

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO POR  
AGREGADO GRUESO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE  
UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE  $F' C= 420 \text{ Kg/Cm}^2$  EN LA CIUDAD DE  
CAJAMARCA 2022”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**Bach. Bustamante Medina, Biler Esmith.**

**ASESOR:**

**Dr. Ing. Mosqueira Moreno, Miguel Ángel.**

**CAJAMARCA - PERÚ**

**2023**

## ***Dedicatoria***

*En primer lugar a Dios, por la sabiduría, salud y su  
fortaleza en cada momento de mi vida.*

*A mi querida familia, a mis padres Julio y Adelinda  
por su incondicional apoyo durante la carrera y la  
realización de este trabajo, a mis hermanos Alex y  
Diana. Ustedes son mi motivación*

## ***Agradecimiento***

*A Dios, el responsable de todos mis éxitos y mi fortaleza en los momentos adversos de la vida, que con su ayuda me hicieron crecer y mejorar como persona y profesional.*

*También a mi familia, amigos, asesor y cada persona que me apoyo de forma directa o indirecta en la realización de la presente investigación.*

*Además a la Universidad Nacional de Cajamarca, por la formación recibida dentro de este apasionante mundo llamado Ingeniería Civil.*

*Así mismo un sincero agradecimiento al Laboratorio GUERSAN INGENIEROS SRL, por brindarme la logística necesaria durante el desarrollo de mi investigación.*

# Índice General

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Índice de Figuras</b>  | <b>vi</b>   |
| <b>Índice de Tablas</b>   | <b>viii</b> |
| <b>Resumen</b>  | <b>x</b>    |
| <b>Abstract</b>   | <b>xi</b>   |
| <b>1 Introducción</b>   | <b>12</b>   |
| 1.1 Planteamiento del Problema . . . . .  | 12          |
| 1.2 Formulación del Problema . . . . .  | 13          |
| 1.3 Hipótesis de la Investigación . . . . .   | 13          |
| 1.4 Justificación de la Investigación . . . . .   | 13          |
| 1.5 Alcances o Delimitación de la Investigación . . . . .   | 14          |
| 1.6 Limitaciones . . . . .  | 14          |
| 1.7 Objetivos . . . . .   | 15          |
| 1.7.1 Objetivo General . . . . .  | 15          |
| 1.7.2 Objetivos Específicos . . . . .   | 15          |
| 1.8 Descripción del Contenido . . . . .   | 15          |
| <b>2 Marco Teórico</b>  | <b>17</b>   |
| 2.1 Antecedentes de la Investigación . . . . .  | 17          |
| 2.1.1 A Nivel Internacional . . . . .   | 17          |
| 2.1.2 A Nivel Nacional . . . . .  | 18          |
| 2.1.3 A Nivel Local . . . . .   | 18          |
| 2.2 Bases Teóricas . . . . .  | 19          |
| 2.2.1 Concreto Autocompactante . . . . .  | 19          |
| 2.2.2 Componentes del Concreto Autocompactante . . . . .  | 22          |
| 2.2.3 Dosificación de un Concreto Autocompactante . . . . .                                       | 24          |
| 2.2.4 Propiedades de un Concreto Autocompactante . . . . .  | 27          |
| 2.2.5 Agregado Reciclado (Fragmentos Triturados de Concreto Demolido)                             | 35          |
| 2.2.6 Concreto Autocompactante con Agregados Reciclados . . . . .                                 | 39          |
| 2.3 Definición de Términos Básicos . . . . .  | 40          |
| <b>3 Materiales y Métodos</b>   | <b>42</b>   |
| 3.1 Ubicación Geográfica . . . . .  | 42          |
| 3.1.1 Origen de Agregados Convencionales . . . . .  | 42          |
| 3.1.2 Origen de Fragmentos de Concreto Demolido Triturados para obtener Agregado Grueso . . . . . | 42          |
| 3.1.3 Ubicación del Laboratorio . . . . .   | 44          |
| 3.2 Tiempo de realización de la Investigación . . . . .   | 44          |
| 3.3 Metodología . . . . .   | 44          |
| 3.3.1 Tipo, Nivel, Diseño y Método de Investigación . . . . .                                     | 44          |
| 3.3.2 Población de estudio . . . . .  | 45          |



|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 3.3.3    | Muestra . . . . .  | 45        |
| 3.3.4    | Unidad de Análisis . . . . .   | 46        |
| 3.4      | Procedimiento . . . . .  | 47        |
| 3.4.1    | Agregados Convencionales . . . . .   | 48        |
| 3.4.2    | Agregado Grueso no Convencional . . . . .  | 48        |
| 3.4.3    | Propiedades Físico Mecánicas de los Agregados . . . . .                                    | 48        |
| 3.4.4    | Diseño empleando el Método ACI 237 . . . . .   | 52        |
| 3.4.5    | Reemplazos de agregado grueso no convencional en mezcla patrón . . . . .                   | 54        |
| 3.4.6    | Elaboración de Probetas Cilíndricas . . . . .  | 54        |
| 3.4.7    | Determinación de Propiedades en Estado Fresco . . . . .                                    | 54        |
| 3.4.8    | Determinación de Resistencia a Compresión . . . . .  | 57        |
| 3.5      | Presentación de Resultados . . . . .   | 58        |
| 3.5.1    | Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados . . . . .                                 | 58        |
| 3.5.2    | Diseño de Mezclas . . . . .  | 59        |
| 3.5.3    | Propiedades del Concreto Fresco . . . . .  | 60        |
| 3.5.4    | Propiedades del Concreto en Estado Endurecido . . . . .                                    | 64        |
| <b>4</b> | <b>Análisis y Discusión de Resultados</b>  | <b>66</b> |
| 4.1      | Propiedades Físicas de los Agregados Convencionales y Agregados Grueso Reciclado . . . . . | 66        |
| 4.1.1    | Agregados Convencionales . . . . .   | 66        |
| 4.1.2    | Agregado Grueso Reciclado . . . . .  | 66        |
| 4.2      | Diseño de Mezclas . . . . .  | 67        |
| 4.3      | Propiedades del Concreto en Estado Fresco . . . . .  | 67        |
| 4.3.1    | Extensión de Flujo (Slump Flow) . . . . .  | 67        |
| 4.3.2    | Tiempo T50 . . . . .   | 68        |
| 4.3.3    | Ensayo de VSI (Estabilidad Visual) . . . . .   | 69        |
| 4.3.4    | Ensayo de Embudo en V . . . . .  | 69        |
| 4.3.5    | Ensayo de Caja en L . . . . .  | 70        |
| 4.4      | Propiedades del Concreto en Estado Endurecido . . . . .                                    | 71        |
| 4.4.1    | Resistencia a Compresión . . . . .   | 71        |
| 4.4.2    | Contraste de datos obtenidos con la hipótesis planteada . . . . .                          | 72        |
| <b>5</b> | <b>Conclusiones y Recomendaciones</b>  | <b>73</b> |
| 5.1      | Conclusiones . . . . .   | 73        |
| 5.2      | Recomendaciones . . . . .  | 75        |
|          | <b>Referencias Bibliográficas</b>  | <b>76</b> |
|          | <b>Anexos</b>  | <b>81</b> |
| <b>A</b> | <b>Propiedades de los Agregados</b>  | <b>81</b> |
| A.1      | Agregado Fino . . . . .  | 81        |
| A.1.1    | Análisis Granulométrico . . . . .  | 81        |
| A.1.2    | Peso Específico y Absorción . . . . .  | 84        |
| A.1.3    | Peso Unitario . . . . .  | 84        |
| A.1.4    | Material más fino que pasa el tamiz N° 200 . . . . .                                       | 85        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| A.1.5    | Contenido de Humedad (%) . . . . .   | 85         |
| A.2      | Agregado Grueso . . . . .  | 86         |
| A.2.1    | Análisis Granulométrico . . . . .  | 86         |
| A.2.2    | Peso Específico y Absorción . . . . .  | 89         |
| A.2.3    | Peso Unitario . . . . .  | 89         |
| A.2.4    | Material más fino que pasa el tamiz N° 200 . . . . .                           | 90         |
| A.2.5    | Contenido de Humedad (%) . . . . .   | 91         |
| A.2.6    | Abrasión . . . . .   | 91         |
| A.3      | Agregado Grueso Reciclado . . . . .  | 92         |
| A.3.1    | Peso Específico y Absorción . . . . .  | 95         |
| A.3.2    | Peso Unitario . . . . .  | 95         |
| A.3.3    | Material más fino que pasa el tamiz N° 200 . . . . .                           | 96         |
| A.3.4    | Contenido de Humedad (%) . . . . .   | 97         |
| A.3.5    | Abrasión . . . . .   | 97         |
| <b>B</b> | <b>Ensayos de Diamantina</b>   | <b>98</b>  |
| B.1      | Ensayo de diamantina Jr. Del Batán Cdra.1 . . . . .                            | 98         |
| B.2      | Ensayo de diamantina Jr. Silva Santisteban Cdra.8 . . . . .                    | 100        |
| B.3      | Ensayo de diamantina Jr. Junín Cdra.7 . . . . .                                | 102        |
| B.4      | Promedio de ensayos de diamantina en calles . . . . .                          | 104        |
| <b>C</b> | <b>Tablas utilizadas para el diseño de mezclas de concreto autocompactante</b> | <b>104</b> |
| <b>D</b> | <b>Diseño de mezclas de concreto autocompactante</b>                           | <b>107</b> |
| D.1      | Muestra PATRON . . . . .   | 107        |
| D.2      | Muestra MP-25 . . . . .  | 110        |
| D.3      | Muestra MP-50 . . . . .  | 113        |
| D.4      | Muestra MP-75 . . . . .  | 116        |
| D.5      | Muestra MP-100 . . . . .   | 119        |
| <b>E</b> | <b>Ensayos de Resistencia a Compresión</b>                                     | <b>122</b> |
| E.1      | Muestra PATRON . . . . .   | 122        |
| E.2      | Muestra MP-25 . . . . .  | 123        |
| E.3      | Muestra MP-50 . . . . .  | 124        |
| E.4      | Muestra MP-75 . . . . .  | 125        |
| E.5      | Muestra MP-100 . . . . .   | 126        |
| <b>F</b> | <b>Constancia de Laboratorio</b>   | <b>127</b> |
| <b>G</b> | <b>Hoja Técnica de Cemento</b>   | <b>128</b> |
| <b>H</b> | <b>Hoja Técnica de Aditivo Superplastificante</b>                              | <b>129</b> |
| <b>I</b> | <b>Panel Fotográfico</b>   | <b>131</b> |

