | 4.440 | 4.517 | 4.364 | |
| Factor F (1/m ³) | 331.599 | 331.599 | 331.599 | |
| Peso Unitario Suelto Seco (g/cm ³) | 1.47 | 1.50 | 1.45 | 1.47 |
| PUSS (kg/m³) | 1472.30 | 1497.83 | 1447.10 | 1472.41 |

Fuente: Elaboración propia

A.1.3.3. Peso Unitario Suelto Compacto**Tabla 30.***Ensayo de peso unitario suelto compacto del agregado fino*

| Descripción | M-1 | M-2 | M-3 | Promedio |
|--|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Peso del recipiente (kg) | 4.193 | 4.193 | 4.193 | |
| Peso del recipiente + Peso de la muestra suelta (kg) | 19.853 | 19.819 | 19.447 | |
| Peso de la muestra suelta (kg) | 15.660 | 15.626 | 15.254 | |
| Factor F (1/m ³) | 102.067 | 102.067 | 102.067 | |
| Peso Unitario Suelto Compactado (g/cm ³) | 1.60 | 1.59 | 1.56 | 1.58 |
| PUSC (kg/m³) | 1598.37 | 1594.90 | 1556.93 | 1583.40 |

Fuente: Elaboración propia

A.1.4. Material más fino que pasa el tamiz N°200

Tabla 31.*Ensayo de partículas que pasa el tamiz N°200 del agregado fino*

| Descripción | M-1 | M-2 | M-3 | Promedio |
|---|-------------|-------------|-------------|-----------------|
| Peso de la muestra original (g) | 395.00 | 445.00 | 470.00 | |
| Peso de la muestra lavada (g) | 386.00 | 433.00 | 455.00 | |
| Peso del material que pasa el tamiz N°200 (g) | 9.00 | 12.00 | 15.00 | |
| Material que pasa el Tamiz N°200 (%) | 2.28 | 2.70 | 3.19 | 2.72 |

Fuente: Elaboración propia

A.1.5. Contenido de Humedad (%)**Tabla 32.***Ensayo contenido de humedad del agregado fino*

| Descripción | M-1 | M-2 | M-3 | Promedio |
|--|-------------|-------------|-------------|-----------------|
| Peso del recipiente (g) | 128.00 | 82.00 | 93.00 | |
| Peso del recipiente + muestra húmeda (g) | 2954.00 | 2127.00 | 2393.00 | |
| Peso del recipiente + muestra seca (g) | 2780.00 | 1995.00 | 2250.00 | |
| Peso de la muestra húmeda(g) | 2826.00 | 2045.00 | 2300.00 | |
| Peso de la muestra seca (g) | 2652.00 | 1913.00 | 2157.00 | |
| Contenido de humedad (%) | 6.56 | 6.90 | 6.63 | 6.70 |

Fuente: Elaboración propia

A.2 Agregado Grueso

A.2.1. Análisis Granulométrico

Tabla 33.

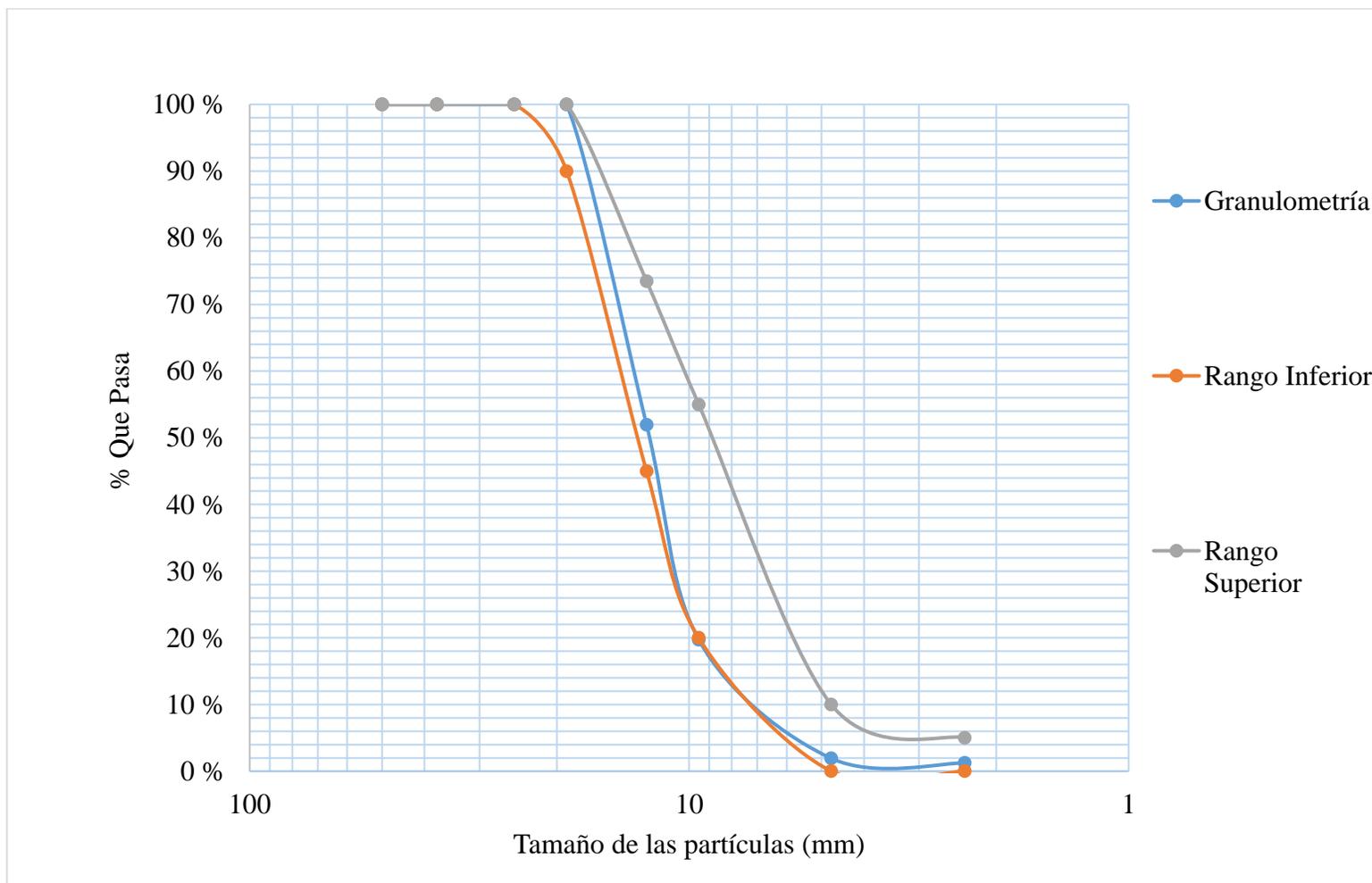
Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 01

| Malla | | Peso Ret. | (%) Ret. | (%) Acum. Ret. | (%) Acum. Que pasa |
|-------------------------|-------------|------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|
| Pulg. | (mm) | | | | |
| 2" | 50.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 37.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.50 | 1243.00 | 48.03 | 48.03 | 51.97 |
| 3/8" | 9.51 | 835.00 | 32.26 | 80.29 | 19.71 |
| N° 04 | 4.75 | 460.00 | 17.77 | 98.07 | 1.93 |
| N° 08 | 2.36 | 18.00 | 0.70 | 98.76 | 1.24 |
| N °16 | 1.18 | 32.00 | 1.24 | 100.00 | |
| TOTAL | | 2588.00 | 100.00 | | |
| Módulo de Fineza | | | 6.77 | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 13.

Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Ensayo N° 01



Fuente: Elaboración propia

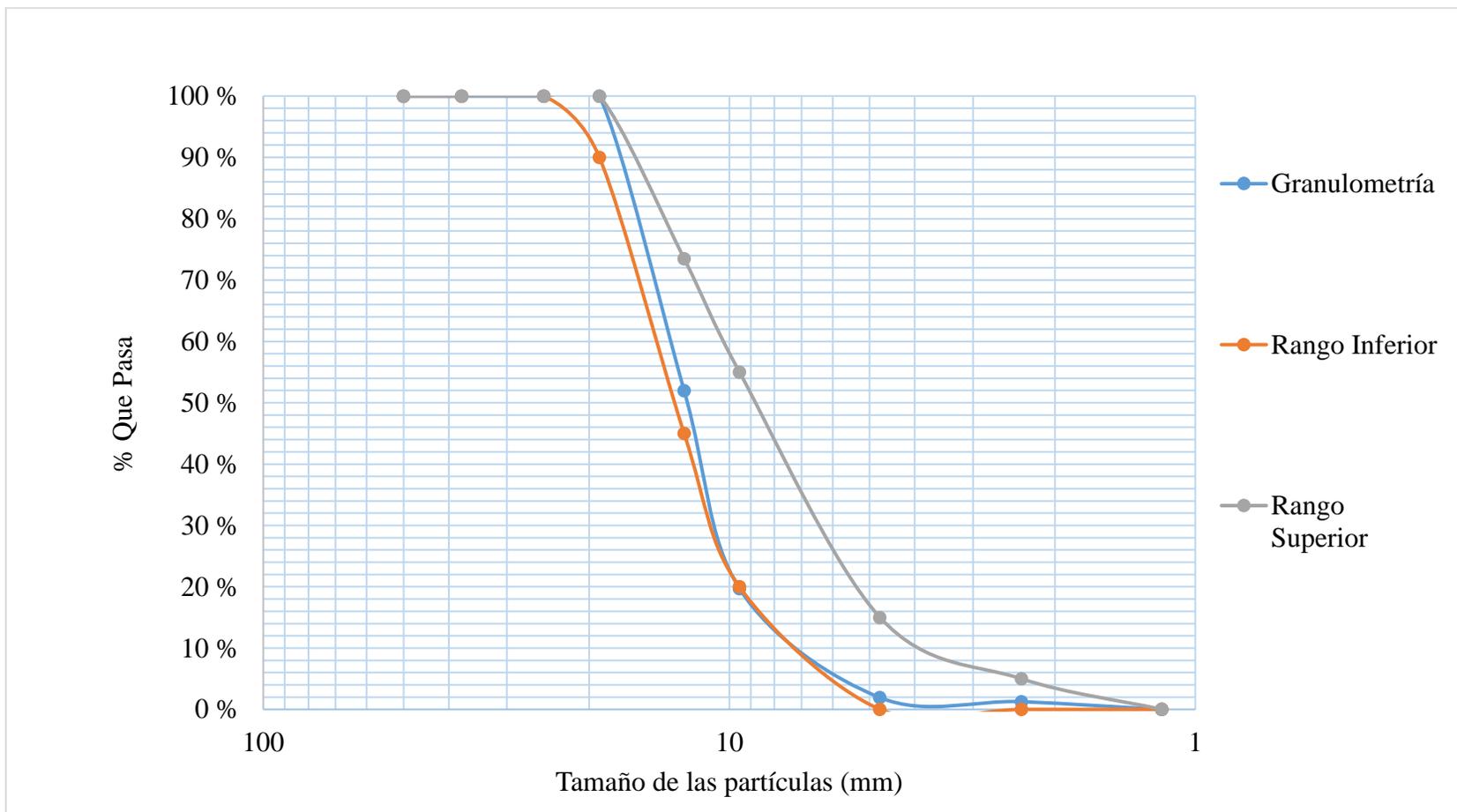
Tabla 34.*Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 02*

| Malla | | Peso Ret. | (%) Ret. | (%) Acum. Ret. | (%) Acum. Que pasa |
|-------------------------|-------------|------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|
| Pulg. | (mm) | | | | |
| 2" | 50.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 37.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.50 | 1367.00 | 48.02 | 48.02 | 51.98 |
| 3/8" | 9.51 | 919.00 | 32.28 | 80.30 | 19.70 |
| N° 04 | 4.75 | 506.00 | 17.77 | 98.07 | 1.93 |
| N° 08 | 2.36 | 19.00 | 0.67 | 98.74 | 1.26 |
| N °16 | 1.18 | 36.00 | 1.26 | 100.00 | 0.00 |
| TOTAL | | 2847.00 | 100.00 | | |
| Módulo de Fineza | | | 6.77 | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 14.

Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Ensayo N° 02



Fuente: Elaboración propia

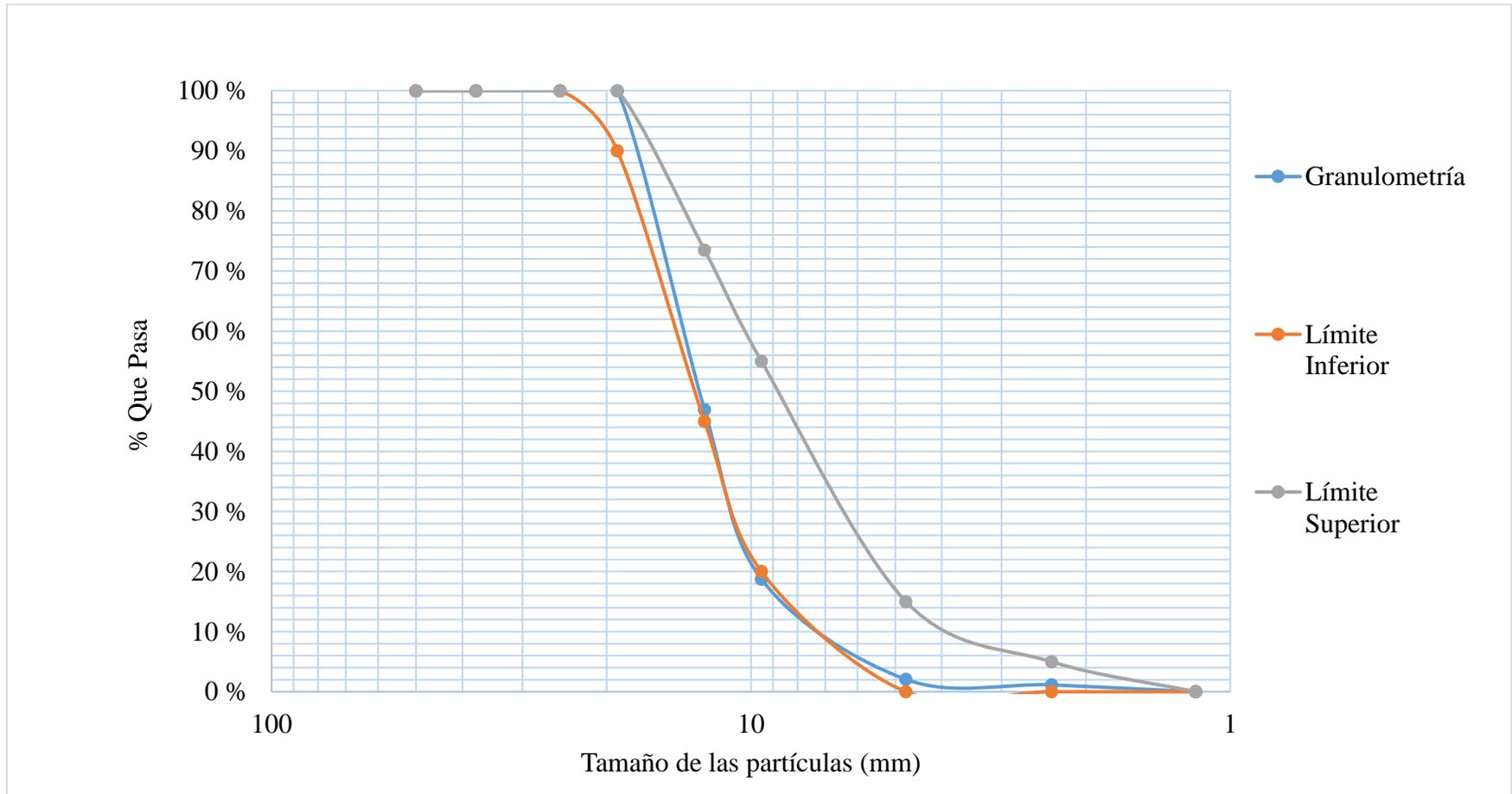
Tabla 35.*Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 03*

| Malla | | Peso Ret. | (%) Ret. | (%) Acum. Ret. | (%) Acum. Que pasa |
|-------------------------|-------------|------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|
| Pulg. | (mm) | | | | |
| 2" | 50.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 37.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1/2" | 12.50 | 1390.00 | 53.07 | 53.07 | 46.93 |
| 3/8" | 9.51 | 738.00 | 28.18 | 81.25 | 18.75 |
| N° 04 | 4.75 | 437.00 | 16.69 | 97.94 | 2.06 |
| N° 08 | 2.36 | 24.00 | 0.92 | 98.85 | 1.15 |
| N °16 | 1.18 | 30.00 | 1.15 | 100.00 | 0.00 |
| TOTAL | | 2619.00 | 100.00 | | |
| Módulo de Fineza | | | | 6.78 | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 15.

Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Ensayo N° 03



Fuente: Elaboración propia

A.2.2. Peso Específico y Absorción

Tabla 36.

Ensayo Peso Específico y Absorción del agregado grueso

| Descripción | M - 1 | M - 2 | M - 3 | Promedio |
|---|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| (C) Peso de la arena S.S.S +Peso Picnómetro + Peso Agua (g) | 980.00 | 973.00 | 996.00 | |
| (B) Peso Picnómetro + Peso Agua (g) | 673.00 | 664.00 | 689.00 | |
| (A) Peso de la arena secada al horno | 488.00 | 491.00 | 489.00 | |
| (S) Volumen del Picnómetro (V=500 ml) | 500.00 | 500.00 | 500.00 | |
| RESULTADOS | | | | |
| Peso Específico de la masa (g/cm³) | 2.53 | 2.57 | 2.53 | 2.54 |
| Peso Específico de la masa S.S.S (g/cm³) | 2.59 | 2.62 | 2.59 | 2.60 |
| Peso Específico Aparente (g/cm³) | 2.70 | 2.70 | 2.69 | 2.69 |
| Porcentaje de Absorción (%) | 2.46 | 1.83 | 2.25 | 2.18 |

Fuente: Elaboración propia

A.2.3. Peso Unitario

A.2.3.1. Peso Específico del Agua y Factor F

Tabla 37.

Ensayo de peso específico del agua y factor F del agregdo grueso

| Descripción | M-1 | M-2 | M-3 | Promedio |
|--|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Peso recipiente+Vidrio (kg) | 6.473 | 6.473 | 6.473 | |
| Peso recipiente+Vidrio + Agua (kg) | 16.252 | 16.252 | 16.252 | |
| Peso del agua (kg) | 9.779 | 9.779 | 9.779 | |
| Peso específico del agua a 20.4 ° (kg/m ³) | 998.113 | 998.113 | 998.113 | |
| Factor F (1/m³) | 102.067 | 102.067 | 102.067 | 102.067 |

Fuente: Elaboración propia

A.2.3.2. Peso Unitario Suelto Seco

Tabla 38.

Ensayo de peso unitario suelto seco del agregado grueso

| Descripción | M-1 | M-2 | M-3 | Promedio |
|--|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Peso del recipiente (kg) | 4.193 | 4.193 | 4.193 | |
| Peso del recipiente + Peso de la muestra suelta (kg) | 18.512 | 18.662 | 18.135 | |
| Peso de la muestra suelta (kg) | 14.319 | 14.469 | 13.942 | |
| Factor F (1/m ³) | 102.067 | 102.067 | 102.067 | |
| Peso Unitario Suelto Seco (g/cm ³) | 1.46 | 1.48 | 1.42 | 1.45 |
| PUSS (kg/m³) | 1461.50 | 1476.81 | 1423.02 | 1453.77 |

Fuente: Elaboración propia

A.2.3.3. Peso Unitario Suelto Compacto

Tabla 39.

Ensayo de peso unitario suelto compacto del agregado grueso

| Descripción | M-1 | M-2 | M-3 | Promedio |
|--|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Peso del recipiente (kg) | 4.193 | 4.193 | 4.193 | |
| Peso del recipiente + Peso de la muestra suelta (kg) | 19.853 | 19.819 | 19.447 | |
| Peso de la muestra suelta (kg) | 15.660 | 15.626 | 15.254 | |
| Factor F (1/m ³) | 102.067 | 102.067 | 102.067 | |
| Peso Unitario Suelto Seco (g/cm ³) | 1.60 | 1.59 | 1.56 | 1.58 |
| PUSS (kg/m³) | 1598.37 | 1594.90 | 1556.93 | 1583.40 |

Fuente: Elaboración propia

A.2.4. Material más fino que pasa el tamiz N°200

Tabla 40.

Ensayo de partículas que pasa el tamiz N°200 del agregado grueso

| Descripción | M-1 | M-2 | M-3 | Promedio |
|---|-------------|-------------|-------------|-----------------|
| Peso de la muestra original (g) | 1250.00 | 1265.00 | 1225.00 | |
| Peso de la muestra lavada (g) | 1243.00 | 1259.00 | 1221.00 | |
| Peso del material que pasa el tamiz N°200 (g) | 7.00 | 6.00 | 4.00 | |
| Material que pasa el Tamiz N°200 (%) | 0.56 | 0.47 | 0.33 | 0.45 |

Fuente: Elaboración propia

A.2.5. Contenido de Humedad (%)

Tabla 41.

Ensayo contenido de humedad del agregado grueso

| Descripción | M-1 | M-2 | M-3 | Promedio |
|--|-------------|-------------|-------------|-----------------|
| Peso del recipiente (g) | 84.00 | 80.00 | 136.00 | |
| Peso del recipiente + muestra húmeda (g) | 2821.00 | 2885.00 | 3086.00 | |
| Peso del recipiente + muestra seca (g) | 2765.00 | 2822.00 | 3030.00 | |
| Peso de la muestra húmeda(g) | 2737.00 | 2805.00 | 2950.00 | |
| Peso de la muestra seca (g) | 2681.00 | 2742.00 | 2894.00 | |
| Contenido de humedad (%) | 2.09 | 2.30 | 1.94 | 2.11 |

Fuente: Elaboración propia

A.2.6. Abrasión

Tabla 42.

Ensayo de abrasión del agregado grueso

| Gradación - Equipo Mecánico | N° de Esferas | Velocidad (rev./min) | N° de Rev | Tamaño Máximo | Peso de la Muestra (g) |
|---|----------------------|-----------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|
| B - Máquina de los Ángeles | 11 | 30-33 | 500 | 1/2" | 5000 |
| Descripción | | | M-1 | M-2 | M-3 |
| Peso inicial de la muestra seca al horno (g) | | | 5000 | 5000 | 5000 |
| Peso retenido en la malla N°12 lavado y secado al horno (g) | | | 3509 | 3529 | 3497 |
| $\% \text{ Desgaste} = ((P_i - P_f) / P_i) \times 100$ | | | 29.82 | 29.42 | 30.06 |
| % Desgaste Promedio | | | 29.77 | | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO B: TABLAS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

Tabla 43.

Volumen unitario de Agua (Rivva, 2013)

| Tipo de concreto | Asentamiento | Agua en l/m ³ para los tamaños máximos nominales del agregado grueso y consistencia indicados | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|--|------|------|-----|--------|-----|-----|-----|
| | | TMN del Agregado Grueso | | | | | | | |
| | | 3/8" | 1/2" | 3/4" | 1" | 1 1/2" | 2" | 3" | 6" |
| Sin aire incorporado | 1" a 2" | 205 | 200 | 185 | 180 | 160 | 155 | 145 | 125 |
| | 3" a 4" | 225 | 215 | 195 | 195 | 175 | 170 | 160 | 140 |
| | 6" a 7" | 240 | 230 | 210 | 205 | 185 | 180 | 170 | |
| Con aire incorporado | 1" a 2" | 181 | 175 | 168 | 160 | 150 | 142 | 122 | 107 |
| | 3" a 4" | 202 | 193 | 184 | 175 | 165 | 157 | 133 | 119 |
| | 6" a 7" | 216 | 205 | 197 | 184 | 174 | 166 | 154 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44.

Contenido de aire (Rivva, 2013)

| Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso | Aire Atrapado |
|---|---------------|
| 3/8" | 3.00% |
| 1/2" | 2.50% |
| 3/4" | 2.00% |
| 1" | 1.50% |
| 1 1/2" | 1.00% |
| 2" | 0.50% |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45.*Relación a/c de diseño (Rivva, 2013)*

| Resistencia a la compresión a los 28 días, f'c (kg/cm ²) | Relación a/c de diseño en peso | |
|---|----------------------------------|----------------------------------|
| | Concreto sin aire Incorporado | Concreto con aire Incorporado |
| 450 | 0.38 | |
| 400 | 0.43 | |
| 350 | 0.48 | 0.40 |
| 300 | 0.55 | 0.46 |
| 250 | 0.62 | 0.53 |
| 200 | 0.70 | 0.61 |
| 150 | 0.80 | 0.71 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46.*Módulo de fineza de la combinación de agregados (Rivva, 2013)*

| Agregado Grueso | | Módulo de fineza de la combinación de agregados, el cual da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cementos en saco / m ³ indicados | | | | |
|--------------------|--------|--|------|------|------|------|
| (TMN) | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 9.5 | 3/8" | 3.88 | 3.96 | 4.04 | 4.11 | 4.19 |
| 12.5 | 1/2" | 4.38 | 4.46 | 4.54 | 4.61 | 4.69 |
| 19 | 3/4" | 4.88 | 4.96 | 5.04 | 5.11 | 5.19 |
| 25 | 1" | 5.18 | 5.26 | 5.34 | 5.41 | 5.49 |
| 37.5 | 1 1/2" | 5.48 | 5.56 | 5.64 | 5.71 | 5.79 |
| 50 | 2" | 5.86 | 5.86 | 5.94 | 6.01 | 6.09 |
| 75 | 3" | 6.16 | 6.16 | 6.24 | 6.31 | 6.39 |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C: DISEÑO DE LA MEZCLA

DISEÑO PATRÓN DEL CONCRETO

TESIS

INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE MARMOLINA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO F'C 210 KG/CM²

TESISTA

Vera Casanova, Robinson Justiniano

Datos de los agregados

| Propiedades | Agregado Grueso | Agregado Fino |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| TMN | 1/2" | |
| Peso Específico Masa | 2.52gr/cm ³ | 2.54gr/cm ³ |
| Peso Específico Aparente | 2.69gr/cm ³ | 2.62gr/cm ³ |
| Peso Unitario Suelto | 1453.77kg/m ³ | 1472.41kg/m ³ |
| Peso Unitario Compactado | 1583.40kg/m ³ | 1733.71kg/m ³ |
| Contenido de Humedad | 2.11% | 6.70% |
| Absorción | 1.38% | 2.18% |
| Módulo de Finura | 6.77 | 2.98 |
| Abrasión | 29.77% | |
| % Que pasa malla N° 200 | 0.63% | 3.40% |

Datos del cemento

Peso específico 3.11gr/cm³

Diseño

| | | |
|----------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | f'cr= | 231 kg/cm ² |
| 2 | Tamaño Máximo Nominal | 1/2" |
| 3 | Asentamiento | 3-4" |
| 4 | Cantidad de agua | 216 lt/m ³ (Tabla 43) |
| 5 | Cantidad de aire atrapado | 2.50% (Tabla 44) |
| 6 | Relación a/c (por resistencia) | (Tabla 45) |
| | 250 | 0.62 |
| | 231 kg/cm ² | x |
| | 200 | 0.7 |
| | a/c = | 0.6504 |

7 Contenido de cemento

$$c = 332.10 \text{ kg}$$

$$\text{Factor } c = 7.814195789$$

8 Cálculo de la suma de los volúmenes absolutos de todos los materiales sin considerar agregados

| | |
|-----------------|----------------------|
| Cemento | 0.107 m ³ |
| Agua | 0.216 m ³ |
| Vol. Aire | 0.025 m ³ |
| Vol de la pasta | 0.348 m ³ |

9 Determinar el volumen del agregado total

| | |
|------------------|----------------------|
| Vol. Agreg Total | 0.652 m ³ |
|------------------|----------------------|

10 Cálculo del valor m y grado de incidencia de los agregados

(Tabla 46)

| | |
|----------------------|--------|
| 7 | 4.54 |
| 7.81 | x |
| 8 | 4.61 |
| m = | 4.60 |
| % Agreg. Fino (rf) | 57.93% |
| % Agreg. Grueso (rg) | 42.07% |

11 Cálculo del volumen del Agreg. Fino y grueso

| | |
|----------------------|----------------------|
| Cemento | 0.107 m ³ |
| Agua | 0.216 m ³ |
| Vol. Aire | 0.025 m ³ |
| Vol. Agregado fino | 0.38 m ³ |
| Vol. Agregado grueso | 0.274 m ³ |
| Total | 1.000 m ³ |

12 Cálculo de los Pesos de los agregados

| | |
|--------------------------|-----------|
| Peso del agregado fino | 961.31 kg |
| Peso del agregado grueso | 692.27 kg |

13 Presentación del diseño en estado seco

| | |
|-----------------|------------|
| Cemento | 332.10 kg |
| Agua | 216.00 lts |
| Aire | 2.50% |
| Agregado fino | 961.31 kg |
| Agregado grueso | 692.27 kg |

14 Corrección por humedad de los agregados

| | |
|-----------------|-------------|
| Agregado fino | 1,025.72 kg |
| Agregado grueso | 706.87 kg |

15 Humedad superficial

| | |
|-----------------|------|
| Agregado fino | 4.52 |
| Agregado grueso | 0.73 |

16 Aporte de agua a la mezcla

| | |
|-----------------|-----------|
| Agregado fino | 46.36 lts |
| Agregado grueso | 5.16 lts |
| Agua libre | 51.52 lts |

17 Proporción en peso

| | |
|---------------|-------------|
| Cemento | 332.10 kg |
| Ag. Fino | 1,025.72 kg |
| Ag. Grueso | 706.87 kg |
| Agua Efectiva | 164.48 lts |

18 Proporción por tanda (0.020 m³)

| | |
|------------|----------|
| Cemento | 6.64 kg |
| Ag. Fino | 20.51 kg |
| Ag. Grueso | 14.14 kg |
| Agua | 3.29 lts |

AJUSTES POR LAS CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA

1 Volúmenes Absolutos (Diseño de la mezcla)

| | |
|----------------------|----------|
| Cemento | 0.107 m3 |
| Agua | 0.216 m3 |
| Vol. Aire | 0.025 m3 |
| Vol. Agregado fino | 0.378 m3 |
| Vol. Agregado grueso | 0.274 m3 |

2 Peso seco de los materiales de diseño por m³

| | |
|-----------------|------------|
| Cemento | 332.10 kg |
| Agua de diseño | 216.00 lts |
| Ag. Fino seco | 961.31 kg |
| Ag. Grueso seco | 692.27 kg |

3 Corrección de humedad de los agregados

| | |
|------------------------------|-----------|
| Aporte de humedad Ag. Fino | 46.36 lts |
| Aporte de humedad Ag. Grueso | 5.16 lts |
| Aporte Total | 51.52 lts |

4 Materiales corregidos por Humedad

| | |
|-----------------|-------------|
| Cemento | 332.10 kg |
| Agua efectiva | 164.48 lts |
| Ag. Fino seco | 1,025.72 kg |
| Ag. Grueso seco | 706.87 kg |

5 Datos obtenidos en laboratorio

| | |
|----------------------|---------------|
| Apariencia | Buena |
| Trabajabilidad | Satisfactoria |
| Asentamiento | 8.57 cm |
| Agua Faltante | 0.82 lts |
| Peso Unitario Fresco | 2304.87 |