## Índice de Figuras

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Figura N° 1:  | Comportamiento en Deformación de Fluidos de Bingham . . . . .   | 21  |
| Figura N° 2:  | Comportamiento de CAC en función de sus propiedades . . . . .   | 22  |
| Figura N° 3:  | Ensayo de Extensión de Flujo . . . . .  | 29  |
| Figura N° 4:  | Caja en L. Adaptado de EFNARC (2005) . . . . .  | 31  |
| Figura N° 5:  | Embudo en V. Adaptado de EFNARC (2005) . . . . .  | 33  |
| Figura N° 6:  | Fases de un agregado reciclado . . . . .  | 36  |
| Figura N° 7:  | Evolución de la Resistencia a la Compresión en función de la tasa de sustitución de Agregado Grueso Reciclado. Adaptado de Revilla Cuesta et al. (2020) . . . . . | 40  |
| Figura N° 8:  | Ubicación de Cantera Aguilar - Tartar Chico . . . . .   | 42  |
| Figura N° 9:  | Punto de obtención de fragmentos de concreto demolido en Jr. Del Batán Cd. 1 . . . . .  | 43  |
| Figura N° 10: | Punto de obtención de fragmentos de concreto demolido en Jr. Silva Santisteban Cd. 8 . . . . .  | 43  |
| Figura N° 11: | Punto de obtención de fragmentos de concreto demolido en Jr. Junín Cd. 7 . . . . .  | 44  |
| Figura N° 12: | Flujo de Trabajo de la Investigación . . . . .  | 47  |
| Figura N° 13: | Extensión de Flujo Promedio de Mezclas . . . . .  | 60  |
| Figura N° 14: | Extensión de Flujo Promedio de Mezclas . . . . .  | 61  |
| Figura N° 15: | Tv promedio para mezclas en estudio . . . . .   | 63  |
| Figura N° 16: | CB promedio para mezclas en estudio . . . . .   | 64  |
| Figura N° 17: | Evolución de la resistencia a compresión con edad de probetas . . . . .   | 65  |
| Figura N° 18: | Resistencia Porcentual de mezclas en estudio . . . . .  | 65  |
| Figura N° 19: | Ensayo N° 01 - Curva granulométrica de agregado fino . . . . .  | 81  |
| Figura N° 20: | Ensayo N° 02 - Curva granulométrica de agregado fino . . . . .  | 82  |
| Figura N° 21: | Ensayo N° 03 - Curva granulométrica de agregado fino . . . . .  | 83  |
| Figura N° 22: | Ensayo N° 01 - Curva granulométrica de agregado grueso . . . . .  | 86  |
| Figura N° 23: | Ensayo N° 02 - Curva granulométrica de agregado grueso . . . . .  | 87  |
| Figura N° 24: | Ensayo N° 03 - Curva granulométrica de agregado grueso . . . . .  | 88  |
| Figura N° 25: | Ensayo N° 02 - Curva granulométrica de agregado grueso reciclado . . . . .  | 93  |
| Figura N° 26: | Ensayo N° 03 - Curva granulométrica de agregado grueso reciclado . . . . .  | 94  |
| Figura N° 27: | Obtención de agregados de Cantera Aguilar (Tartar Chico) . . . . .  | 131 |
| Figura N° 28: | Obtención de fragmentos de concreto reciclado . . . . .   | 131 |
| Figura N° 29: | Obtención de núcleos de diamantina . . . . .  | 132 |
| Figura N° 30: | Tamizado de agregados para análisis granulométrico . . . . .  | 132 |
| Figura N° 31: | Análisis granulométrico de agregado grueso . . . . .  | 133 |
| Figura N° 32: | Peso unitario suelto seco de agregado grueso . . . . .  | 133 |
| Figura N° 33: | Peso unitario compactado de agregado grueso . . . . .   | 134 |
| Figura N° 34: | Peso unitario suelto seco de agregado fino . . . . .  | 134 |
| Figura N° 35: | Peso específico de agregado fino . . . . .  | 135 |
| Figura N° 36: | Peso específico de agregado grueso . . . . .  | 135 |
| Figura N° 37: | Fragmentos triturados de concreto demolido en condición saturado superficialmente seco (SSS) . . . . .  | 136 |
| Figura N° 38: | Muestras de agregado fino, grueso y grueso reciclado obtenido mediante trituración de fragmento de concreto demolido . . . . .                                    | 136 |
| Figura N° 39: | Colocación de muestras de agregados en horno . . . . .  | 137 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura N° 40: Preparación de materiales para tanda de prueba . . . . .                                      | 137 |
| Figura N° 41: Aditivo superplastificante Z-Fluidizante SR 1000 . . . . .                                    | 138 |
| Figura N° 42: Dosificaciones fallidos en busca de una adecuada mezcla de concreto autocompactante . . . . . | 138 |
| Figura N° 43: Ensayo de extensión de flujo (muestra PATRON) . . . . .                                       | 139 |
| Figura N° 44: Ensayo de extensión de flujo (muestra MP-25) . . . . .  | 139 |
| Figura N° 45: Ensayo de extensión de flujo (muestra MP-50) . . . . .  | 140 |
| Figura N° 46: Ensayo de extensión de flujo (muestra MP-75) . . . . .  | 140 |
| Figura N° 47: Ensayo de extensión de flujo (muestra MP-100) . . . . .                                       | 141 |
| Figura N° 48: Realización de ensayo de embudo en V . . . . .  | 141 |
| Figura N° 49: Realización de ensayo de caja en L . . . . .  | 142 |
| Figura N° 50: Rotura de probetas a 7 días de edad . . . . .   | 142 |
| Figura N° 51: Rotura de probetas a 14 días de edad con supervisión de asesor . .                            | 143 |
| Figura N° 52: Rotura de probetas a 28 días de edad con supervisión de asesor . .                            | 143 |