6 Tanda Total (0.020 m³)

| | |
|-----------------|----------|
| Cemento | 6.64 kg |
| Agua efectiva | 3.29 lts |
| Ag. Fino húmedo | 20.51 kg |

| | |
|--|-------------|
| Ag. Grueso húmedo | 14.14 kg |
| Total de tanda | 44.58 kg |
| 7 Rendimiento | |
| Sumatoria tanda/P. U concreto fresco | 0.01934 |
| 8 Agua de mezcla por tanda | |
| Aporte Ag. Fino | 0.90 lts |
| Aporte Ag. Grueso | 0.10 lts |
| Agua Efectiva (Diseño original) | 3.29 lts |
| Agua Faltante | 0.82 lts |
| Agua de mezclado por tanda | 5.10 lts |
| 9 Agua de mezcla por m3 | |
| Agua de mezcla | 263.85 lts |
| 10 Cálculo del cemento (nueva cantidad) | |
| Cemento | 405.67 kg |
| 11 Determinación del agregado grueso | |
| Agregado grueso húmedo | 730.8764477 |
| Agregado grueso seco | 715.7736243 |
| Agregado grueso SSS | 720.9276462 |
| Determinación del agregado | |
| 12 fino | |
| Cemento | 0.130440568 |
| Agua de diseño | 0.263847876 |
| Aire | 0.025 |
| Ag. Grueso seco | 0.283698543 |
| Ag. Fino seco | 0.297013013 |
| 13 Peso seco de los materiales de diseño por m3 | |
| Cemento | 405.67 kg |
| Agua de diseño | 263.85 lts |
| Ag. Fino seco | 749.37 kg |

| | |
|--|------------|
| Ag. Grueso seco | 715.77 kg |
| 18 Corrección por humedad de los agregados | |
| Agregado fino | 799.57 kg |
| Agregado grueso | 730.88 kg |
| 15 Humedad superficial | |
| Agregado fino | 4.52 |
| Agregado grueso | 0.73 |
| 16 Aporte de agua a la mezcla | |
| Agregado fino | 36.14 lts |
| Agregado grueso | 5.34 lts |
| Agua libre | 41.48 lts |
| 17 Agua efectiva | |
| Agua efectiva | 222.37 lts |
| 18 Proporción del diseño | |
| Cemento | 405.67 kg |
| Ag. Fino | 799.57 kg |
| Ag. Grueso | 730.88 kg |
| Agua efectiva | 222.37 lts |
| 19 Proporción por tanda (0.020 m³) | |
| Cemento | 8.11 kg |
| Ag. Fino | 15.99 kg |
| Ag. Grueso | 14.62 kg |
| Agua | 4.45 kg |

ANEXO D: PROPIEDADES DEL CONCRETO

D.1. Peso unitario del concreto fresco

Tabla 47.

Peso unitario del concreto fresco de la muestra patrón Y adición de marmolina 3%

| Muestra Patrón | Peso del recipiente (kg) | Peso del recipiente + Concreto(kg) | Peso del concreto (kg) | Factor "F" | Peso Unitario del Concreto Fresco (kg/m ³) |
|-------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------|------------|--|
| 1 | 8.549 | 21.558 | 13.009 | 181.905 | 2366.41 |
| 2 | 8.540 | 21.564 | 13.024 | 182.816 | 2381.00 |
| 3 | 8.603 | 21.715 | 13.112 | 180.491 | 2366.60 |
| 4 | 8.614 | 21.716 | 13.102 | 181.910 | 2383.38 |
| 5 | 8.563 | 21.591 | 13.028 | 179.045 | 2332.59 |
| 6 | 8.580 | 21.621 | 13.041 | 182.543 | 2380.55 |
| 7 | 8.632 | 21.704 | 13.072 | 183.277 | 2395.80 |
| 8 | 8.599 | 21.588 | 12.989 | 182.446 | 2369.79 |
| 9 | 8.614 | 21.570 | 12.956 | 182.606 | 2365.84 |
| 10 | 8.529 | 21.519 | 12.990 | 181.965 | 2363.73 |
| 11 | 8.556 | 21.471 | 12.915 | 180.870 | 2335.94 |
| 12 | 8.856 | 21.537 | 12.681 | 181.758 | 2304.87 |
| Promedio | | | | | 2362.21 |
| Muestra con AM 3% | Peso del recipiente (kg) | Peso del recipiente + Concreto(kg) | Peso del concreto (kg) | Factor "F" | Peso Unitario del Concreto Fresco (kg/m ³) |
| 1 | 8.539 | 21.509 | 12.97 | 182.389 | 2365.59 |
| 2 | 8.609 | 21.401 | 12.792 | 181.919 | 2327.11 |
| 3 | 8.602 | 21.594 | 12.992 | 182.906 | 2376.31 |
| 4 | 8.128 | 21.14 | 13.012 | 181.499 | 2361.66 |
| 5 | 8.553 | 21.516 | 12.963 | 181.403 | 2351.53 |
| 6 | 8.577 | 21.584 | 13.007 | 180.998 | 2354.24 |
| 7 | 8.688 | 21.739 | 13.051 | 181.113 | 2363.71 |
| 8 | 8.586 | 21.593 | 13.007 | 179.692 | 2337.26 |
| 9 | 7.261 | 20.331 | 13.07 | 183.145 | 2393.71 |
| 10 | 7.253 | 20.417 | 13.164 | 181.405 | 2388.01 |
| 11 | 7.075 | 20.189 | 13.114 | 183.546 | 2407.02 |
| 12 | 7.303 | 20.393 | 13.09 | 182.093 | 2383.60 |
| Promedio | | | | | 2367.48 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48.*Peso unitario del concreto fresco de la muestra con adición de marmolina 5 y 7%*

| Muestra con AM 5% | Peso del recipiente (kg) | Peso del recipiente + Concreto(kg) | Peso del concreto (kg) | Factor "F" | Peso Unitario del Concreto Fresco (kg/m ³) |
|-------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------|------------|--|
| 1 | 8.549 | 21.250 | 12.701 | 182.293 | 2315.31 |
| 2 | 8.540 | 21.480 | 12.940 | 180.813 | 2339.72 |
| 3 | 8.603 | 21.546 | 12.943 | 179.771 | 2326.77 |
| 4 | 8.614 | 21.388 | 12.774 | 181.794 | 2322.24 |
| 5 | 8.563 | 21.536 | 12.973 | 180.756 | 2344.95 |
| 6 | 8.580 | 21.624 | 13.044 | 182.958 | 2386.50 |
| 7 | 8.632 | 21.728 | 13.096 | 181.265 | 2373.85 |
| 8 | 8.599 | 21.655 | 13.056 | 181.672 | 2371.91 |
| 9 | 8.614 | 21.627 | 13.013 | 181.475 | 2361.54 |
| 10 | 8.529 | 21.591 | 13.062 | 181.806 | 2374.75 |
| 11 | 8.556 | 21.568 | 13.012 | 180.537 | 2349.15 |
| 12 | 8.856 | 21.609 | 12.753 | 180.788 | 2305.59 |
| Promedio | | | | | 2347.69 |

| Muestra con AM 7% | Peso del recipiente (kg) | Peso del recipiente + Concreto(kg) | Peso del concreto (kg) | Factor "F" | Peso Unitario del Concreto Fresco (kg/m ³) |
|-------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------|------------|--|
| 1 | 8.539 | 21.603 | 13.064 | 179.955 | 2350.93 |
| 2 | 8.609 | 21.458 | 12.849 | 183.124 | 2352.96 |
| 3 | 8.602 | 21.641 | 13.039 | 180.606 | 2354.92 |
| 4 | 8.128 | 21.224 | 13.096 | 180.562 | 2364.64 |
| 5 | 8.553 | 21.519 | 12.966 | 181.197 | 2349.40 |
| 6 | 8.577 | 21.674 | 13.097 | 180.471 | 2363.63 |
| 7 | 8.688 | 21.780 | 13.092 | 181.564 | 2377.03 |
| 8 | 8.586 | 21.660 | 13.074 | 180.606 | 2361.25 |
| 9 | 7.261 | 20.341 | 13.080 | 180.899 | 2366.16 |
| 10 | 7.253 | 20.453 | 13.200 | 178.619 | 2357.77 |
| 11 | 7.075 | 20.171 | 13.096 | 181.923 | 2382.47 |
| 12 | 7.303 | 20.456 | 13.153 | 179.385 | 2359.45 |
| Promedio | | | | | 2361.72 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49.*Peso unitario del concreto fresco de la muestra con adición de marmolina 9%*

| Muestra con AM 9% | Peso del recipiente (kg) | Peso del recipiente + Concreto(kg) | Peso del concreto (kg) | Factor "F" | Peso Unitario del Concreto Fresco (kg/m³) |
|--------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------|-------------------|---|
| 1 | 8.549 | 21.575 | 13.026 | 180.724 | 2354.12 |
| 2 | 8.540 | 21.609 | 13.069 | 181.034 | 2365.93 |
| 3 | 8.603 | 21.672 | 13.069 | 181.941 | 2377.79 |
| 4 | 8.614 | 21.689 | 13.075 | 183.202 | 2395.36 |
| 5 | 8.563 | 21.537 | 12.974 | 181.894 | 2359.89 |
| 6 | 8.580 | 21.712 | 13.132 | 182.832 | 2400.95 |
| 7 | 8.632 | 21.752 | 13.120 | 182.690 | 2396.89 |
| 8 | 8.599 | 21.653 | 13.054 | 181.865 | 2374.07 |
| 9 | 8.614 | 21.617 | 13.003 | 180.129 | 2342.21 |
| 10 | 8.529 | 21.578 | 13.049 | 180.053 | 2349.51 |
| 11 | 8.556 | 21.557 | 13.001 | 181.019 | 2353.42 |
| 12 | 8.856 | 21.588 | 12.732 | 180.888 | 2303.07 |
| Promedio | | | | | 2364.44 |

Fuente: Elaboración propia

D.2. Peso unitario del concreto endurecido

Tabla 50.

Peso unitario del concreto endurecido de la muestra patrón y adición de marmolina 3%

| Muestra Patrón | Peso del concreto (kg) | Factor "F" | Peso Unitario del Concreto Endurecido (kg/m³) |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------|---|
| 1 | 12.952 | 181.905 | 2356.04 |
| 2 | 12.992 | 182.816 | 2375.15 |
| 3 | 13.105 | 180.491 | 2365.34 |
| 4 | 13.090 | 181.910 | 2381.20 |
| 5 | 13.011 | 179.045 | 2329.55 |
| 6 | 13.102 | 182.543 | 2391.68 |
| 7 | 12.985 | 183.277 | 2379.85 |
| 8 | 12.915 | 182.446 | 2356.29 |
| 9 | 12.931 | 182.606 | 2361.28 |
| 10 | 12.980 | 181.965 | 2361.91 |
| 11 | 12.915 | 180.870 | 2335.94 |
| 12 | 12.940 | 181.758 | 2351.95 |
| Promedio | | | 2362.18 |

| Muestra con AM 3% | Peso del concreto (kg) | Factor "F" | Peso Unitario del Concreto Endurecido (kg/m³) |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------|---|
| 1 | 12.908 | 182.389 | 2354.28 |
| 2 | 12.720 | 181.919 | 2314.01 |
| 3 | 13.011 | 182.906 | 2379.79 |
| 4 | 13.014 | 181.499 | 2362.03 |
| 5 | 12.963 | 181.403 | 2351.53 |
| 6 | 13.021 | 180.998 | 2356.77 |
| 7 | 12.988 | 181.113 | 2352.30 |
| 8 | 12.942 | 179.692 | 2325.58 |
| 9 | 13.034 | 183.145 | 2387.11 |
| 10 | 13.148 | 181.405 | 2385.11 |
| 11 | 13.119 | 183.546 | 2407.94 |
| 12 | 13.094 | 182.093 | 2384.33 |
| Promedio | | | 2363.40 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51.*Peso unitario del concreto endurecido de la muestra con adición de marmolina 5 y 7%*

| Muestra con AM 5% | Peso del concreto (kg) | Factor "F" | Peso Unitario del Concreto Endurecido (kg/m³) |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------|---|
| 1 | 12.924 | 182.293 | 2355.96 |
| 2 | 12.995 | 180.813 | 2349.66 |
| 3 | 13.002 | 179.771 | 2337.38 |
| 4 | 12.970 | 181.794 | 2357.87 |
| 5 | 12.949 | 180.756 | 2340.61 |
| 6 | 13.066 | 182.958 | 2390.52 |
| 7 | 13.039 | 181.265 | 2363.52 |
| 8 | 13.000 | 181.672 | 2361.74 |
| 9 | 12.977 | 181.475 | 2355.01 |
| 10 | 13.031 | 181.806 | 2369.12 |
| 11 | 12.976 | 180.537 | 2342.65 |
| 12 | 13.021 | 180.788 | 2354.04 |
| Promedio | | | 2356.51 |

| Muestra con AM 7% | Peso del concreto (kg) | Factor "F" | Peso Unitario del Concreto Endurecido (kg/m³) |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------|---|
| 1 | 13.016 | 179.955 | 2342.29 |
| 2 | 12.818 | 183.124 | 2347.28 |
| 3 | 13.039 | 180.606 | 2354.92 |
| 4 | 13.090 | 180.562 | 2363.56 |
| 5 | 12.969 | 181.197 | 2349.94 |
| 6 | 13.102 | 180.471 | 2364.53 |
| 7 | 13.045 | 181.564 | 2368.50 |
| 8 | 13.012 | 180.606 | 2350.05 |
| 9 | 13.056 | 180.899 | 2361.82 |
| 10 | 13.156 | 178.619 | 2349.91 |
| 11 | 13.085 | 181.923 | 2380.47 |
| 12 | 13.124 | 179.385 | 2354.25 |
| Promedio | | | 2357.29 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52.

Peso unitario del concreto endurecido de la muestra con adición de marmolina 9%

| Muestra con AM 9% | Peso del concreto (kg) | Factor "F" | Peso Unitario del Concreto Fresco (kg/m³) |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------|---|
| 1 | 12.985 | 180.724 | 2346.71 |
| 2 | 13.033 | 181.034 | 2359.41 |
| 3 | 13.061 | 181.941 | 2376.34 |
| 4 | 13.070 | 183.202 | 2394.45 |
| 5 | 12.977 | 181.894 | 2360.43 |
| 6 | 13.132 | 182.832 | 2400.95 |
| 7 | 13.086 | 182.690 | 2390.68 |
| 8 | 13.025 | 181.865 | 2368.80 |
| 9 | 13.006 | 180.129 | 2342.76 |
| 10 | 13.048 | 180.053 | 2349.33 |
| 11 | 13.001 | 181.019 | 2353.42 |
| 12 | 12.995 | 180.888 | 2350.64 |
| Promedio | | | 2366.16 |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO E: RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE LA RESISTENCIA MECÁNICA

E.1. Resistencia a compresión

E.1.1. Resistencia a compresión a los 7 días

Tabla 53.

Resistencia a compresión de la muestra patrón a los 7 días

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Edad (días) | Longitud Promedio | Diámetro Promedio | Carga P (KN) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | Tipo de Fractura |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|
| Muestra Patrón | 1 | MP-01 | 7 | 30.35 | 15.19 | 376.58 | 38399.48 | 212.00 | 6 |
| | 2 | MP-02 | 7 | 30.40 | 15.14 | 377.94 | 38538.66 | 214.18 | 5 |
| | 7 | MP-07 | 7 | 30.42 | 15.23 | 367.10 | 37433.11 | 205.51 | 6 |
| | 8 | MP-08 | 7 | 30.40 | 15.17 | 371.44 | 37875.33 | 209.45 | 3 |
| Resistencia media | | | | | | | | 210.28 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | | | 8.68 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | | | 13.89 | |
| Desviación Estándar | | | | | | | | 3.73 | % |
| CV | | | | | | | | 1.77 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54.