## Índice de Tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla N° 1: Rangos recomendados por ACI 237 para mezclas de CAC . . . . .  | 27 |
| Tabla N° 2: Rango de Valores según normativas . . . . .  | 29 |
| Tabla N° 3: Rango de Valores para $T_{50}$ . . . . .   | 30 |
| Tabla N° 4: Criterios para determinar VSI, según ACI 237 . . . . .   | 30 |
| Tabla N° 5: Rango de valores para Coeficiente de Bloqueo (CB) . . . . .  | 32 |
| Tabla N° 6: Rango de valores $T_v$ (s) . . . . .   | 33 |
| Tabla N° 7: Requisitos Generales para la Autocompactabilidad (Anexo 17 de EHE-08) . . . . .  | 34 |
| Tabla N° 8: Distribución de probetas en investigación . . . . .  | 45 |
| Tabla N° 9: Distribución de ensayos de mezclas en estado fresco . . . . .  | 46 |
| Tabla N° 10: Propiedades Físicas de Agregados Convencionales . . . . .   | 58 |
| Tabla N° 11: Propiedades Físicas de Agregado Grueso Reciclado, obtenido mediante trituración de fragmentos de concreto demolidos . . . . . | 58 |
| Tabla N° 12: Dosificaciones por $m^3$ de mezclas de prueba (Pesos Secos) . . . . .   | 59 |
| Tabla N° 13: Dosificaciones por $m^3$ de mezclas de prueba (Pesos Húmedos) . . . . .   | 59 |
| Tabla N° 14: Extensión de Flujo Promedio de Mezclas . . . . .  | 60 |
| Tabla N° 15: Tiempo T50 . . . . .  | 61 |
| Tabla N° 16: VSI de cada mezcla estudiada . . . . .  | 62 |
| Tabla N° 17: Tv promedio para mezclas en estudio . . . . .   | 62 |
| Tabla N° 18: CB promedio para mezclas en estudio . . . . .   | 63 |
| Tabla N° 19: Resistencia a Compresión promedio para mezclas en estudio . . . . .   | 64 |
| Tabla N° 20: Ensayo N° 01 - Análisis granulométrico del agregado fino . . . . .  | 81 |
| Tabla N° 21: Ensayo N° 02 - Análisis granulométrico del agregado fino . . . . .  | 82 |
| Tabla N° 22: Ensayo N° 03 - Análisis granulométrico del agregado fino . . . . .  | 83 |
| Tabla N° 23: Ensayo peso específico y absorción del agregado fino . . . . .  | 84 |
| Tabla N° 24: Determinación de peso específico del agua . . . . .   | 84 |
| Tabla N° 25: Determinación de factor "F" para recipiente de agregado fino . . . . .  | 84 |
| Tabla N° 26: Ensayo de peso unitario suelto seco de agregado fino . . . . .  | 85 |
| Tabla N° 27: Ensayo de peso unitario seco compactado de agregado fino . . . . .  | 85 |
| Tabla N° 28: Ensayo de partículas que pasar malla N° 200 . . . . .   | 85 |
| Tabla N° 29: Ensayo contenido de humedad de agregado fino . . . . .  | 85 |
| Tabla N° 30: Ensayo N° 01 - Análisis granulométrico del agregado grueso . . . . .  | 86 |
| Tabla N° 31: Ensayo N° 02 - Análisis granulométrico del agregado grueso . . . . .  | 87 |
| Tabla N° 32: Ensayo N° 03 - Análisis granulométrico del agregado grueso . . . . .  | 88 |
| Tabla N° 33: Ensayo peso específico y absorción del agregado grueso . . . . .  | 89 |
| Tabla N° 34: Determinación de peso específico del agua . . . . .   | 89 |
| Tabla N° 35: Determinación de factor "F" para recipiente de agregado grueso . . . . .  | 89 |
| Tabla N° 36: Ensayo de peso unitario suelto seco de agregado grueso . . . . .  | 90 |
| Tabla N° 37: Ensayo de peso unitario seco compactado de agregado grueso . . . . .  | 90 |
| Tabla N° 38: Ensayo de partículas que pasar malla N° 200 . . . . .   | 90 |
| Tabla N° 39: Ensayo contenido de humedad de agregado grueso . . . . .  | 91 |
| Tabla N° 40: Ensayo de abrasión del agregado grueso . . . . .  | 91 |
| Tabla N° 41: Ensayo N° 01 - Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado . . . . .  | 92 |
| Tabla N° 42: Ensayo N° 01 - Curva granulométrica de agregado grueso reciclado . . . . .  | 92 |
| Tabla N° 43: Ensayo N° 02 - Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado . . . . .  | 93 |
| Tabla N° 44: Ensayo N° 03 - Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado . . . . .  | 94 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla N° 45: Ensayo peso específico y absorción del agregado grueso reciclado . . . . .                       | 95  |
| Tabla N° 46: Determinación de peso específico del agua . . . . .  | 95  |
| Tabla N° 47: Determinación de factor "F" para recipiente de agregado grueso . . . . .                         | 95  |
| Tabla N° 48: Ensayo de peso unitario suelto seco de agregado grueso reciclado . . . . .                       | 96  |
| Tabla N° 49: Ensayo de peso unitario seco compactado de agregado grueso reciclado . . . . .                   | 96  |
| Tabla N° 50: Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado grueso reciclado . . . . .               | 96  |
| Tabla N° 51: Contenido de humedad del agregado grueso reciclado . . . . .                                     | 97  |
| Tabla N° 52: Ensayo de abrasión de agregado grueso reciclado . . . . .  | 97  |
| Tabla N° 53: Promedio de resistencias a la compresión de concreto de origen de agregados reciclados . . . . . | 104 |
| Tabla N° 54: Objetivos de Flujo de Asentamiento . . . . .   | 104 |
| Tabla N° 55: Volumen absoluto de agregado grueso . . . . .  | 105 |
| Tabla N° 56: Rango de contenidos de polvo para concreto autocompactante . . . . .                             | 105 |
| Tabla N° 57: Parámetros para mezcla de prueba de concreto autocompactante . . . . .                           | 105 |
| Tabla N° 58: Cantidades de agua y aire por $m^3$ . . . . .  | 106 |
| Tabla N° 59: Resultados de ensayos a compresión de probetas PATRON a edades de 7, 14 y 28 días . . . . .      | 122 |
| Tabla N° 60: Resultados de ensayos a compresión de probetas MP-25 a edades de 7, 14 y 28 días . . . . .       | 123 |
| Tabla N° 61: Resultados de ensayos a compresión de probetas MP-50 a edades de 7, 14 y 28 días . . . . .       | 124 |
| Tabla N° 62: Resultados de ensayos a compresión de probetas MP-75 a edades de 7, 14 y 28 días . . . . .       | 125 |
| Tabla N° 63: Resultados de ensayos a compresión de probetas MP-100 a edades de 7, 14 y 28 días . . . . .      | 126 |

## Resumen

Esta investigación evaluó cuanto influye en la resistencia a compresión de un concreto autocompactante (CAC) de  $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ , la sustitución de agregado grueso convencional por agregado grueso obtenido de fragmentos triturados provenientes de concretos demolidos, denominado agregado reciclado, se realizó sustituciones del 25 %, 50 %, 75 % y 100 % del volumen ocupado por el agregado grueso convencional en la muestra patrón. Además, se evaluó las propiedades en estado fresco de los concretos autocompactantes, utilizándose los ensayos de extensión de flujo, VSI, embudo en V y caja en L. Los materiales utilizados fueron agua de la red pública de Cajamarca, cemento Pacasmayo tipo I, aditivo superplastificante “Z Fluidizante SR-1000”, agregados convencionales de la cantera Aguilar (Tartar Chico) y agregados gruesos obtenidos mediante trituración mecánica de fracciones de concretos provenientes de la demolición del pavimento rígido realizada en las calles Jr. Del Batan cuadra 1, Jr. Silva Santisteban cuadra 8 y Jr. Junín cuadra 7, como parte del estudio de mecánica de suelos para un proyecto de mejoramiento de movilidad urbana en la ciudad de Cajamarca. El diseño de mezclas se realizó siguiendo la metodología propuesta en ACI 237, se midió las propiedades de autocompactabilidad de las mezclas en estado fresco y cada grupo de probetas fue ensayado a compresión a los 7, 14 y 28 días. A la edad de 28 días, con respecto a la resistencia objetivo, cada grupo de probetas alcanzó una resistencia promedio de 105.14 %, 97.78 %, 93.12 % y 87.76 %, para las probetas con sustituciones del 25 %, 50 %, 75 % y 100 % respectivamente. Se concluye, que la sustitución de agregado grueso reciclado de concreto por agregado grueso convencional, produce una menor resistencia a la compresión en los concretos autocompactantes estudiados, existiendo una mayor disminución a medida que se aumenta la cantidad de reemplazo, no obstante, resulta factible el uso de sustituciones hasta el 25 %, dado que la mezcla presentó un adecuado comportamiento en estado fresco, asegurando la autocompactabilidad de la misma y además desarrolló una resistencia a la compresión que cumplió con el objetivo de diseño.