Resistencia a compresión de adición de marmolina 3% a los 7 días

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Edad (días) | Longitud Promedio | Diámetro Promedio | Carga P (KN) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | Tipo de Fractura |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 3% | 1 | AM3%-01 | 7 | 30.33 | 15.17 | 370.55 | 37784.66 | 209.04 | 3 |
| | 2 | AM3%-02 | 7 | 30.47 | 15.16 | 376.37 | 38378.80 | 212.71 | 5 |
| | 7 | AM3%-07 | 7 | 30.43 | 15.12 | 378.68 | 38614.22 | 214.94 | 6 |
| | 8 | AM3%-08 | 7 | 30.35 | 15.20 | 389.13 | 39679.22 | 218.57 | 6 |
| Resistencia media | | | | | | | | 213.82 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | | | 9.53 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | | | 15.97 | |
| Desviación Estándar | | | | | | | | 4.00 | % |
| CV | | | | | | | | 1.87 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55.*Resistencia a compresión de adición de marmolina 5% a los 7 días*

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Edad (días) | Longitud Promedio | Diámetro Promedio | Carga P (KN) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | Tipo de Fractura |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 5% | 1 | AM5%-01 | 7 | 30.33 | 15.17 | 384.51 | 39208.36 | 216.81 | 5 |
| | 2 | AM5%-02 | 7 | 30.33 | 15.24 | 376.02 | 38343.00 | 210.30 | 5 |
| | 7 | AM5%-07 | 7 | 30.40 | 15.26 | 387.17 | 39479.58 | 215.76 | 6 |
| | 8 | AM5%-08 | 7 | 30.42 | 15.17 | 390.34 | 39802.50 | 220.09 | 6 |
| Resistencia media | | | | | | | | 215.74 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | | | 9.79 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | | | 16.56 | |
| Desviación Estándar | | | | | | | | 4.07 | % |
| CV | | | | | | | | 1.89 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56.*Resistencia a compresión de adición de marmolina 7% a los 7 días*

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Edad (días) | Longitud Promedio | Diámetro Promedio | Carga P (KN) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | Tipo de Fractura |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 7% | 1 | AM7%-01 | 7 | 30.42 | 15.25 | 386.73 | 39435.04 | 215.85 | 6 |
| | 2 | AM7%-02 | 7 | 30.43 | 15.12 | 386.90 | 39451.74 | 219.87 | 6 |
| | 7 | AM7%-07 | 7 | 30.43 | 15.22 | 377.45 | 38488.56 | 211.55 | 6 |
| | 8 | AM7%-08 | 7 | 30.42 | 15.23 | 374.57 | 38195.07 | 209.77 | 5 |
| Resistencia media | | | | | | | | 214.26 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | | | 10.10 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | | | 20.49 | |
| Desviación Estándar | | | | | | | | 4.53 | % |
| CV | | | | | | | | 2.11 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57.*Resistencia a compresión de adición de marmolina 9% a los 7 días*

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Edad (días) | Longitud Promedio | Diámetro Promedio | Carga P (KN) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | Tipo de Fractura |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 9% | 1 | AM9%-01 | 7 | 30.40 | 15.22 | 358.16 | 36521.62 | 200.65 | 6 |
| | 2 | AM9%-02 | 7 | 30.43 | 15.20 | 377.20 | 38463.10 | 211.91 | 5 |
| | 7 | AM9%-07 | 7 | 30.37 | 15.18 | 366.39 | 37360.73 | 206.42 | 6 |
| | 8 | AM9%-08 | 7 | 30.33 | 15.14 | 363.81 | 37097.46 | 206.15 | 3 |
| Resistencia media | | | | | | | | 206.28 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | | | 11.26 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | | | 21.14 | |
| Desviación Estándar | | | | | | | | 4.60 | % |
| CV | | | | | | | | 2.23 | |

Fuente: Elaboración propia

E.1.2. Resistencia a compresión a los 14 días**Tabla 58.***Resistencia a compresión de la muestra patrón a los 14 días*

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Edad (días) | Longitud Promedio | Diámetro Promedio | Carga P (KN) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | Tipo de Fractura |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|
| Muestra Patrón | 3 | MP-03 | 14 | 30.48 | 15.27 | 449.26 | 45810.70 | 250.03 | 6 |
| | 4 | MP-04 | 14 | 30.43 | 15.14 | 449.65 | 45850.46 | 254.72 | 5 |
| | 9 | MP-09 | 14 | 30.43 | 15.11 | 436.83 | 44543.68 | 248.45 | 5 |
| | 10 | MP-10 | 14 | 30.37 | 15.16 | 435.71 | 44429.14 | 246.15 | 6 |
| Resistencia media | | | | | | | | 249.84 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | | | 8.57 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | | | 13.12 | |
| Desviación Estándar | | | | | | | | 3.62 | % |
| CV | | | | | | | | 1.45 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59.*Resistencia a compresión de adición de marmolina 3% a los 14 días*

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Edad (días) | Longitud Promedio | Diámetro Promedio | Carga P (KN) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | Tipo de Fractura |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 3% | 3 | AM3%-03 | 14 | 30.42 | 15.19 | 445.63 | 45440.85 | 250.73 | 5 |
| | 4 | AM3%-04 | 14 | 30.45 | 15.20 | 453.34 | 46226.67 | 254.77 | 5 |
| | 9 | AM3%-09 | 14 | 30.43 | 15.20 | 445.20 | 45397.11 | 250.22 | 6 |
| | 10 | AM3%-10 | 14 | 30.40 | 15.27 | 456.18 | 46516.19 | 254.10 | 6 |
| Resistencia media | | | | | | | | 252.46 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | | | 4.55 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | | | 5.35 | |
| Desviación Estándar | | | | | | | | 2.31 | % |
| CV | | | | | | | | 0.92 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60.*Resistencia a compresión de adición de marmolina 5% a los 14 días*

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Edad (días) | Longitud Promedio | Diámetro Promedio | Carga P (KN) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | Tipo de Fractura |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 5% | 3 | AM5%-03 | 14 | 30.40 | 15.22 | 440.71 | 44938.97 | 246.94 | 6 |
| | 4 | AM5%-04 | 14 | 30.42 | 15.13 | 444.26 | 45300.87 | 252.10 | 5 |
| | 9 | AM5%-09 | 14 | 30.50 | 15.18 | 436.10 | 44468.91 | 245.85 | 3 |
| | 10 | AM5%-10 | 14 | 30.50 | 15.16 | 455.96 | 46493.91 | 257.62 | 5 |
| Resistencia media | | | | | | | | 250.63 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | | | 11.77 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | | | 29.17 | |
| Desviación Estándar | | | | | | | | 5.40 | % |
| CV | | | | | | | | 2.16 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61.*Resistencia a compresión de adición de marmolina 7% a los 14 días*

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Edad (días) | Longitud Promedio | Diámetro Promedio | Carga P (KN) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | Tipo de Fractura |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 7% | 3 | AM7%-03 | 14 | 30.45 | 15.19 | 446.60 | 45540.27 | 251.27 | 5 |
| | 4 | AM7%-04 | 14 | 30.43 | 15.23 | 450.50 | 45937.95 | 252.31 | 5 |
| | 9 | AM7%-09 | 14 | 30.48 | 15.17 | 434.83 | 44339.27 | 245.40 | 6 |
| | 10 | AM7%-10 | 14 | 30.50 | 15.20 | 435.62 | 44420.40 | 244.69 | 6 |
| Resistencia media | | | | | | | | 248.42 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | | | 7.62 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | | | 15.41 | |
| Desviación Estándar | | | | | | | | 3.93 | % |
| CV | | | | | | | | 1.58 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62.*Resistencia a compresión de adición de marmolina 9% a los 14 días*

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Edad (días) | Longitud Promedio | Diámetro Promedio | Carga P (KN) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | Tipo de Fractura |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 9% | 3 | AM9%-03 | 14 | 30.40 | 15.17 | 439.47 | 44812.51 | 247.79 | 6 |
| | 4 | AM9%-04 | 14 | 30.40 | 15.14 | 428.59 | 43703.77 | 242.91 | 5 |
| | 9 | AM9%-09 | 14 | 30.60 | 15.09 | 432.18 | 44069.64 | 246.36 | 5 |
| | 10 | AM9%-10 | 14 | 30.38 | 15.18 | 447.40 | 45621.40 | 252.09 | 6 |
| Resistencia media | | | | | | | | 247.29 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | | | 9.18 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | | | 14.44 | |
| Desviación Estándar | | | | | | | | 3.80 | % |
| CV | | | | | | | | 1.54 | |

Fuente: Elaboración propia

E.1.3. Resistencia a compresión a los 28 días

Tabla 63.

Resistencia a compresión de la muestra patrón a los 28 días

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Edad (días) | Longitud Promedio | Diámetro Promedio | Carga P (KN) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | Tipo de Fractura |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|
| Muestra Patrón | 5 | MP-05 | 28 | 30.33 | 15.16 | 523.97 | 53429.51 | 295.95 | 6 |
| | 6 | MP-06 | 28 | 30.40 | 15.17 | 535.45 | 54599.49 | 302.03 | 5 |
| | 11 | MP-11 | 28 | 30.57 | 15.18 | 516.32 | 52649.25 | 291.08 | 3 |
| | 12 | MP-12 | 28 | 30.33 | 15.20 | 512.50 | 52259.52 | 288.12 | 6 |
| Resistencia media | | | | | | | | 294.29 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | | | 13.91 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | | | 37.01 | |
| Desviación Estándar | | | | | | | | 6.08 | % |
| CV | | | | | | | | 2.07 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64.

Resistencia a compresión de adición de marmolina 3% a los 28 días

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Edad (días) | Longitud Promedio | Diámetro Promedio | Carga P (KN) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | Tipo de Fractura |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 3% | 5 | AM3%-05 | 28 | 30.27 | 15.16 | 520.14 | 53038.98 | 294.01 | 5 |
| | 6 | AM3%-06 | 28 | 30.28 | 15.22 | 508.83 | 51884.91 | 285.03 | 5 |
| | 11 | AM3%-11 | 28 | 30.47 | 15.09 | 519.99 | 53023.87 | 296.51 | 6 |
| | 12 | AM3%-12 | 28 | 30.40 | 15.13 | 523.97 | 53429.51 | 297.16 | 3 |
| Resistencia media | | | | | | | | 293.18 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | | | 12.13 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | | | 46.56 | |
| Desviación Estándar | | | | | | | | 6.82 | % |
| CV | | | | | | | | 2.33 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65.*Resistencia a compresión de adición de marmolina 5% a los 28 días*

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Edad (días) | Longitud Promedio | Diámetro Promedio | Carga P (KN) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | Tipo de Fractura |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 5% | 5 | AM5%-05 | 28 | 30.32 | 15.21 | 499.06 | 50889.11 | 279.98 | 5 |
| | 6 | AM5%-06 | 28 | 30.43 | 15.17 | 502.88 | 51278.84 | 283.72 | 6 |
| | 11 | AM5%-11 | 28 | 30.30 | 15.26 | 518.19 | 52839.34 | 289.05 | 5 |
| | 12 | AM5%-12 | 28 | 30.40 | 15.22 | 522.01 | 53229.07 | 292.54 | 3 |
| Resistencia media | | | | | | | | 286.32 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | | | 12.57 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | | | 31.04 | |
| Desviación Estándar | | | | | | | | 5.57 | % |
| CV | | | | | | | | 1.95 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66.*Resistencia a compresión de adición de marmolina 7% a los 28 días*

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Edad (días) | Longitud Promedio | Diámetro Promedio | Carga P (KN) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | Tipo de Fractura |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 7% | 5 | AM7%-05 | 28 | 30.37 | 15.22 | 512.50 | 52259.52 | 287.08 | 6 |
| | 6 | AM7%-06 | 28 | 30.38 | 15.32 | 523.97 | 53429.51 | 289.96 | 3 |
| | 11 | AM7%-11 | 28 | 30.48 | 15.15 | 497.35 | 50714.92 | 281.25 | 6 |
| | 12 | AM7%-12 | 28 | 30.50 | 15.26 | 508.67 | 51869.00 | 283.79 | 5 |
| Resistencia media | | | | | | | | 285.52 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | | | 8.72 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | | | 14.48 | |
| Desviación Estándar | | | | | | | | 3.81 | % |
| CV | | | | | | | | 1.33 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67.*Resistencia a compresión de adición de marmolina 9% a los 28 días*

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Edad (días) | Longitud Promedio | Diámetro Promedio | Carga P (KN) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | Tipo de Fractura |
|----------------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 9% | 5 | AM9%-05 | 28 | 30.38 | 15.25 | 516.32 | 52649.25 | 288.14 | 6 |
| | 6 | AM9%-06 | 28 | 30.43 | 15.24 | 516.25 | 52642.09 | 288.46 | 3 |
| | 11 | AM9%-11 | 28 | 30.33 | 15.23 | 512.50 | 52259.52 | 286.95 | 5 |
| | 12 | AM9%-12 | 28 | 30.32 | 15.24 | 493.37 | 50309.29 | 275.89 | 5 |
| Resistencia media | | | | | | | | 284.86 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | | | 12.57 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | | | 36.18 | |
| Desviación Estándar | | | | | | | | 6.01 | % |
| CV | | | | | | | | 2.11 | |

Fuente: Elaboración propia

E.1.4. Esfuerzos de deformación a compresión

Tabla 68.