**Palabras Clave:** concreto autocompactante, autocompactabilidad, resistencia mecánica, aditivo superplastificante, fluidez, viscosidad, segregación.

## Abstract

This investigation evaluated how much the compressive strength of a self-compacting concrete (CAC) of  $f'_c = 420 \text{ kg/cm}^2$  influences, the substitution of conventional coarse aggregate for coarse aggregate obtained from crushed fragments from demolished concrete, substitutions of 25 %, 50 %, 75 % and 100 % of the volume occupied by the conventional coarse aggregate in the standard sample. In addition, the properties of the self-compacting concrete in the fresh state were evaluated, using the flow extension, VSI, V-shaped funnel and L-box tests. The materials used were water from the public network of Cajamarca, Pacasmayo type I cement, additive superplasticizer "Z Fluidizante SR-1000", conventional aggregates from the Aguilar quarry (Tartar Chico) and coarse aggregates obtained by mechanical crushing of fractions of concrete from the demolition of the rigid pavement carried out in the streets Jr. Del Batán cuadra 1, Jr. Silva Santisteban block 8 and Jr. Junín block 7, as part of the soil mechanics study for an urban mobility improvement project in the city of Cajamarca. The mix design was carried out following the methodology proposed in ACI 237, the self-compactability properties of the mixes were measured in the fresh state and each group of test tubes was compression tested at 7, 14 and 28 days. At the age of 28 days, with respect to the objective resistance, each group of test pieces reached an average resistance of 105.14 %, 97.78 %, 93.12 % and 87.76 %, for the test pieces with substitutions of 25 %, 50 %, 75 % and 100 % respectively. It is concluded that the use of recycled coarse aggregate for concrete produces a decrease in the compressive strength of this type of concrete proportional to the amount of substitution made, however, the use of substitutions up to 25 % is feasible, given that the mixture presented an adequate behavior in the fresh state, ensuring its self-compactability and also developed a compressive strength that met the design objective.

**Keywords:** self-compacting concrete, self-compactability, mechanical resistance, superplasticizer additive, fluidity, viscosity, segregation.



# Capítulo I. Introducción

## 1.1 Planteamiento del Problema

El concreto es de los materiales más demandados, siendo la sustancia más consumida a nivel mundial solo por detrás del agua (Makul, 2020). Esto conlleva dentro del campo de la ingeniería el buscar constantemente múltiples mejoras en las propiedades mecánicas y características de este material, es así que tenemos al concreto autocompactante (CAC), que nació frente a la necesidad de conseguir un mejor desempeño frente a sollicitaciones que se presentan durante el trabajo ingenieril. Según ACI 237 (2019), lo define como aquel concreto capaz de fluir apropiadamente a través de armaduras de refuerzo y tener la capacidad de acomodarse al encofrado sin la necesidad de vibración, no presentando segregación ni exudación.

Por otro lado, existe una clara tendencia a orientar los procesos con un enfoque sostenible en las diversas industrias. Siendo la industria de la construcción, como lo indica Fiol et al. (2018), la que tiene una importante responsabilidad debido al consumo de recursos naturales y generación de residuos que realiza. Siendo el uso de agregados reciclados una forma de apuntar hacia la sostenibilidad, como lo expresa Adams y Jayasuriya (2019) al constituir entre 60 % a 75 % del volumen total de concreto, estos tienen gran influencia en el impacto ambiental indicado en la huella de carbono que se genera, teniendo en cuenta actividades de extracción y transporte. A esto se debe añadir que la industrialización y el crecimiento poblacional conllevan a una necesidad de aumentar espacios funcionales y buscar mejoras en la infraestructura a nivel mundial, haciendo que se disponga de material producto de las demoliciones realizadas.

Finalmente Santos et al. (2019), añade que la combinación de las ventajas medioambientales del uso de agregados reciclados y las mejoras inherentes al usar un concreto autocompactante, dan lugar a un material innovador de gran interés para la industria de la construcción en general.

Teniendo en cuenta lo mencionado, aprovechar el valor residual de materiales de desecho a través de una trituración que los lleve al tamaño de agregados, es una forma de optimizar el uso de los agregados convencionales en la industria de la construcción, además la producción de concretos autocompactantes es una tendencia actual en el sector en mención.

En la presente investigación se estudió la influencia de sustituir en diferentes proporciones agregado grueso convencional por agregado grueso reciclado, obtenido de la trituración de fragmentos de concreto provenientes de la demolición de secciones de pavimento rígido de tres calles, que forman parte de un proyecto de mejoramiento de movilidad urbana en la ciudad de Cajamarca.

## **1.2 Formulación del Problema**

¿En cuánto influye la sustitución de agregado grueso convencional por agregado grueso reciclado en la resistencia a compresión de un concreto autocompactante  $f'c$  420 kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Cajamarca 2022?

## **1.3 Hipótesis de la Investigación**

La sustitución de agregado grueso convencional por agregado grueso reciclado, obtenido de la trituración de fragmentos de concreto demolido, influye de forma negativa en la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante, llegando a causar disminuciones mayores al 10 % en la resistencia a la compresión.

## **1.4 Justificación de la Investigación**

El concreto autocompactante es una tecnología revolucionaria en la Ingeniería Civil, dadas sus características y ventajas respecto al concreto convencional que le permiten transformar los procesos constructivos y lograr mejoras de productividad y durabilidad en las construcciones.

Así mismo, el uso tradicional de los agregados convencionales trae consigo un consumo significativo de recursos naturales y consecuentemente un impacto ambiental considerable. Es así, que usar agregado grueso obtenido de la trituración de fragmentos de concreto provenientes de la demolición de secciones de pavimento rígido, es una alternativa ecoamigable que permite la disminución de la demanda de recursos naturales y un manejo responsable de los residuos de construcción.

Esta investigación tiene como propósito brindar conocimiento sobre producción de concretos autocompactantes utilizando agregados gruesos reciclados, provenientes de fragmentos de concretos demolidos obtenidos en la ciudad de Cajamarca, esto permitirá la preparación de un concreto con una tecnología moderna y con un menor impacto al medio ambiente.

## **1.5 Alcances o Delimitación de la Investigación**

Este estudio se desarrolló en el distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca, entre los meses de mayo a agosto del año 2022. Determinando la influencia en la resistencia a compresión de un concreto autocompactante (CAC), debido al reemplazo de agregado grueso reciclado, obtenido de la trituración de fragmentos de concreto demolido, en las proporciones de 25 %, 50 %, 75 % y 100 % del agregado grueso convencional de una muestra patrón previamente diseñada. Realizándose ensayos del concreto en estado fresco y ensayos para determinar sus respectivas resistencias a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado.

Para esta investigación se denominó como agregado grueso reciclado, al agregado grueso obtenido mediante la trituración mecánica de los fragmentos de concreto provenientes de la demolición de secciones de pavimento desarrolladas en las calles Jr. Del Batan cuadra 1, Jr. Silva Santisteban cuadra 8 y Jr. Junín cuadra 7, los días 26 y 27 de julio del año 2022, como parte del estudio de mecánica de suelos para un proyecto de mejoramiento de movilidad urbana en la ciudad de Cajamarca. Presentando los pavimentos rígidos una resistencia a la compresión promedio de 157 kg/cm<sup>2</sup> (tabla N° 53) al momento de realizar esta investigación, valor obtenido del ensayo a compresión a los núcleos de diamantina (figura N° 29) según la ASTM C42.

Los materiales utilizados fueron cemento Pacasmayo tipo I (ASTM C150), aditivo super plastificante “Z Fluidizante SR-1000”, agregados convencionales de la cantera Aguilar (Tartar Chico) y agregado grueso proveniente de la trituración de los fragmentos de concreto demolido descritos anteriormente.

## **1.6 Limitaciones**

- El concreto presentado en esta investigación, será aplicable en obras donde no se use acero de refuerzo (pavimentos rígidos, estribos por gravedad en puentes, muros de contención de gravedad, etc), dado que no se estudió la influencia que podría tener los materiales utilizados sobre las varillas de acero durante la vida útil de la estructura en términos de resistencia.

## 1.7 Objetivos

### 1.7.1 Objetivo General

- Determinar la influencia de la sustitución de agregado grueso por agregado grueso reciclado en la resistencia a compresión de un concreto autocompactante  $f'c$  420 kg/cm<sup>2</sup>.