Deformación y esfuerzo del concreto patrón

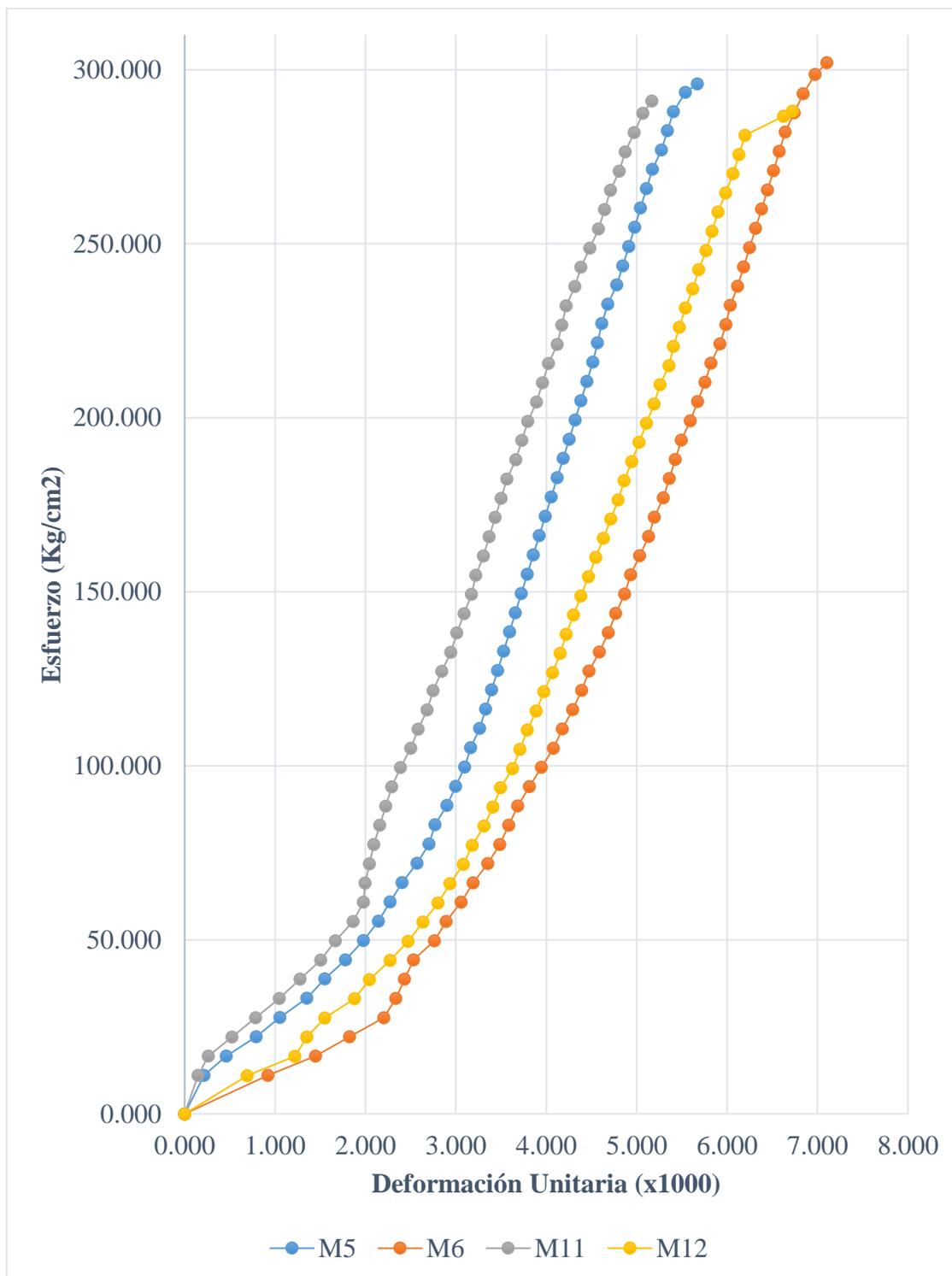
| MUESTRA 1 | | MUESTRA 2 | | MUESTRA 7 | | MUESTRA 8 | |
|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Defor. Unitaria (x1000) | Esfuerzo (Kg/cm ²) | Defor. Unitaria (x1000) | Esfuerzo (Kg/cm ²) | Defor. Unitaria (x1000) | Esfuerzo (Kg/cm ²) | Defor. Unitaria (x1000) | Esfuerzo (Kg/cm ²) |
| 0.033 | 5.539 | 0.033 | 5.532 | 0.033 | 5.529 | 0.198 | 5.513 |
| 0.214 | 11.078 | 0.921 | 11.064 | 0.147 | 11.057 | 0.692 | 11.027 |
| 0.462 | 16.617 | 1.447 | 16.595 | 0.262 | 16.586 | 1.220 | 16.540 |
| 0.791 | 22.156 | 1.826 | 22.127 | 0.523 | 22.114 | 1.352 | 22.053 |
| 1.055 | 27.695 | 2.204 | 27.659 | 0.785 | 27.643 | 1.549 | 27.567 |
| 1.352 | 33.234 | 2.336 | 33.191 | 1.047 | 33.172 | 1.879 | 33.080 |
| 1.549 | 38.773 | 2.434 | 38.722 | 1.276 | 38.700 | 2.044 | 38.593 |
| 1.780 | 44.312 | 2.533 | 44.254 | 1.505 | 44.229 | 2.275 | 44.107 |
| 1.978 | 49.851 | 2.763 | 49.786 | 1.668 | 49.757 | 2.473 | 49.620 |
| 2.143 | 55.391 | 2.895 | 55.318 | 1.865 | 55.286 | 2.637 | 55.133 |
| 2.275 | 60.930 | 3.059 | 60.849 | 1.979 | 60.815 | 2.802 | 60.647 |
| 2.407 | 66.469 | 3.191 | 66.381 | 1.996 | 66.343 | 2.934 | 66.160 |
| 2.571 | 72.008 | 3.355 | 71.913 | 2.045 | 71.872 | 3.082 | 71.673 |
| 2.703 | 77.547 | 3.487 | 77.445 | 2.094 | 77.400 | 3.181 | 77.187 |
| 2.769 | 83.086 | 3.586 | 82.976 | 2.159 | 82.929 | 3.313 | 82.700 |
| 2.901 | 88.625 | 3.684 | 88.508 | 2.225 | 88.457 | 3.412 | 88.213 |
| 3.000 | 94.164 | 3.816 | 94.040 | 2.290 | 93.986 | 3.495 | 93.726 |
| 3.099 | 99.703 | 3.947 | 99.572 | 2.388 | 99.515 | 3.626 | 99.240 |
| 3.165 | 105.242 | 4.079 | 105.103 | 2.503 | 105.043 | 3.709 | 104.753 |
| 3.264 | 110.781 | 4.178 | 110.635 | 2.585 | 110.572 | 3.791 | 110.266 |
| 3.330 | 116.320 | 4.293 | 116.167 | 2.683 | 116.100 | 3.890 | 115.780 |
| 3.396 | 121.859 | 4.391 | 121.699 | 2.748 | 121.629 | 3.973 | 121.293 |
| 3.462 | 127.398 | 4.474 | 127.230 | 2.846 | 127.158 | 4.071 | 126.806 |
| 3.527 | 132.937 | 4.589 | 132.762 | 2.944 | 132.686 | 4.154 | 132.320 |
| 3.593 | 138.476 | 4.688 | 138.294 | 3.010 | 138.215 | 4.220 | 137.833 |
| 3.659 | 144.015 | 4.770 | 143.826 | 3.092 | 143.743 | 4.302 | 143.346 |
| 3.725 | 149.554 | 4.868 | 149.357 | 3.173 | 149.272 | 4.385 | 148.860 |
| 3.791 | 155.093 | 4.934 | 154.889 | 3.222 | 154.801 | 4.467 | 154.373 |
| 3.857 | 160.632 | 5.033 | 160.421 | 3.304 | 160.329 | 4.549 | 159.886 |
| 3.923 | 166.172 | 5.132 | 165.953 | 3.370 | 165.858 | 4.632 | 165.400 |
| 3.989 | 171.711 | 5.197 | 171.484 | 3.435 | 171.386 | 4.714 | 170.913 |
| 4.055 | 177.250 | 5.296 | 177.016 | 3.501 | 176.915 | 4.797 | 176.426 |

| | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| 4.121 | 182.789 | 5.362 | 182.548 | 3.566 | 182.444 | 4.863 | 181.940 |
| 4.187 | 188.328 | 5.428 | 188.080 | 3.664 | 187.972 | 4.945 | 187.453 |
| 4.253 | 193.867 | 5.493 | 193.611 | 3.730 | 193.501 | 5.027 | 192.966 |
| 4.319 | 199.406 | 5.592 | 199.143 | 3.795 | 199.029 | 5.110 | 198.480 |
| 4.385 | 204.945 | 5.674 | 204.675 | 3.893 | 204.558 | 5.192 | 203.993 |
| 4.451 | 210.484 | 5.757 | 210.207 | 3.959 | 210.087 | 5.258 | 209.506 |
| 4.516 | 216.023 | 5.822 | 215.738 | 4.024 | 215.615 | 5.357 | 215.020 |
| 4.566 | 221.562 | 5.921 | 221.270 | 4.122 | 221.144 | 5.407 | 220.533 |
| 4.615 | 227.101 | 5.987 | 226.802 | 4.171 | 226.672 | 5.473 | 226.046 |
| 4.681 | 232.640 | 6.036 | 232.334 | 4.220 | 232.201 | 5.538 | 231.560 |
| 4.780 | 238.179 | 6.118 | 237.865 | 4.318 | 237.729 | 5.621 | 237.073 |
| 4.846 | 243.718 | 6.184 | 243.397 | 4.384 | 243.258 | 5.687 | 242.586 |
| 4.912 | 249.257 | 6.250 | 248.929 | 4.482 | 248.787 | 5.769 | 248.100 |
| 4.978 | 254.796 | 6.316 | 254.461 | 4.580 | 254.315 | 5.835 | 253.613 |
| 5.044 | 260.335 | 6.382 | 259.992 | 4.646 | 259.844 | 5.901 | 259.126 |
| 5.110 | 265.874 | 6.447 | 265.524 | 4.711 | 265.372 | 5.984 | 264.640 |
| 5.176 | 271.413 | 6.513 | 271.056 | 4.809 | 270.901 | 6.066 | 270.153 |
| 5.275 | 276.953 | 6.579 | 276.588 | 4.875 | 276.430 | 6.132 | 275.666 |
| 5.341 | 282.492 | 6.645 | 282.119 | 4.973 | 281.958 | 6.198 | 281.179 |
| 5.407 | 288.031 | 6.743 | 287.651 | 5.071 | 287.487 | 6.626 | 286.693 |
| 5.538 | 293.570 | 6.842 | 293.183 | 5.169 | 291.076 | 6.725 | 288.124 |
| 5.670 | 295.949 | 6.974 | 298.715 | | | | |
| | | 7.105 | 302.031 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 16.

Gráfica de esfuerzo vs deformación del concreto patrón



Fuente: Elaboración propia

Tabla 69.*Deformación y esfuerzo del concreto con adición de marmolina 3%*

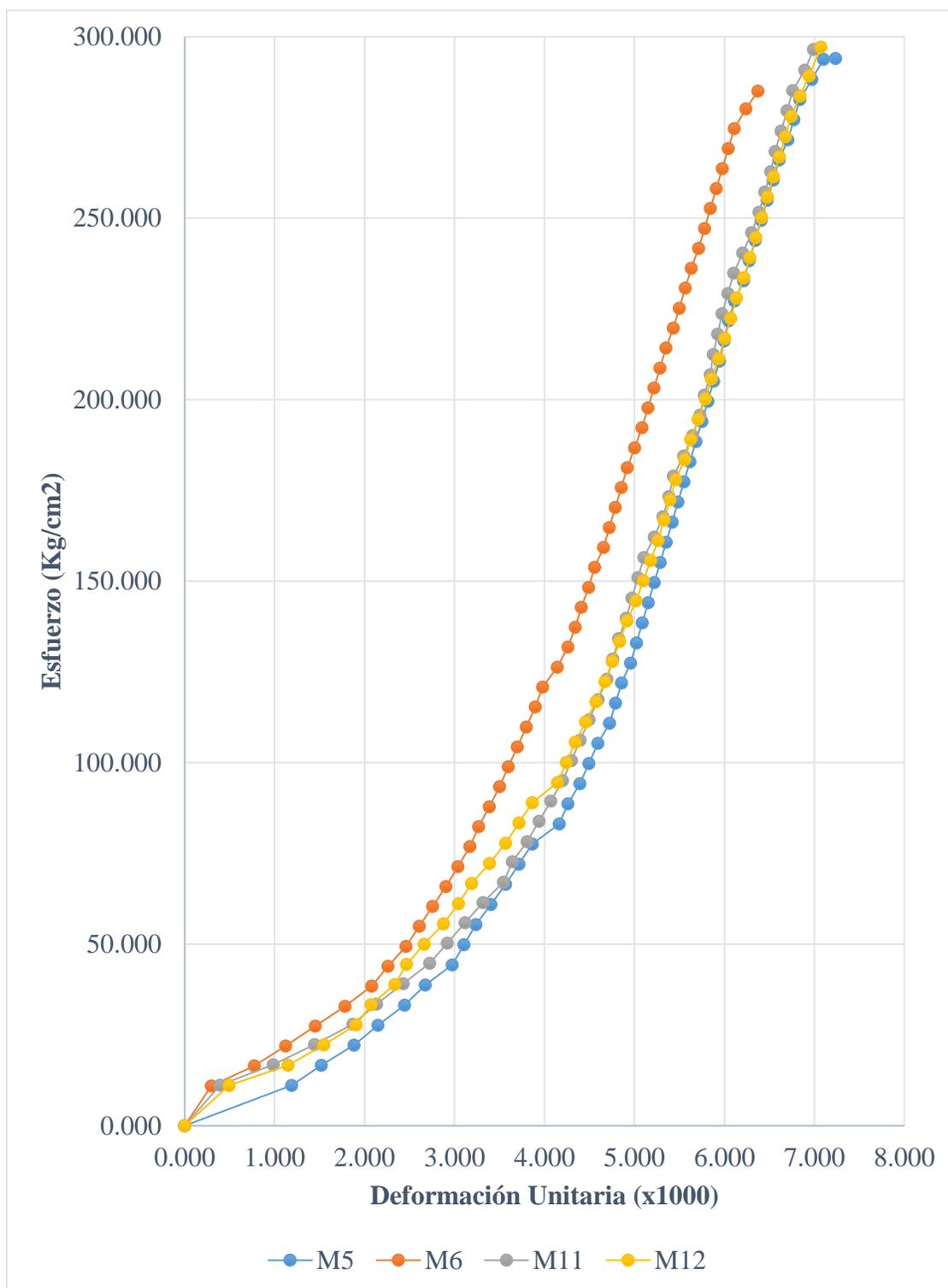
| MUESTRA 5 | | MUESTRA 6 | | MUESTRA 11 | | MUESTRA 12 | |
|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Defor. Unitaria (x1000) | Esfuerzo (Kg/cm²) |
| 0.529 | 5.543 | 0.099 | 5.494 | 0.033 | 5.592 | 0.296 | 5.562 |
| 1.189 | 11.086 | 0.297 | 10.987 | 0.394 | 11.184 | 0.493 | 11.124 |
| 1.520 | 16.630 | 0.776 | 16.481 | 0.985 | 16.776 | 1.151 | 16.685 |
| 1.883 | 22.173 | 1.123 | 21.974 | 1.444 | 22.368 | 1.546 | 22.247 |
| 2.148 | 27.716 | 1.453 | 27.468 | 1.871 | 27.960 | 1.908 | 27.809 |
| 2.445 | 33.259 | 1.783 | 32.961 | 2.133 | 33.552 | 2.072 | 33.371 |
| 2.676 | 38.802 | 2.080 | 38.455 | 2.429 | 39.144 | 2.336 | 38.932 |
| 2.974 | 44.346 | 2.262 | 43.948 | 2.724 | 44.736 | 2.467 | 44.494 |
| 3.106 | 49.889 | 2.460 | 49.442 | 2.921 | 50.328 | 2.664 | 50.056 |
| 3.238 | 55.432 | 2.609 | 54.935 | 3.118 | 55.920 | 2.878 | 55.618 |
| 3.403 | 60.975 | 2.757 | 60.429 | 3.315 | 61.512 | 3.043 | 61.179 |
| 3.568 | 66.518 | 2.906 | 65.923 | 3.545 | 67.104 | 3.191 | 66.741 |
| 3.717 | 72.062 | 3.038 | 71.416 | 3.643 | 72.696 | 3.388 | 72.303 |
| 3.866 | 77.605 | 3.170 | 76.910 | 3.807 | 78.289 | 3.569 | 77.865 |
| 4.163 | 83.148 | 3.269 | 82.403 | 3.939 | 83.881 | 3.717 | 83.427 |
| 4.262 | 88.691 | 3.385 | 87.897 | 4.070 | 89.473 | 3.865 | 88.988 |
| 4.394 | 94.234 | 3.500 | 93.390 | 4.201 | 95.065 | 4.145 | 94.550 |
| 4.493 | 99.777 | 3.599 | 98.884 | 4.300 | 100.657 | 4.243 | 100.112 |
| 4.593 | 105.321 | 3.698 | 104.377 | 4.398 | 106.249 | 4.342 | 105.674 |
| 4.725 | 110.864 | 3.797 | 109.871 | 4.497 | 111.841 | 4.457 | 111.235 |
| 4.791 | 116.407 | 3.897 | 115.364 | 4.595 | 117.433 | 4.572 | 116.797 |
| 4.857 | 121.950 | 3.979 | 120.858 | 4.694 | 123.025 | 4.671 | 122.359 |
| 4.956 | 127.493 | 4.144 | 126.352 | 4.759 | 128.617 | 4.753 | 127.921 |
| 5.022 | 133.037 | 4.260 | 131.845 | 4.825 | 134.209 | 4.836 | 133.483 |
| 5.088 | 138.580 | 4.342 | 137.339 | 4.907 | 139.801 | 4.918 | 139.044 |
| 5.154 | 144.123 | 4.408 | 142.832 | 4.973 | 145.393 | 5.016 | 144.606 |
| 5.220 | 149.666 | 4.491 | 148.326 | 5.038 | 150.985 | 5.099 | 150.168 |
| 5.286 | 155.209 | 4.557 | 153.819 | 5.104 | 156.577 | 5.181 | 155.730 |
| 5.352 | 160.753 | 4.656 | 159.313 | 5.219 | 162.169 | 5.263 | 161.291 |
| 5.419 | 166.296 | 4.722 | 164.806 | 5.317 | 167.761 | 5.329 | 166.853 |
| 5.485 | 171.839 | 4.788 | 170.300 | 5.383 | 173.353 | 5.395 | 172.415 |
| 5.551 | 177.382 | 4.854 | 175.793 | 5.432 | 178.945 | 5.461 | 177.977 |
| 5.617 | 182.925 | 4.920 | 181.287 | 5.547 | 184.537 | 5.559 | 183.538 |
| 5.683 | 188.469 | 5.003 | 186.780 | 5.646 | 190.129 | 5.625 | 189.100 |

| | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| 5.749 | 194.012 | 5.085 | 192.274 | 5.728 | 195.721 | 5.707 | 194.662 |
| 5.815 | 199.555 | 5.151 | 197.768 | 5.777 | 201.313 | 5.789 | 200.224 |
| 5.881 | 205.098 | 5.217 | 203.261 | 5.842 | 206.905 | 5.855 | 205.786 |
| 5.947 | 210.641 | 5.283 | 208.755 | 5.875 | 212.497 | 5.938 | 211.347 |
| 5.997 | 216.185 | 5.349 | 214.248 | 5.925 | 218.089 | 6.003 | 216.909 |
| 6.046 | 221.728 | 5.432 | 219.742 | 5.974 | 223.681 | 6.069 | 222.471 |
| 6.112 | 227.271 | 5.498 | 225.235 | 6.039 | 229.274 | 6.135 | 228.033 |
| 6.211 | 232.814 | 5.564 | 230.729 | 6.105 | 234.866 | 6.217 | 233.594 |
| 6.278 | 238.357 | 5.630 | 236.222 | 6.204 | 240.458 | 6.283 | 239.156 |
| 6.344 | 243.901 | 5.713 | 241.716 | 6.302 | 246.050 | 6.349 | 244.718 |
| 6.410 | 249.444 | 5.779 | 247.209 | 6.384 | 251.642 | 6.414 | 250.280 |
| 6.476 | 254.987 | 5.845 | 252.703 | 6.450 | 257.234 | 6.480 | 255.841 |
| 6.542 | 260.530 | 5.911 | 258.197 | 6.515 | 262.826 | 6.546 | 261.403 |
| 6.608 | 266.073 | 5.977 | 263.690 | 6.565 | 268.418 | 6.612 | 266.965 |
| 6.707 | 271.616 | 6.043 | 269.184 | 6.630 | 274.010 | 6.678 | 272.527 |
| 6.773 | 277.160 | 6.109 | 274.677 | 6.696 | 279.602 | 6.743 | 278.089 |
| 6.839 | 282.703 | 6.241 | 280.171 | 6.761 | 285.194 | 6.842 | 283.650 |
| 6.971 | 288.246 | 6.373 | 285.032 | 6.893 | 290.786 | 6.941 | 289.212 |
| 7.104 | 293.789 | | | 6.991 | 296.511 | 7.072 | 297.163 |
| 7.236 | 294.005 | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 17.

Gráfica de esfuerzo vs deformación del concreto con adición de marmolina 3%



Fuente: Elaboración propia

Tabla 70.*Deformación y esfuerzo del concreto con adición de marmolina 5%*

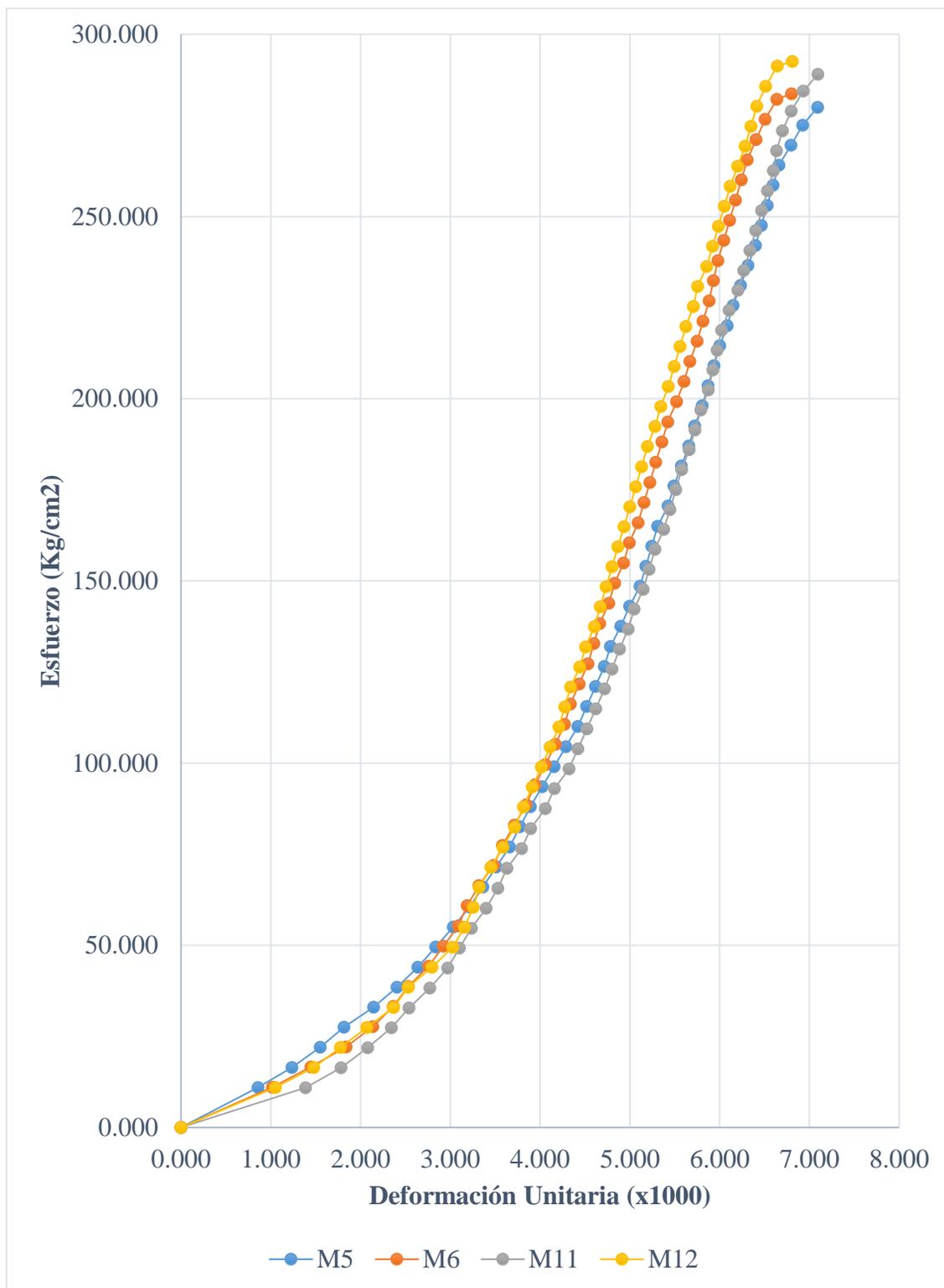
| MUESTRA 5 | | MUESTRA 6 | | MUESTRA 11 | | MUESTRA 12 | |
|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Defor. Unitaria (x1000) | Esfuerzo (Kg/cm²) |
| 0.478 | 5.502 | 0.690 | 5.533 | 0.726 | 5.470 | 0.493 | 5.496 |
| 0.858 | 11.003 | 1.019 | 11.066 | 1.386 | 10.941 | 1.053 | 10.992 |
| 1.237 | 16.505 | 1.446 | 16.599 | 1.782 | 16.411 | 1.480 | 16.488 |
| 1.550 | 22.007 | 1.840 | 22.132 | 2.079 | 21.881 | 1.776 | 21.984 |
| 1.814 | 27.509 | 2.136 | 27.665 | 2.343 | 27.351 | 2.072 | 27.480 |
| 2.144 | 33.010 | 2.366 | 33.198 | 2.541 | 32.822 | 2.368 | 32.976 |
| 2.408 | 38.512 | 2.530 | 38.731 | 2.772 | 38.292 | 2.533 | 38.472 |
| 2.639 | 44.014 | 2.760 | 44.264 | 2.970 | 43.762 | 2.796 | 43.968 |
| 2.837 | 49.516 | 2.924 | 49.797 | 3.102 | 49.233 | 3.026 | 49.464 |
| 3.035 | 55.017 | 3.089 | 55.330 | 3.234 | 54.703 | 3.158 | 54.959 |
| 3.216 | 60.519 | 3.187 | 60.863 | 3.399 | 60.173 | 3.257 | 60.455 |
| 3.364 | 66.021 | 3.319 | 66.396 | 3.531 | 65.643 | 3.322 | 65.951 |
| 3.513 | 71.523 | 3.483 | 71.929 | 3.630 | 71.114 | 3.454 | 71.447 |
| 3.661 | 77.024 | 3.582 | 77.462 | 3.795 | 76.584 | 3.586 | 76.943 |
| 3.777 | 82.526 | 3.713 | 82.994 | 3.894 | 82.054 | 3.717 | 82.439 |
| 3.892 | 88.028 | 3.844 | 88.527 | 4.059 | 87.525 | 3.816 | 87.935 |
| 4.024 | 93.529 | 3.943 | 94.060 | 4.158 | 92.995 | 3.914 | 93.431 |
| 4.156 | 99.031 | 4.058 | 99.593 | 4.323 | 98.465 | 4.013 | 98.927 |
| 4.288 | 104.533 | 4.173 | 105.126 | 4.422 | 103.935 | 4.112 | 104.423 |
| 4.420 | 110.035 | 4.272 | 110.659 | 4.521 | 109.406 | 4.211 | 109.919 |
| 4.519 | 115.536 | 4.337 | 116.192 | 4.620 | 114.876 | 4.276 | 115.415 |
| 4.618 | 121.038 | 4.436 | 121.725 | 4.719 | 120.346 | 4.342 | 120.911 |
| 4.717 | 126.540 | 4.535 | 127.258 | 4.802 | 125.817 | 4.441 | 126.407 |
| 4.783 | 132.042 | 4.600 | 132.791 | 4.884 | 131.287 | 4.507 | 131.903 |
| 4.898 | 137.543 | 4.666 | 138.324 | 4.983 | 136.757 | 4.605 | 137.399 |
| 4.997 | 143.045 | 4.765 | 143.857 | 5.050 | 142.227 | 4.671 | 142.895 |
| 5.113 | 148.547 | 4.830 | 149.390 | 5.149 | 147.698 | 4.737 | 148.391 |
| 5.179 | 154.048 | 4.929 | 154.923 | 5.215 | 153.168 | 4.803 | 153.887 |
| 5.245 | 159.550 | 4.995 | 160.456 | 5.281 | 158.638 | 4.868 | 159.383 |
| 5.311 | 165.052 | 5.093 | 165.989 | 5.380 | 164.108 | 4.934 | 164.878 |
| 5.426 | 170.554 | 5.159 | 171.522 | 5.446 | 169.579 | 5.000 | 170.374 |
| 5.492 | 176.055 | 5.225 | 177.055 | 5.512 | 175.049 | 5.066 | 175.870 |
| 5.574 | 181.557 | 5.290 | 182.588 | 5.578 | 180.519 | 5.132 | 181.366 |
| 5.657 | 187.059 | 5.356 | 188.121 | 5.660 | 185.990 | 5.197 | 186.862 |

| | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| 5.723 | 192.561 | 5.422 | 193.654 | 5.726 | 191.460 | 5.280 | 192.358 |
| 5.805 | 198.062 | 5.520 | 199.187 | 5.792 | 196.930 | 5.345 | 197.854 |
| 5.871 | 203.564 | 5.602 | 204.720 | 5.875 | 202.400 | 5.428 | 203.350 |
| 5.937 | 209.066 | 5.668 | 210.253 | 5.924 | 207.871 | 5.493 | 208.846 |
| 6.003 | 214.568 | 5.750 | 215.786 | 5.974 | 213.341 | 5.559 | 214.342 |
| 6.086 | 220.069 | 5.816 | 221.319 | 6.023 | 218.811 | 5.625 | 219.838 |
| 6.152 | 225.571 | 5.882 | 226.852 | 6.106 | 224.282 | 5.707 | 225.334 |
| 6.234 | 231.073 | 5.931 | 232.385 | 6.205 | 229.752 | 5.757 | 230.830 |
| 6.317 | 236.574 | 5.980 | 237.918 | 6.271 | 235.222 | 5.855 | 236.326 |
| 6.399 | 242.076 | 6.046 | 243.451 | 6.337 | 240.692 | 5.921 | 241.822 |
| 6.465 | 247.578 | 6.112 | 248.983 | 6.403 | 246.163 | 5.987 | 247.318 |
| 6.531 | 253.080 | 6.177 | 254.516 | 6.469 | 251.633 | 6.053 | 252.814 |
| 6.597 | 258.581 | 6.243 | 260.049 | 6.535 | 257.103 | 6.118 | 258.310 |
| 6.663 | 264.083 | 6.309 | 265.582 | 6.601 | 262.574 | 6.201 | 263.806 |
| 6.795 | 269.585 | 6.407 | 271.115 | 6.634 | 268.044 | 6.283 | 269.302 |
| 6.927 | 275.087 | 6.506 | 276.648 | 6.700 | 273.514 | 6.349 | 274.797 |
| 7.092 | 279.978 | 6.637 | 282.181 | 6.799 | 278.984 | 6.414 | 280.293 |
| | | 6.802 | 283.724 | 6.931 | 284.455 | 6.513 | 285.789 |
| | | | | 7.096 | 289.046 | 6.645 | 291.285 |
| | | | | | | 6.809 | 292.544 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 18.