### 1.7.2 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas de los agregados naturales y agregado grueso reciclado, de acuerdo a la Norma Técnica Peruana.
- Determinar las propiedades de autocompactabilidad del concreto en estado fresco para cada grupo de probetas planteado, siguiendo la metodología propuesta por ACI 237 y EFNARC.
- Determinar la resistencia a la compresión ( $f'c$ ) a los 7, 14 y 28 días para cada grupo de probetas.

## 1.8 Descripción del Contenido

La presente investigación se ha desarrollado en cinco capítulos que de forma resumida contienen lo siguiente:

- **Capítulo I: Introducción**

Se plantea el problema, justificación, objetivos y alcance de la presente investigación.

- **Capítulo II: Marco Teórico**

Se presentan los antecedentes teóricos locales, nacionales e internacionales, formado por investigaciones similares publicadas. Además, se presenta las bases teóricas conformada por los conceptos que sirven de base para el desarrollo de la investigación.

- **Capítulo III: Materiales y Métodos**

Se presenta la ubicación geográfica de la cantera de origen de los agregados convencionales y los puntos de obtención de los fragmentos de concreto demolido, así mismo, se presenta el intervalo de tiempo donde se realizó la investigación. Por otro lado, se describen los procedimientos y métodos que se realizaron en la presente investigación. Además, se presenta el procesamiento de datos realizado en función de los objetivos planteados.

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

Se analiza de los resultados mostrados en el capítulo anterior, describiéndolos y comparándolos con normativas y otros trabajos de investigación.

- **Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones**

Se señalan las conclusiones de la investigación en base a los objetivos que se plantearon, además de indicar las recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas al problema de investigación.

## Capítulo II. Marco Teórico

### 2.1 Antecedentes de la Investigación

#### 2.1.1 A Nivel Internacional

**Revilla Cuesta et al. (2020)**, en el artículo de investigación titulado: **“Self-compacting concrete manufactured with recycled concrete aggregate: An overview”**, desarrollado por ingenieros de la Universidad de Burgos (España) y Universidad de Padua (Italia), exponen un trabajo de investigación sobre los estudios realizados hasta la fecha respecto al uso de agregados reciclados en concretos autocompactantes, después de revisar y analizar los resultados de 17 trabajos de investigación, concluyen que no encuentra una tendencia clara de la influencia de la cantidad de agregado grueso reciclado de concreto con respecto a la resistencia a compresión, si bien en su mayoría al aumentar la cantidad de agregado reciclado, existe una disminución en la resistencia a compresión alcanzada, cita 3 trabajos donde se evidenció un aumento de la resistencia a la compresión, además después de analizar los datos, encuentra una dispersión de los mismos que se puede deber a los cambios que existen en variables como el origen del agregado, calidad, cantidad de mortero adherido y la resistencia a compresión del concreto de origen. La incertidumbre aumenta con la tasa de reemplazo de Agregado Grueso Reciclado (AGR), además que el uso conjunto con Agregado Fino Reciclado (AFR), aumenta aún más esta dispersión.

**Sun et al. (2020)**, en su trabajo de investigación titulado: **“Utilization of waste concrete recycling materials in self-compacting concrete”**, desarrollado en China, donde realizaron el diseño de nueve mezclas de concreto autocompactante, manteniendo una relación agua/cemento constante; una mezcla fue usada como control (elaborada con agregados convencionales) y las otras fueron elaboradas con agregados de concreto reciclado en sus diferentes formas como agregado grueso (AGR), fino (AFR) y polvos reciclados (PR). Llegan a la conclusión que el AGR genera una menor pérdida en las propiedades de este tipo de concreto en comparación con los otros tipos de agregados reciclados analizados en la investigación. Además, atribuyen la pérdida de resistencia a la compresión a las micro fisuras y porosidad que presentan los agregados reciclados, recomendando para el caso del agregado grueso limitar la sustitución a un 25 %.

### 2.1.2 A Nivel Nacional

**Aquino Carreón (2021)**, en su tesis titulada: “**Análisis de la resistencia de concretos autocompactantes con agregados artificiales para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=315 \text{ kg/cm}^2$  en Puno 2018**”, realizada en Puno, planteó un grupo de mezclas denominadas patrón, las cuales no contaban en su composición con aditivo superplastificante, sirviendo estas de referencia para comparar los resultados de los demás grupos de probetas que incluían cantidades de aditivo (Sika Viscocrete 1110) en las proporciones de 1 %, 1.5 % y 2.5 % respecto al peso del cemento. A los 28 días de curado, obtuvo incrementos de hasta un 32.26 % de resistencia a compresión con respecto a las muestras patrón en sus concretos autocompactantes, para dosificaciones del 1.5 %. Concluyendo que existe además de las mejoras en la fluidez, una mejora significativa en la resistencia a compresión de los concretos producidos usando este tipo de aditivos.

**Cipriano Rojas (2019)**, en su tesis titulada: “**Concreto elaborado con agregados de residuos de construcción y demolición (RCD) reciclados**”, desarrollada en Lima, elaboró tres grupos de probetas en función de la relación de cemento - agregado, dividiendo las mismas en un concreto patrón de referencia y un concreto con agregados reciclados, donde realizó la sustitución del agregado grueso y parte del agregado fino. Obteniendo a los 28 días de curado una resistencia a compresión menor en 9 % a 27 % respecto de las muestras patrón. Además, señala diferencias importantes en las propiedades presentadas en el agregado grueso reciclado respecto al agregado grueso patrón, como en el peso específico, donde se tuvo  $2.55 \text{ g/cm}^3$  para el patrón y  $2.07 \text{ g/cm}^3$  para el reciclado, así también para la absorción se tuvo 0.85 % para el patrón y 9.26 % para el reciclado, señalando que esta variación en los valores se debe al alto grado de porosidad que pueden llegar a presentar un agregado reciclado dependiendo de su origen.

### 2.1.3 A Nivel Local

**Bustamante Tirado (2018)**, en su tesis titulada: “**Análisis de las Propiedades Mecánicas del Concreto Autocompactante, usando el aditivo superplastificante GLENIUM C 313**”, desarrollada en la ciudad de Cajamarca, realizó el diseño de mezclas de concretos autocompactantes usando el método del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados para un  $f'c 300 \text{ kg/cm}^2$ , dividiendo las mezclas en 5 grupos que incluyó una mezcla patrón en la que no se usó aditivo superplastificante y en las otras 4 que contienen 0.5 %, 1 %, 1.5 %

y 2 % respectivamente. Concluyendo que el uso del aditivo superplastificante en comparación con la muestra patrón a los 28 días de curado, mejoró las propiedades de compresión para dosificaciones de 0.5 % y 1 % en 9.33 % y 17.55 % respectivamente, mientras que para dosificaciones de 1.5 % y 2 % se presentaron disminuciones del 6.12 % y 11.02 %. Esto demuestra la importancia de determinar una cantidad óptima de aditivo, mediante ensayos previos se óptima para el objetivo que se está buscando.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Concreto Autocompactante**

#### **2.2.1.1 Generalidades**

Este tipo de concreto aparece en Japón a inicios de 1980 como una solución a los elevados costos de colocación del concreto convencional, producto del elevado valor de la mano de obra japonesa y la busca de mejoras en el acabado superficial de las estructuras de concreto producidas. Por su parte en EEUU, se utilizó desde su introducción en la construcción de prefabricados, debido a la eliminación de la consolidación mecánica y los ruidos asociados a este proceso, además de prevenir defectos en la superficie de los elementos creados, evitando costos adicionales de reparación. (Yahia & Aïtcin, 2016)

Por su parte, EFNARC (2005), define al concreto autocompactante (CAC), como aquel que ofrece una rápida velocidad de colocación, disminuyendo los tiempos de construcción y facilitando el flujo alrededor de refuerzo congestionado. La fluidez y la resistencia a la segregación de un CAC asegura un alto nivel de homogeneidad, proporcionando el potencial para un nivel superior de acabado y durabilidad. Además, el CAC de forma general se produce con una relación a/c baja, esto conlleva a una alta resistencia en poco tiempo, en consecuencia un desencofrado y puesta en funcionamiento más rápido.

Un CAC a diferencia de los concretos convencionales, es menos tolerante a las variaciones de humedad, granulometría de los agregados y contenido de finos. Por lo tanto, la uniformidad y consistencia del suministro a lo largo de la producción son esenciales. (Sfikas, 2017)

Por su parte ACI Committee 237 (2019), señala los tres requisitos funcionales para que el material se considere autocompactante son: capacidad de llenado, capacidad de paso y resistencia a la segregación o estabilidad.