Gráfica de esfuerzo vs deformación del concreto con adición de marmolina 5%



Fuente: Elaboración propia

Tabla 71.*Deformación y esfuerzo del concreto con adición de marmolina 7%*

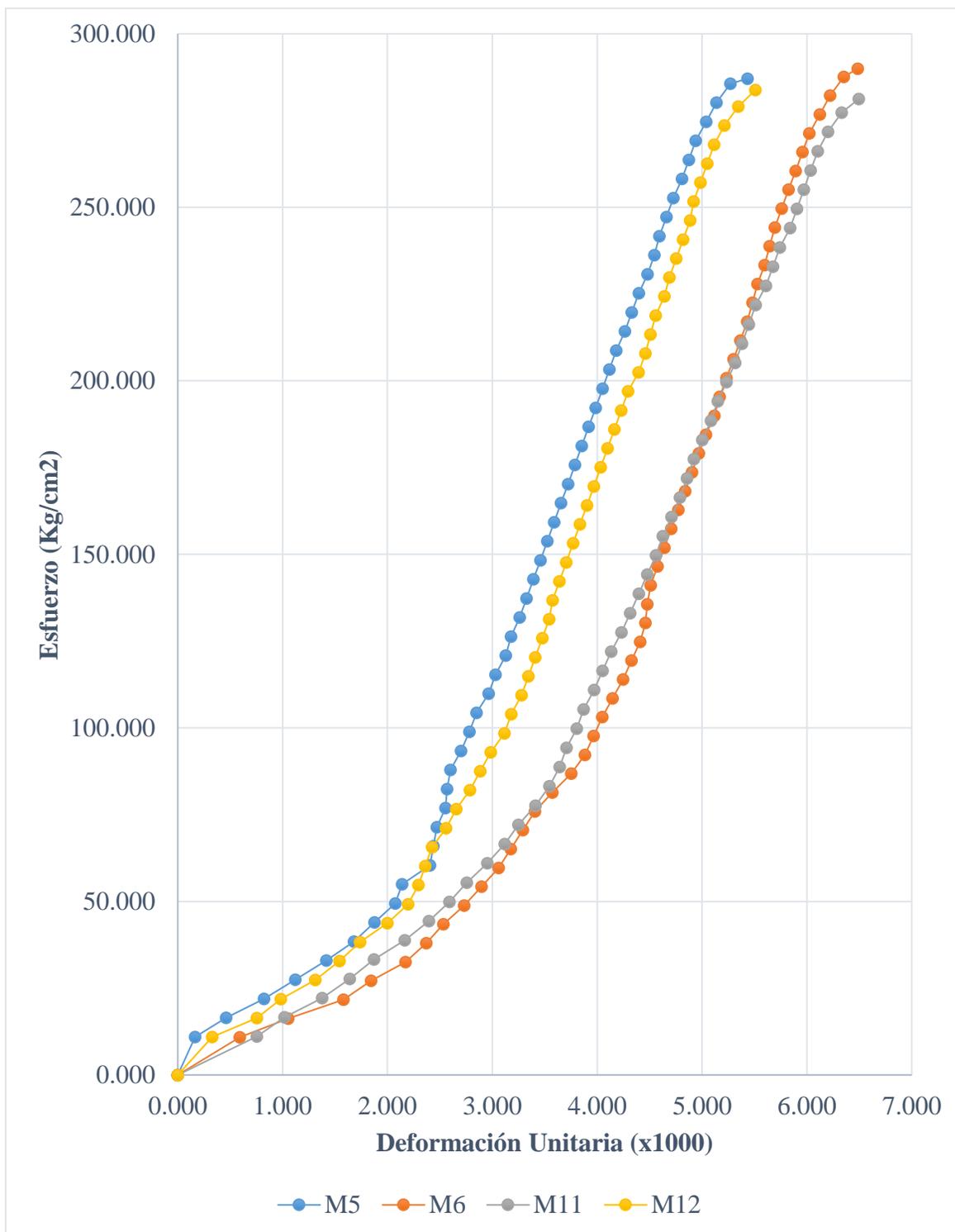
| MUESTRA 5 | | MUESTRA 6 | | MUESTRA 11 | | MUESTRA 12 | |
|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Defor. Unitaria (x1000) | Esfuerzo (Kg/cm²) |
| 0.033 | 5.493 | 0.132 | 5.427 | 0.492 | 5.546 | 0.164 | 5.471 |
| 0.165 | 10.987 | 0.592 | 10.854 | 0.755 | 11.091 | 0.328 | 10.942 |
| 0.461 | 16.480 | 1.053 | 16.281 | 1.017 | 16.637 | 0.754 | 16.414 |
| 0.823 | 21.973 | 1.580 | 21.708 | 1.378 | 22.183 | 0.984 | 21.885 |
| 1.120 | 27.467 | 1.843 | 27.135 | 1.640 | 27.728 | 1.311 | 27.356 |
| 1.416 | 32.960 | 2.172 | 32.562 | 1.870 | 33.274 | 1.541 | 32.827 |
| 1.679 | 38.453 | 2.370 | 37.989 | 2.165 | 38.819 | 1.738 | 38.299 |
| 1.877 | 43.946 | 2.534 | 43.416 | 2.395 | 44.365 | 2.000 | 43.770 |
| 2.075 | 49.440 | 2.732 | 48.843 | 2.592 | 49.911 | 2.197 | 49.241 |
| 2.141 | 54.933 | 2.896 | 54.270 | 2.756 | 55.456 | 2.295 | 54.712 |
| 2.404 | 60.426 | 3.061 | 59.697 | 2.952 | 61.002 | 2.361 | 60.184 |
| 2.437 | 65.920 | 3.176 | 65.124 | 3.116 | 66.548 | 2.426 | 65.655 |
| 2.470 | 71.413 | 3.291 | 70.551 | 3.248 | 72.093 | 2.557 | 71.126 |
| 2.552 | 76.906 | 3.406 | 75.979 | 3.412 | 77.639 | 2.656 | 76.597 |
| 2.569 | 82.400 | 3.571 | 81.406 | 3.543 | 83.184 | 2.787 | 82.069 |
| 2.602 | 87.893 | 3.752 | 86.833 | 3.641 | 88.730 | 2.885 | 87.540 |
| 2.700 | 93.386 | 3.884 | 92.260 | 3.707 | 94.276 | 2.984 | 93.011 |
| 2.783 | 98.879 | 3.966 | 97.687 | 3.805 | 99.821 | 3.115 | 98.482 |
| 2.849 | 104.373 | 4.048 | 103.114 | 3.871 | 105.367 | 3.180 | 103.954 |
| 2.964 | 109.866 | 4.147 | 108.541 | 3.969 | 110.913 | 3.279 | 109.425 |
| 3.030 | 115.359 | 4.246 | 113.968 | 4.051 | 116.458 | 3.344 | 114.896 |
| 3.128 | 120.853 | 4.328 | 119.395 | 4.133 | 122.004 | 3.410 | 120.367 |
| 3.178 | 126.346 | 4.410 | 124.822 | 4.232 | 127.550 | 3.475 | 125.838 |
| 3.260 | 131.839 | 4.460 | 130.249 | 4.314 | 133.095 | 3.541 | 131.310 |
| 3.326 | 137.333 | 4.476 | 135.676 | 4.396 | 138.641 | 3.574 | 136.781 |
| 3.392 | 142.826 | 4.509 | 141.103 | 4.478 | 144.186 | 3.639 | 142.252 |
| 3.458 | 148.319 | 4.575 | 146.530 | 4.560 | 149.732 | 3.705 | 147.723 |
| 3.524 | 153.812 | 4.641 | 151.957 | 4.625 | 155.278 | 3.770 | 153.195 |
| 3.589 | 159.306 | 4.707 | 157.384 | 4.707 | 160.823 | 3.836 | 158.666 |
| 3.655 | 164.799 | 4.772 | 162.811 | 4.790 | 166.369 | 3.902 | 164.137 |
| 3.721 | 170.292 | 4.838 | 168.238 | 4.855 | 171.915 | 3.967 | 169.608 |
| 3.787 | 175.786 | 4.904 | 173.665 | 4.921 | 177.460 | 4.033 | 175.080 |
| 3.853 | 181.279 | 4.970 | 179.092 | 5.003 | 183.006 | 4.098 | 180.551 |
| 3.919 | 186.772 | 5.036 | 184.519 | 5.085 | 188.552 | 4.164 | 186.022 |

| | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| 3.985 | 192.266 | 5.118 | 189.946 | 5.150 | 194.097 | 4.230 | 191.493 |
| 4.050 | 197.759 | 5.167 | 195.373 | 5.232 | 199.643 | 4.295 | 196.965 |
| 4.116 | 203.252 | 5.233 | 200.800 | 5.314 | 205.188 | 4.393 | 202.436 |
| 4.182 | 208.746 | 5.299 | 206.227 | 5.380 | 210.734 | 4.459 | 207.907 |
| 4.265 | 214.239 | 5.365 | 211.654 | 5.446 | 216.280 | 4.508 | 213.378 |
| 4.330 | 219.732 | 5.431 | 217.081 | 5.511 | 221.825 | 4.557 | 218.850 |
| 4.396 | 225.225 | 5.480 | 222.508 | 5.610 | 227.371 | 4.639 | 224.321 |
| 4.479 | 230.719 | 5.529 | 227.936 | 5.675 | 232.917 | 4.689 | 229.792 |
| 4.544 | 236.212 | 5.595 | 233.363 | 5.741 | 238.462 | 4.754 | 235.263 |
| 4.594 | 241.705 | 5.645 | 238.790 | 5.839 | 244.008 | 4.820 | 240.735 |
| 4.660 | 247.199 | 5.694 | 244.217 | 5.905 | 249.553 | 4.885 | 246.206 |
| 4.726 | 252.692 | 5.760 | 249.644 | 5.970 | 255.099 | 4.918 | 251.677 |
| 4.808 | 258.185 | 5.826 | 255.071 | 6.036 | 260.645 | 4.984 | 257.148 |
| 4.874 | 263.679 | 5.891 | 260.498 | 6.102 | 266.190 | 5.049 | 262.619 |
| 4.940 | 269.172 | 5.957 | 265.925 | 6.200 | 271.736 | 5.115 | 268.091 |
| 5.038 | 274.665 | 6.023 | 271.352 | 6.331 | 277.282 | 5.213 | 273.562 |
| 5.137 | 280.158 | 6.122 | 276.779 | 6.495 | 281.246 | 5.344 | 279.033 |
| 5.269 | 285.652 | 6.221 | 282.206 | | | 5.508 | 283.788 |
| 5.434 | 287.077 | 6.352 | 287.633 | | | | |
| | | 6.484 | 289.964 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 19.

Gráfica de esfuerzo vs deformación del concreto con adición de marmolina 7%



Fuente: Elaboración propia

Tabla 72.*Deformación y esfuerzo del concreto con adición de marmolina 9%*

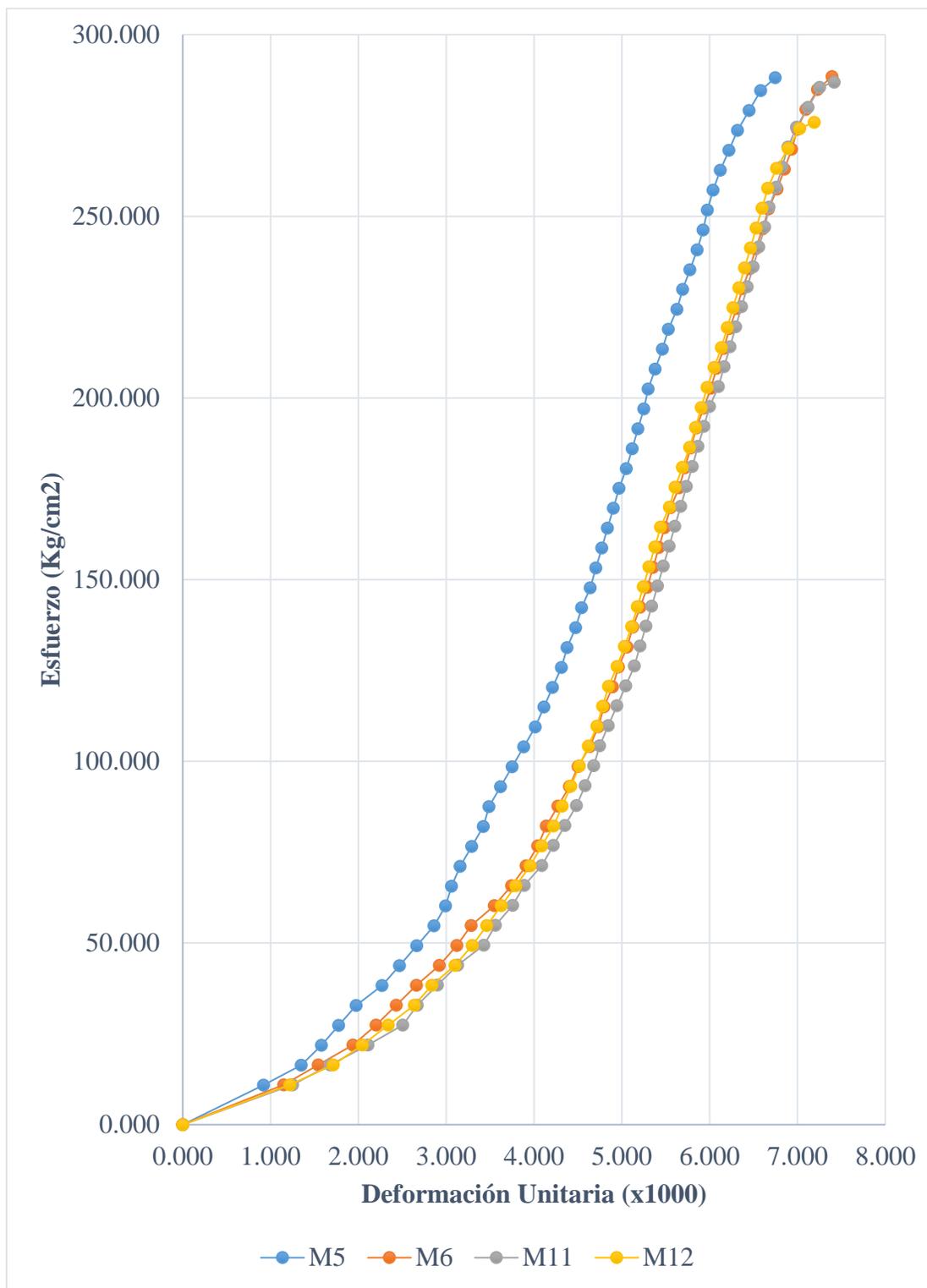
| MUESTRA 5 | | MUESTRA 6 | | MUESTRA 11 | | MUESTRA 12 | |
|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Defor. Unitaria (x1000) | Esfuerzo (Kg/cm²) |
| 0.494 | 5.473 | 0.591 | 5.480 | 0.626 | 5.491 | 0.363 | 5.484 |
| 0.922 | 10.946 | 1.150 | 10.959 | 1.253 | 10.982 | 1.220 | 10.968 |
| 1.349 | 16.419 | 1.544 | 16.439 | 1.681 | 16.473 | 1.715 | 16.452 |
| 1.580 | 21.892 | 1.939 | 21.918 | 2.110 | 21.964 | 2.045 | 21.936 |
| 1.777 | 27.365 | 2.202 | 27.398 | 2.505 | 27.454 | 2.342 | 27.420 |
| 1.975 | 32.837 | 2.432 | 32.878 | 2.670 | 32.945 | 2.639 | 32.904 |
| 2.271 | 38.310 | 2.662 | 38.357 | 2.901 | 38.436 | 2.837 | 38.388 |
| 2.468 | 43.783 | 2.924 | 43.837 | 3.132 | 43.927 | 3.101 | 43.871 |
| 2.666 | 49.256 | 3.122 | 49.317 | 3.429 | 49.418 | 3.299 | 49.355 |
| 2.863 | 54.729 | 3.286 | 54.796 | 3.560 | 54.909 | 3.463 | 54.839 |
| 2.995 | 60.202 | 3.549 | 60.276 | 3.758 | 60.400 | 3.628 | 60.323 |
| 3.061 | 65.675 | 3.746 | 65.755 | 3.890 | 65.891 | 3.793 | 65.807 |
| 3.160 | 71.148 | 3.910 | 71.235 | 4.088 | 71.382 | 3.958 | 71.291 |
| 3.291 | 76.621 | 4.042 | 76.715 | 4.220 | 76.873 | 4.090 | 76.775 |
| 3.423 | 82.094 | 4.140 | 82.194 | 4.352 | 82.363 | 4.222 | 82.259 |
| 3.489 | 87.567 | 4.272 | 87.674 | 4.484 | 87.854 | 4.321 | 87.743 |
| 3.620 | 93.040 | 4.403 | 93.153 | 4.582 | 93.345 | 4.420 | 93.227 |
| 3.752 | 98.512 | 4.502 | 98.633 | 4.681 | 98.836 | 4.519 | 98.711 |
| 3.884 | 103.985 | 4.633 | 104.113 | 4.747 | 104.327 | 4.618 | 104.195 |
| 4.015 | 109.458 | 4.732 | 109.592 | 4.846 | 109.818 | 4.717 | 109.679 |
| 4.114 | 114.931 | 4.797 | 115.072 | 4.945 | 115.309 | 4.783 | 115.163 |
| 4.213 | 120.404 | 4.896 | 120.552 | 5.044 | 120.800 | 4.849 | 120.647 |
| 4.312 | 125.877 | 4.962 | 126.031 | 5.143 | 126.291 | 4.948 | 126.130 |
| 4.377 | 131.350 | 5.060 | 131.511 | 5.209 | 131.782 | 5.030 | 131.614 |
| 4.476 | 136.823 | 5.126 | 136.990 | 5.275 | 137.272 | 5.113 | 137.098 |
| 4.542 | 142.296 | 5.208 | 142.470 | 5.341 | 142.763 | 5.179 | 142.582 |
| 4.641 | 147.769 | 5.290 | 147.950 | 5.407 | 148.254 | 5.245 | 148.066 |
| 4.707 | 153.242 | 5.356 | 153.429 | 5.473 | 153.745 | 5.311 | 153.550 |
| 4.772 | 158.714 | 5.422 | 158.909 | 5.538 | 159.236 | 5.377 | 159.034 |
| 4.838 | 164.187 | 5.487 | 164.389 | 5.604 | 164.727 | 5.443 | 164.518 |
| 4.904 | 169.660 | 5.553 | 169.868 | 5.670 | 170.218 | 5.542 | 170.002 |
| 4.970 | 175.133 | 5.652 | 175.348 | 5.736 | 175.709 | 5.607 | 175.486 |
| 5.052 | 180.606 | 5.717 | 180.827 | 5.802 | 181.200 | 5.690 | 180.970 |
| 5.118 | 186.079 | 5.783 | 186.307 | 5.868 | 186.691 | 5.772 | 186.454 |

| | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| 5.184 | 191.552 | 5.849 | 191.787 | 5.934 | 192.181 | 5.838 | 191.938 |
| 5.250 | 197.025 | 5.931 | 197.266 | 6.000 | 197.672 | 5.904 | 197.422 |
| 5.299 | 202.498 | 6.013 | 202.746 | 6.099 | 203.163 | 5.970 | 202.906 |
| 5.381 | 207.971 | 6.079 | 208.225 | 6.165 | 208.654 | 6.053 | 208.389 |
| 5.464 | 213.444 | 6.161 | 213.705 | 6.231 | 214.145 | 6.135 | 213.873 |
| 5.529 | 218.917 | 6.227 | 219.185 | 6.297 | 219.636 | 6.201 | 219.357 |
| 5.628 | 224.389 | 6.309 | 224.664 | 6.363 | 225.127 | 6.267 | 224.841 |
| 5.694 | 229.862 | 6.375 | 230.144 | 6.429 | 230.618 | 6.333 | 230.325 |
| 5.776 | 235.335 | 6.457 | 235.624 | 6.495 | 236.109 | 6.399 | 235.809 |
| 5.858 | 240.808 | 6.522 | 241.103 | 6.560 | 241.600 | 6.465 | 241.293 |
| 5.924 | 246.281 | 6.605 | 246.583 | 6.626 | 247.090 | 6.531 | 246.777 |
| 5.974 | 251.754 | 6.670 | 252.062 | 6.676 | 252.581 | 6.597 | 252.261 |
| 6.039 | 257.227 | 6.769 | 257.542 | 6.758 | 258.072 | 6.663 | 257.745 |
| 6.122 | 262.700 | 6.851 | 263.022 | 6.824 | 263.563 | 6.762 | 263.229 |
| 6.221 | 268.173 | 6.933 | 268.501 | 6.890 | 269.054 | 6.894 | 268.713 |
| 6.319 | 273.646 | 6.999 | 273.981 | 6.989 | 274.545 | 7.026 | 274.197 |
| 6.451 | 279.119 | 7.097 | 279.460 | 7.121 | 280.036 | 7.191 | 275.893 |
| 6.583 | 284.591 | 7.229 | 284.940 | 7.253 | 285.527 | | |
| 6.747 | 288.145 | 7.393 | 288.459 | 7.418 | 286.952 | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 20.

Gráfica de esfuerzo vs deformación del concreto con adición de marmolina 9%



Fuente: Elaboración propia

E.2. Resistencia a flexión

E.2.1. Resistencia a flexión a los 28 días

Tabla 73.

Resistencia a flexión de la muestra patrón a los 28 días

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Ancho Promedio (cm) | Altura Promedio (cm) | Longitud entre apoyos (cm) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | |
|----------------|------------|--------------|---------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|
| Muestra Patrón | 1 | MP-01 | 15.10 | 15.38 | 45.00 | 2280.00 | 43.07 | |
| | 2 | MP-02 | 15.10 | 15.10 | 45.00 | 2210.00 | 43.33 | |
| | 3 | MP-03 | 15.00 | 15.07 | 45.00 | 2330.00 | 46.19 | |
| | 4 | MP-04 | 15.00 | 15.13 | 45.00 | 2300.00 | 45.19 | |
| | | | | | | Resistencia media | 44.44 | kg/cm² |
| | | | | | | Rango Muestral | 3.12 | kg/cm² |
| | | | | | | Varianza | 2.25 | |
| | | | | | | Desviación Estándar | 1.50 | % |
| | | | | | | CV | 3.37 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 74.

Resistencia a flexión de adición de la marmolina 3% a los 28 días

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Ancho Promedio (cm) | Altura Promedio (cm) | Longitud entre apoyos (cm) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) | |
|-------------------------|------------|--------------|---------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 3% | 1 | AM3%-01 | 14.98 | 15.13 | 45.00 | 2330.00 | 45.83 | |
| | 2 | AM3%-02 | 15.07 | 15.07 | 45.00 | 2270.00 | 44.80 | |
| | 3 | AM3%-03 | 15.02 | 15.05 | 45.00 | 2350.00 | 46.64 | |
| | 4 | AM3%-04 | 15.07 | 15.03 | 45.00 | 2200.00 | 43.61 | |
| | | | | | | Resistencia media | 45.22 | kg/cm² |
| | | | | | | Rango Muestral | 3.03 | kg/cm² |
| | | | | | | Varianza | 1.72 | |
| | | | | | | Desviación Estándar | 1.31 | % |
| | | | | | | CV | 2.90 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 75.*Resistencia a flexión de adición de la marmolina 5% a los 28 días*

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Ancho Promedio (cm) | Altura Promedio (cm) | Longitud entre apoyos (cm) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) |
|----------------------------|------------|--------------|---------------------|----------------------|----------------------------|--------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 5% | 1 | AM5%-01 | 15.10 | 15.38 | 45.00 | 2480.00 | 46.85 |
| | 2 | AM5%-02 | 15.10 | 15.10 | 45.00 | 2460.00 | 48.23 |
| | 3 | AM5%-03 | 15.00 | 15.07 | 45.00 | 2450.00 | 48.57 |
| | 4 | AM5%-04 | 15.00 | 15.13 | 45.00 | 2420.00 | 47.55 |
| Resistencia media | | | | | | 47.80 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | 1.72 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | 0.58 | |
| Desviación Estándar | | | | | | 0.76 | % |
| CV | | | | | | 1.60 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76.*Resistencia a flexión de adición de la marmolina 7% a los 28 días*

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Ancho Promedio (cm) | Altura Promedio (cm) | Longitud entre apoyos (cm) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) |
|----------------------------|------------|--------------|---------------------|----------------------|----------------------------|--------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 7% | 1 | AM7%-01 | 14.98 | 15.13 | 45.00 | 2420.00 | 47.60 |
| | 2 | AM7%-02 | 15.07 | 15.07 | 45.00 | 2420.00 | 47.76 |
| | 3 | AM7%-03 | 15.02 | 15.05 | 45.00 | 2380.00 | 47.23 |
| | 4 | AM7%-04 | 15.07 | 15.03 | 45.00 | 2400.00 | 47.58 |
| Resistencia media | | | | | | 47.54 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | 0.53 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | 0.05 | |
| Desviación Estándar | | | | | | 0.22 | % |
| CV | | | | | | 0.47 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 77.*Resistencia a flexión de adición de la marmolina 9% a los 28 días*

| Descripción | N° Muestra | Codificación | Ancho Promedio (cm) | Altura Promedio (cm) | Longitud entre apoyos (cm) | Carga P (Kg) | f'c (obtenido) |
|----------------------------|------------|--------------|---------------------|----------------------|----------------------------|--------------|--------------------------|
| Adición de Marmolina 9% | 1 | AM9%-01 | 15.15 | 15.20 | 45.00 | 2340.00 | 45.13 |
| | 2 | AM9%-02 | 15.37 | 15.43 | 45.00 | 2500.00 | 46.10 |
| | 3 | AM9%-03 | 14.98 | 15.27 | 45.00 | 2380.00 | 46.00 |
| | 4 | AM9%-04 | 15.13 | 15.23 | 45.00 | 2400.00 | 46.13 |
| Resistencia media | | | | | | 45.84 | kg/cm² |
| Rango Muestral | | | | | | 1.01 | kg/cm² |
| Varianza | | | | | | 0.23 | |
| Desviación Estándar | | | | | | 0.48 | % |
| CV | | | | | | 1.05 | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO F: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PACASMAYO PORTLAND TIPO



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 Metrología 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 (Ft) | Cemento | Arena limpia | Piedra de tamaño máximo 19 mm | Agua |
|----------------------------------|------------------|---------|--------------|-------------------------------|---------|
| Losas aligeradas, placas y otros | 175 | 1 | 2 | 3 | 0.3 (*) |
| Vigas y columnas | 210 | 1 | 2 | 2 | 0.3 (*) |

(*) 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 escurirse 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

- Los primeros cementos que entren, deben ser los primeros en salir.
- 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.
- Cubrir con una capa impermeable para evitar la humedad.
- Reducir tiempo de almacenamiento cuando las temperaturas sean menores a 10°C.
- 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.
- Colocar parihuelas de madera para evitar la humedad del suelo.
- Evitar la circulación del aire entre bolsas en el apilado.





¿QUÉ ES EL ECOSACO?

Bolsa que se desdrega 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 desdrega 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

- ADICIONA** la mitad de la proporción de agua (A) y luego introduce el EcoSaco (en abrir) directo a un trompo de al menos 340 litros.
- AÑADE** el total de los áridos: piedra (B) y arena (C) en el trompo, según el diseño de concreto.
- 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.
- MEZCLA** hasta tener un resultado homogéneo y con la fluidez buscada.

ESCALA DE EMISIONES DE CARBONO

| | Factor Dólar | Emisiones |
|--------------|--------------|---------------------|
| Bajo | hasta 70% | 500 a 700 Kg CO2 eq |
| Medio | 71% a 80% | 701 a 800 Kg CO2 eq |
| Alto | 80% 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.



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**SM



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 ¹ |
|----------------------|--------|-------|--------|------------------|-------------------------|
| MgO | Máximo | 6.0 | % | NTP 334.086 | 1.8 |
| SO ₂ | Máximo | 3.00 | % | NTP 334.086 | 2.72 |
| Pérdida por ignición | Máximo | 3.5 | % | NTP 334.086 | 2.9 |
| Residuo insoluble | Máximo | 1.5 | % | NTP 334.086 | 0.6 |

REQUISITOS FÍSICOS

| ENSAYOS | TIPO | VALOR | UNIDAD | NORMAS DE ENSAYO | RESULTADOS ¹ |
|--|--------|----------------|--------------------|------------------|-------------------------|
| Contenido de aire en mortero | Máximo | 12 | % | NTP 334.048 | 7 |
| Finura | | | | | |
| Superficie específica | Mínimo | 260 | m ² /kg | NTP 334.002 | 395 |
| Expansión en autoclave | Máximo | 0.80 | % | NTP 334.004 | 0.03 |
| Resistencia a la compresión | | | | | |
| 3 días | Mínimo | 12.0 (1740) | MPa (psi) | NTP 334.051 | 28.0 (4060) |
| 7 días | Mínimo | 19.0 (2760) | MPa (psi) | NTP 334.051 | 33.5 (4870) |
| 28 días ^{**} | Mínimo | 28.0 (4060) | MPa (psi) | NTP 334.051 | 40.7 (5900) |
| Tiempo de Fraguado Vicat | | | | | |
| Fraguado inicial | Mínimo | 45 | Minutos | NTP 334.006 | 135 |
| Fraguado final | Máximo | 375 | Minutos | NTP 334.006 | 253 |
| Expansión en barra de mortero curada en agua a 14 días | Máximo | 0.020 | % | NTP 334.093 | 0.006 |

¹Valores 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:



ANEXO G: FICHA TÉCNICA DE LA MARMOLINA



Marmolina MGB-40

La Marmolina MGB-40 es un producto que está constituido químicamente por Carbonato de Calcio (CaCO_3), el cual se extrae de rocas calizas, procesado por vía seca y de uso industrial.

Ventajas

El carbonato de calcio es un producto de baja absorción de aceite y buenas características de dispersión, que lo hacen una excelente carga mineral general.

Aplicaciones

- La Marmolina MGB-40, es un producto utilizado para la fabricación de texturizados para acabados arquitectónicos de fachadas.
- Fabricación de pisos y abrasivos.
- Concentrado para animales.
- En la industria agrícola.
- Como corrector de suelos ácidos para mejorar el pH.
- Como cargas y rellenos.
- En la fabricación de jabones y detergentes.

Características Técnicas

Propiedades Físicas

Presentación / textura: Material en polvo granulado.

Densidad aparente: 1.80 – 1.90 g/mL.

Humedad, a 105°C: 0.5% máx.

Color: Blanco.

Granulometría

Residuo en tamiz Malla 20 (850 micras): 0.5% máx.

Residuo en tamiz Malla 40 (425 micras): 10.0 ± 2.0%.

Residuo en tamiz Malla 60 (250 micras): 17% mín.

Propiedades Químicas

Pureza, CaCO_3 : 95.0% mín.

Hierro total, como Fe_2O_3 : 0.3% máx.

Silicio, como SiO_2 : 2.0% máx.

Propiedades Químicas

Insolubles en HCl: 3.0% máx.

Pérdidas por calcinación: 39.0% - 42.0%.

Presentación: Empaque de polipropileno laminado por 50 kg.

Durabilidad: Doce (12) meses en su empaque original sellado y protegido de la humedad.

Recomendaciones

Debe guardarse en recintos cerrados y bajo techo para protegerlos de la humedad del ambiente y del piso, para lo cual debe almacenarse sobre estibas en su empaque original bien cerrado.

Asistencia Técnica

IMPADOC S.A. Trabaja día a día con sus clientes asegurando mediante su grupo técnico, el óptimo conocimiento y uso de los productos para la construcción y la industria. Si tiene alguna inquietud o sugerencia, comuníquese al correo electrónico: asistenciatecnica@impadoc.com

La información proporcionada en este documento corresponde a datos característicos de productos suministrados por Impadoc S.A. y no garantiza el correcto uso por parte del cliente. La venta se realiza bajo la aprobación del cliente respecto a la conformidad del producto con sus requisitos, independiente de los usos particulares. Si se presenta algún incumplimiento a las condiciones del contrato establecido, el cliente tiene 30 días después del despacho para realizar el respectivo reclamo, siempre y cuando lo haya almacenado en óptimas condiciones.

ANEXO H: CONSTANCIA DE USO DEL LABORATORIO



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. ROBINSON JUSTINIANO VERA CASANOVA, 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 de resistencia a la degradación, por abrasión e impacto |
| 07 | Elaboración de especímenes cilíndricos de concreto |
| 08 | Elaboración de especímenes prismáticos de concreto |
| 09 | Ensayo de la resistencia a la compresión en muestras cilíndricas |
| 10 | Ensayo de la resistencia a la flexión de muestras prismáticas |

Para la Tesis Titulada: "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE MARMOLINA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO F'C 210 KG/CM²". Mencionadas actividades se desarrollaron del 08 de marzo al 11 de junio de 2024.

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

Cajamarca, 13 de junio de 2024.

Atentamente:

c.c. a:
_Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ANEXO I: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 21. *Realización del Ensayo del Peso Unitario Suelto Seco*



Figura 22. *Cuarteo del material*



Figura 23. *Ensayo con la máquina de los Ángeles*



Figura 24. *Lavado del material para la muestra de abrasión*



Figura 25. *Elaboración del ensayo del peso específico del agregado grueso*



Figura 26. *Elaboración de los especímenes cilíndricos*



Figura 27. *Elaboración de los especímenes cilíndricos*



TESIS: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN
DE DIFERENTES PORCENTAJES
DE MARMOLINA EN LA RESISTENCIA
MECÁNICA DEL CONCRETO FC 210 kgf/cm²

ASESOR:
MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

TESISTA:
ROBINSON JUSTINIANO VERA CASANOVA

PROBETAS PATRÓN

Figura 28. *Especímenes prismáticos con adición de marmolina al 7%*



TESIS: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN
DE DIFERENTES PORCENTAJES
DE MARMOLINA EN LA RESISTENCIA
MECÁNICA DEL CONCRETO FC 210 kgf/cm²

ASESOR:
MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

TESISTA:
ROBINSON JUSTINIANO VERA CASANOVA

PROBETAS PRISMÁTICAS
MARMOLINA 7%

Figura 29. Roturas de probetas a compresión



Figura 30. Rotura de probetas a flexión