### 2.2.1.2 Ventajas y Desventajas

ACI 237, indica las siguientes ventajas que presenta un CAC:

- Reducción de mano de obra y equipo.
- Correcta consolidación del concreto sin necesidad de vibración (ahorro en compra, mantenimiento y operación de equipos).
- Reducción de trabajos de enrasado o acabado de superficie.
- Permite mayores volúmenes de vaciado y colocación (reducción tiempo de construcción).
- Facilita y agiliza el llenado de zonas altamente reforzadas, secciones con encofrado complejo, permitiendo una buena calidad constructiva.
- Mayor flexibilidad al distribuir puntos de vaciado, reduciendo el número de bombas y operadores, generando ahorro de tiempo y recursos.
- Reducción del ruido en el lugar de trabajo (crítico en zonas urbanas), aumentando los periodos constructivos, incluyendo horarios donde exista menores dificultades con el tráfico. En empresas de prefabricados se reduce el pago de primas de seguros por contaminación acústica.
- Se tiene más flexibilidad para detallar barras de acero de refuerzo, evitando la agrupación de refuerzos, necesario para los trabajos de consolidación.
- Se consiguen mejores acabados superficiales, acompañados de un encofrado de buena calidad y un agente desmoldante adecuado.
- Elimina la necesidad de materiales para contrapisos con el fin de nivelar para alfombras o baldosas.

Por su parte, Sfikas (2017), señala desventajas a tener en cuenta:

- Se debe esperar un costo inicial mayor dada la implementación a realizar para producir concretos autocompactantes, si buscamos aumentar el rendimiento.
- Equipo de pruebas adicionales y un mejoramiento en el control de calidad.
- Uso de encofrados de una mejor calidad para aguantar mayores presiones.

- Mayores pérdidas económicas si no se diseñó y probó el concreto de forma correcta y anticipada.

Sin embargo, si se manejan adecuadamente todos estos factores las ventajas que tiene la aplicación de concretos autocompactantes, trae mejoras que pueden equilibrar o mejorar el costo final que se realizará.

### 2.2.1.3 Fluidez de un concreto autocompactante

De acuerdo con Burbano García (2019), se necesita producir un concreto que tenga una sinergia de dos propiedades: suficiente fluidez para poder conformarse bajo su propio peso, es decir un bajo esfuerzo de fluencia ( $\tau_0$ ), cercano a un fluido newtoniano, además de robustez, cohesividad y viscosidad ( $\mu'$ ) moderada con el fin de poseer buena resistencia a la segregación. La sinergia de estas dos propiedades permitirá al CAC desarrollar sus propiedades características.

Por su parte ACI 237, compara el comportamiento del CAC con un fluido de Bingham, caracterizados por necesitar un esfuerzo cortante determinado para iniciar su flujo (límite elástico) tal como se puede observar en la figura N° 1, alcanzado este punto hacia adelante, presentará proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de cizallamiento, denominada viscosidad plástica (resistencia al flujo de un material plástico).

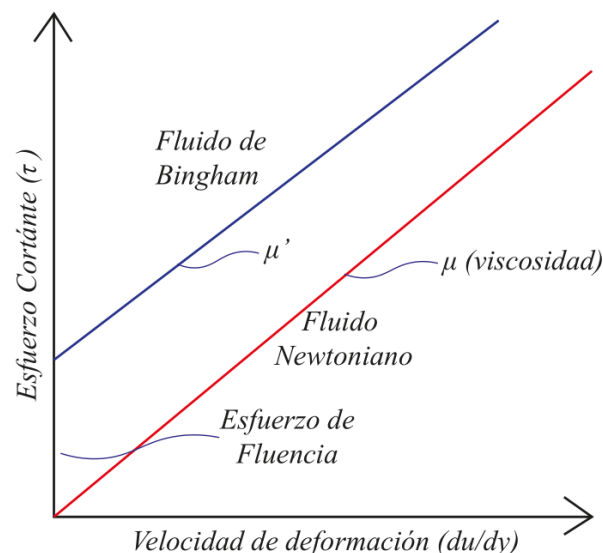


Figura N° 1: Comportamiento en Deformación de Fluidos de Bingham

Por otro lado, es importante que los diseños de estos concretos tengan una alta tixotropía, que permita al concreto flocular cuando está en reposo y deflocular durante un flujo. De

esta forma se evitaría la sedimentación de las partículas más pesadas. Para alcanzar estas propiedades reológicas es necesario el uso de aditivos, áridos finos, de tal forma que se encuentre un equilibrio entre un bajo esfuerzo de fluencia y una moderada viscosidad.

En la figura N° 2, se observa en (a) una mezcla con elevada viscosidad pero con una baja deformabilidad en consecuencia no fluye, en (b) solo existe flujo de la pasta quedando sedimentado el agregado grueso evidenciando una mayor deformabilidad pero baja viscosidad dado que solo fluye la pasta, finalmente en (c) se puede observar una mezcla de CAC con un flujo sin separación (adecuada viscosidad y fluidez), se podría decir que cuenta con un comportamiento reológico adecuado y esto se consigue con una adecuada dosificación y el uso de aditivos.

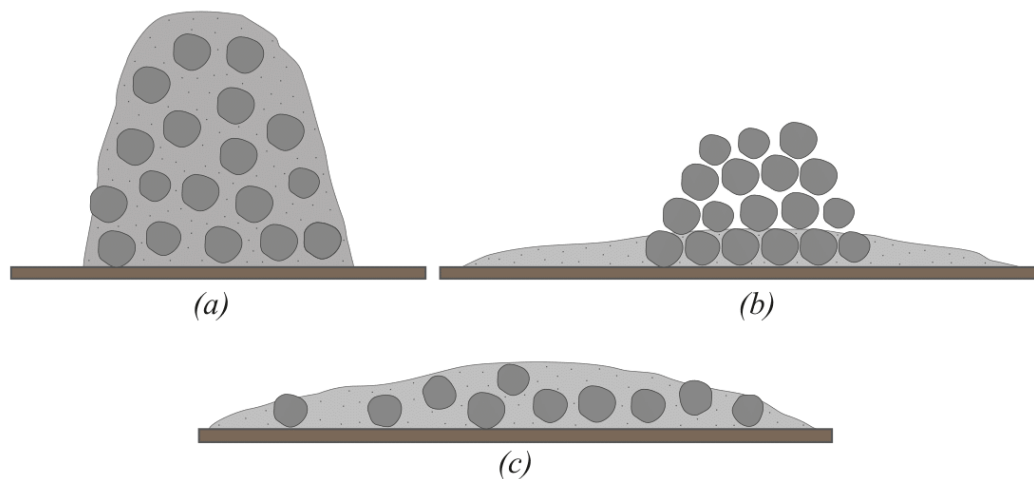


Figura N° 2: Comportamiento de CAC en función de sus propiedades

## 2.2.2 Componentes del Concreto Autocompactante

### 2.2.2.1 Cemento

Los cementos cumplirán con las normas ASTM C150 (NTP 334.009), C595 (NTP 334.090), C1157 (NTP 334.082). Así mismo, ACI 237 señala que de ser necesario utilizar algún material cementante suplementario, se debe cumplir con las normas ASTM C618 (NTP 334.104) o ASTM C989, en el caso de usar humo de sílice se debería cumplir con ASTM C1240 (NTP 334.087).

### 2.2.2.2 Agregados

También conocidos como áridos, son materiales inertes que en conjunto con los aglomerantes y agua forman el concreto, ocupan alrededor del 75 % del volumen (en una mezcla

convencional), es de suma importancia que tengan una buena resistencia y durabilidad y evitar las impurezas en su superficie. (Abanto Castillo, 2009)

Por su parte Silva (2020) expresa, la importancia de usar agregados tanto grueso como fino con una buena gradación, para conseguir un adecuado CAC con menores cantidades de material cementante, menor cantidad de agua y menos problemas de contracción por secado. Si no existe una disponibilidad de agregados con esta característica, dicho concreto estaría propenso a sufrir segregación, siendo necesario aumentar la cantidad de cemento con adiciones minerales y utilizar algún modificador de viscosidad que también ayudaría a controlar el sangrado facilitando su colocación.

Por otro lado, además de las recomendaciones de ACI 237, los agregados deberán cumplir con las especificaciones dadas en ASTM C33/C33M o en la NTP 400.037.

La NTP 400.011 proporciona formas de clasificar a los agregados, siendo común hacer distinción de estos en función de su composición granulométrica, teniendo agregado fino y agregado grueso.

#### a) **Agregado Fino**

Se denomina de esta forma a aquellos áridos que pasan el tamiz de 3/8" (9.5 mm) y son retenidos en tamiz N° 200 (75  $\mu m$ ) y cumplen con límites dados en NTP 400.037.

Por su parte ACI 237 recomienda además de una buena gradación del agregado fino, en algunos casos combinar arena natural con fabricada con el fin de mejorar las propiedades plásticas del CAC.

#### b) **Agregado Grueso**

Se denomina de esta forma a aquellos áridos que son retenidos el tamiz N° 4 (4.75 mm) y cumplen con límites dados en NTP 400.037.

Ahora bien, ACI 237 advierte que tanto el tamaño como el volumen del agregado grueso influyen en la capacidad de paso de un CAC, recomendando usar un TMN más pequeño al normalmente sugerido por normas como ACI 301, para así mejorar esta propiedad. Además, la trabajabilidad de un CAC es influido por la forma de las partículas, de tal manera que un agregado redondeado permitirá conseguir una mejor trabajabilidad que un agregado de piedra triturada de similar tamaño y para un mismo contenido de agua en la mezcla.

### **2.2.2.3 Agua**

El agua deberá cumplir con las mismas características que para un concreto convencional, cumpliendo con los límites de sustancias deletéreas dadas en la NTP 339.088, de tal forma que se eviten factores que afecten a propiedades del concreto como el fraguado, resistencia o durabilidad y también podrían afectar al acero mediante la corrosión.

### **2.2.2.4 Aditivo Superplastificante**

En términos de Sainz-Aja et al. (2020), los aditivos superplastificantes se consideran el elemento más importante de un CAC. La popularidad de este tipo de concreto, está relacionado con el avance que se ha tenido en la formulación química de las últimas generaciones de aditivos superplastificantes.

Además señala que el uso de aditivo superplastificante permite minimizar la reducción en las propiedades que experimentan los concretos elaborados con agregados reciclados.

Las mezclas de CAC proporcionadas con un aditivo reductor de agua de alto rango a base de policarboxilato (HRWRA) pueden desarrollar una mayor ganancia de resistencia inicial y resistencia final que las mezclas de CAC similares hechas con aditivos del mismo tipo hechos a base de naftaleno o melamina-sulfonato. (ACI 237)

Una característica del CAC son las variaciones en la trabajabilidad debido a pequeñas modificaciones en su dosificación, esto también aplica al aditivo superplastificante, siendo necesario realizar múltiples pruebas para determinar una cantidad óptima de aditivo.

### **2.2.3 Dosificación de un Concreto Autocompactante**

Para la dosificación de un CAC es necesario adicionar un superplastificante, además es importante tener un alto contenido de finos. Una dosificación correcta producirá una pasta de cemento suficientemente compacta para transportar las partículas de agregado grueso. (Revilla Cuesta et al., 2020)

En general los componentes de un CAC son los mismos de un concreto convencional, sin embargo las proporciones de estos varían a lo habitual, siendo característico una menor cantidad de árido grueso, mayor contenido de finos minerales y un menor tamaño máximo de árido. (EHE-08 – Anexo 17)

Son las propiedades plásticas en estado fresco de un CAC, las que lo diferencian de un concreto convencional. (ACI 237)

### **2.2.3.1 Desarrollo de directrices y documentos de orientación**

Desde que Okamura, desarrolló el primer prototipo de CAC en Japón en el año 1988 (Okamura & Ouchi, 2003), muchas instituciones alrededor del mundo han añadido directrices y diversas publicaciones, buscando dar orientación en la aplicación de esta tecnología.

Así pues, Sfikas (2017) presenta en su artículo un panorama de las principales publicaciones sobre CAC en el tiempo:

En primer lugar, años posteriores a la propuesta de Okamura, la Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles publicó dos documentos de orientación sobre el CAC: State of the Art Report on Self-Compacting Concrete (1996), Recommendation for Practical Application of Self-Compacting Concrete (1998).

En el año 2000, la “Unión Internacional de Laboratorios y Expertos en Materiales, Sistemas y Estructuras de Construcción” con sus siglas en francés RILEM, publica un informe realizado por el Comité Técnico TC 174: Self-Compacting Concrete - State-of-the-Art Report of RILEM TC 174-SCC, donde exponen el estado del arte sobre la tecnología del CAC para ese momento.

En el año 2005, EFNARC (“Federación Europea de Asociaciones Nacionales que Representan a los productores y aplicadores de productos de construcción especializados para Hormigón”), publica una de las directrices más conocidas y citadas sobre CAC, preparando el camino para un mayor desarrollo normativo de este tipo de concreto en Europa: European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use.

En EEUU, esta tecnología fue introducida a mediados de la década del 90 y tuvo su principal aplicación en prefabricados, siendo su primera directriz orientado a esto: TR-603. Interim Guidelines for the Use of Self-Consolidating Concrete in PCI Member Plants. PCI (2003).

Posteriormente en el año 2007, el ACI (Instituto Americano del Concreto), publica una guía completa, la cual fue revisada y aprobada nuevamente en el año 2019: Self-Consolidating Concrete. ACI.

Por otro lado, en Perú en el año 2008, se publicaron cuatro normas relacionadas a ensa-

yos para un CAC, las mismas que fueron revisadas y aprobadas en el año 2018, mediante Resolución Directoral N° 016-2018-INACAL/DN.

### **2.2.3.2 Diseño empleando Método ACI 237**

Como se vio en el apartado anterior, contamos con muchas directrices que reúnen principios para diseñar una mezcla inicial de CAC que posteriormente tendrá que ser verificada y ajustada mediante ensayos. Sin embargo, por la idoneidad de las normativas peruanas con las normas estadounidenses, dado que son referenciadas de estas, se utilizarán las pautas de diseño dadas en ACI 237 que complementan el método de diseño ACI 211 ampliamente usado.

Como la misma norma lo menciona, este método busca complementar la práctica estándar de diseño de mezclas discutido en ACI 211.1, proponiendo criterios que buscan una proporción adecuada de materiales que permitirán al concreto alcanzar las propiedades de autocompactabilidad y tener un buen comportamiento durante su colocación. Partiendo de una elección de requerimiento de extensión de flujo que se espera para el CAC en función de su aplicación, el mismo que influirá al elegir la cantidad de cemento y los valores que se buscarán al momento de realizar los ensayos a la mezcla en estado fresco, los demás materiales se calculan empleando la metodología conocida, pero se verificará que sus proporciones volumétricas tanto de pasta como de mortero se encuentran dentro de los rangos propuestos por ACI 237. La mezcla resultante tiene que ser evaluada y reajustada hasta que se alcance las propiedades requeridas.

La norma ACI 237, proporciona de forma resumida los siguientes criterios mostrados en la tabla N° 1, que se tendrán que ir verificando, cuando se calculen las cantidades de los materiales que formarán la mezcla.

Tabla N° 1: Rangos recomendados por ACI 237 para mezclas de CAC

| <b>Característica</b>              | <b>Rango</b>  |
|------------------------------------|---|
| Vol. Absoluto de A.G*              | 28 % - 32 % (1/2 pulg de TMN o más)                   |
| Proporción de pasta en volumen     | 34 % - 40 % (Vol. Total de Mezcla)                    |
| Proporción de mortero (en volumen) | 60 a 70 % (Vol. Total de la mezcla)                   |
| Relación típica a/c                | 0.32 a 0.45   |
| Cemento (contenido de polvo)       | 386 hasta 475 kg/m <sup>3</sup> (más bajo con un VMA) |

\* Hasta un 50 % (TMN = 3/8 pulg)

## 2.2.4 Propiedades de un Concreto Autocompactante

Como se vio en la sección 2.2.2, un CAC deberá presentar un comportamiento reológico adecuado, combinando acertadamente las propiedades de fluidez y viscosidad. Además como lo expresa Revilla Cuesta et al. (2020), los valores obtenidos en los ensayos deberán estar dentro de los rangos dados por las normativas nacionales y normativas de organismos relevantes como EFNARC o ACI.

### 2.2.4.1 Propiedades en estado fresco

Si bien se puede realizar la evaluación reológica de propiedades de un CAC, ACI 237 plantea esta evaluación en base a requisitos prácticos que debe presentar este tipo de concreto en su aplicación, dado que dichos resultados estarán influenciados por las propiedades reológicas de la mezcla de CAC.

Es así que las características a evaluar en un CAC se definen de la siguiente forma, teniendo en cuenta a ACI 237.

#### a) Capacidad de llenado

Describe la capacidad del CAC para fluir y llenar completamente todos los espacios dentro del encofrado, por la acción de su propio peso. Esta propiedad es importante al momento de seleccionar la técnica de vaciado y establecer el espaciamiento entre los puntos de llenado.

#### b) Estabilidad

Es la capacidad de este concreto para conservar una distribución homogénea de sus com-



ponentes durante su flujo y fraguado. Según la citada norma americana, existen dos tipos de estabilidad presentes en un CAC:

Para empezar, la estabilidad dinámica, definida como la resistencia del CAC a separarse en sus componentes durante los trabajos de colocación dentro de un encofrado. Se debe tener en cuenta, más aún cuando el concreto necesita fluir a través de espacios pequeños o angostos. Otro aspecto importante, es la estabilidad estática que debe presentarse cuando el concreto está aún en estado plástico y en reposo dentro de un encofrado, el uso de aditivos modificadores de viscosidad y contenidos altos de polvos ayudan a mantener esta estabilidad.

c) **Habilidad de paso**

Hace referencia a la facilidad con la que el concreto puede pasar los obstáculos y espacios estrechos presentados durante su flujo, sin llegar a bloquearse. Entendiendo que el bloqueo es la condición que puede surgir de la segregación local de agregados en las proximidades de los obstáculos dando lugar al atascamiento en ausencia de una vibración mecánica.

#### 2.2.4.2 Ensayos del CAC en estado fresco

a) **Ensayo de Esgurrimiento**

En términos de ACI 237, este ensayo se encuentra descrito en la norma ASTM C 1611/C 1611M, también en EFNARC 2005 y se denominada como “Slump Flow”. El ensayo evalúa la fluidez que desarrolla una mezcla sin la presencia de obstáculos, los resultados obtenidos indicarán la capacidad de llenado de la mezcla, mientras mayor sea el valor obtenido más lejos podrá viajar desde un punto de descarga y consecuentemente llenar un encofrado de forma más rápida.

El ensayo se realiza de manera similar a la prueba de asentamiento convencional utilizando el cono de asentamiento estándar. Sin embargo, en lugar de medir la distancia de caída verticalmente se mide y se reporta la extensión horizontalmente media alcanzada por el concreto (promedio de dos diámetros medidos perpendicularmente entre sí).

Tabla N° 2: Rango de Valores según normativas

| <b>ACI 237</b>     |                 |                 |
|--------------------|-----------------|-----------------|
| >550 mm            | 550 mm - 650 mm | >650 mm         |
| <b>EFNARC 2005</b> |                 |                 |
| SF1                | SF2             | SF3             |
| 550 mm - 650 mm    | 660 mm - 750 mm | 750 mm - 850 mm |
| <b>UNE 83.361</b>  |                 |                 |
| AC-E1              | AC-E2           | AC-E3           |
| 550 mm - 650 mm    | 650 mm - 750 mm | 750 mm - 850 mm |

En la tabla N° 2, se muestran los rangos establecidos por las normas citadas. Si bien ACI 237 no establece una clasificación de rangos como EFNARC o UNE 83.361, proporciona 3 rangos para una adecuada elección de las características del CAC en función de los requerimientos que se tendrán durante su aplicación, incluso considera CAC con un flujo menor a los 55 cm, pero advierte la necesidad de una vibración menor.

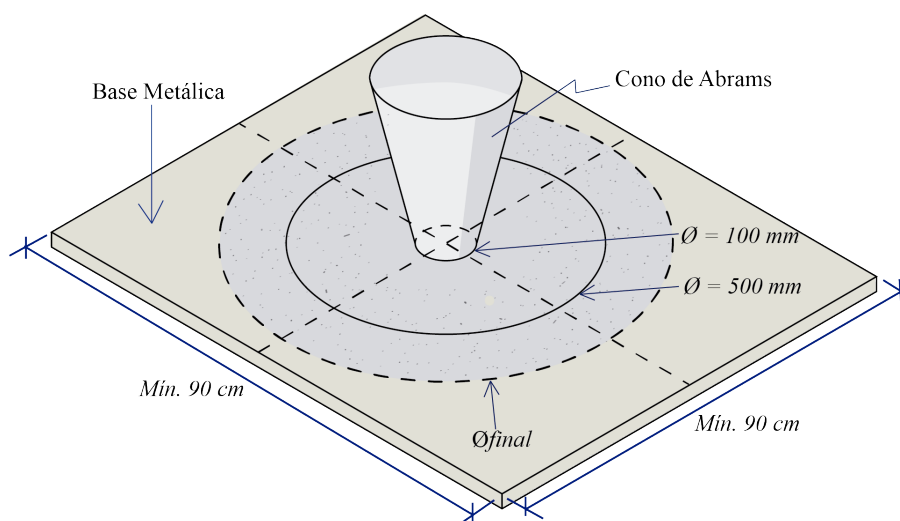


Figura N° 3: Ensayo de Extensión de Flujo. Adaptado de EFNARC (2005)

Por otro lado, este ensayo permite medir el T50 que es tiempo que necesita el borde exterior de la mezcla de CAC, desde el momento en que se levanta el cono para alcanzar un diámetro de 50 cm, la velocidad de flujo de la mezcla está influenciada por su viscosidad, obteniéndose un mayor tiempo T50 con mezclas que presentan una mayor viscosidad. (ACI 237)

Tabla N° 3: Rango de Valores para  $T_{50}$

| <b>ACI 237</b>        |                  |                 |
|-----------------------|------------------|-----------------|
| Baja Viscosidad       | Viscosidad Media | Alta Viscosidad |
| $\leq 2$              | 2 - 5            | $> 5$           |
| <b>EFNARC 2005</b>    |                  |                 |
| VS1                   | VS2              |                 |
| $\leq 2$              | $> 2$            |                 |
| <b>UNE 83.361</b>     |                  |                 |
| AC-V1                 | AC-V2            | AC-V3           |
| $2.5 < T_{50} \leq 8$ | 2 - 5            | $> 5$           |

**b) Ensayo de VSI**

Este ensayo se presenta en ACI 237, cuyo valor se determina basándose en observaciones a la extensión de flujo desarrollada durante el ensayo de Slump Flow y asignando un valor de calificación en función de la estabilidad presentada, valores de 0 o 1 son adecuados, mientras que valores de 2 o 3 tienen potencial peligro de segregación y las mezclas en evaluación deberán ser reajustadas. Esta es una excelente herramienta para controlar la calidad durante la producción, sin embargo debido a la subjetividad presente en la observación, no debería ser la prueba definitiva para rechazar una determinada mezcla.

Tabla N° 4: Criterios para determinar VSI, según ACI 237

| <b>Valores VSI</b> | <b>Criterios</b>  |
|--------------------|---|
| 0 (muy estable)    | No hay evidencia de segregación en la extensión del flujo de asentamiento   |
| 1 (estable)        | No hay halo de mortero ni apilamiento de áridos en la extensión del flujo de asentamiento   |
| 2 (inestable)      | Un ligero halo de mortero ( $< 10$ mm) o pila de áridos, o ambos, en la extensión del flujo de asentamiento.  |
| 3 (muy inestable)  | Claramente segregado por la evidencia de un gran halo de mortero ( $> 10$ mm) o una gran pila de áridos en el centro de la extensión del concreto, o ambos. |

### c) Ensayo de Caja en L

Este ensayo es presentado tanto en ACI 237, EFNARC 2005, UNE 83.363, permite evaluar el flujo confinado de la mezcla y el grado de bloqueo que presenta frente a una armadura. EFNARC señala que se puede realizar este ensayo usando 2 o 3 barras lisas dependiendo de las condiciones de aplicación que se presentarán, siendo las 3 barras las que simularán un refuerzo más congestionado.

Por su parte la norma UNE 83.363, señala que el uso de 2 o 3 barras lisas depende del tamaño máximo del agregado o del tamaño de las aberturas que se presentarán cuando se realice la aplicación del CAC, estableciendo una clasificación en función de esto como se muestra en la tabla N° 5.

El recipiente en forma de L, está dividido en una sección vertical y una horizontal, existiendo una puerta corredera que separa las secciones vertical y horizontal. La sección vertical del contenedor se llena con concreto y luego la compuerta se levanta, permitiendo que el concreto fluya a través del obstáculo de las barras hacia la sección horizontal. Se mide la altura del concreto dejado en la sección vertical ( $h_1$ ) y al final de la sección horizontal ( $h_2$ ). La relación de  $h_2/h_1$  se calcula como el coeficiente de bloqueo (CB).

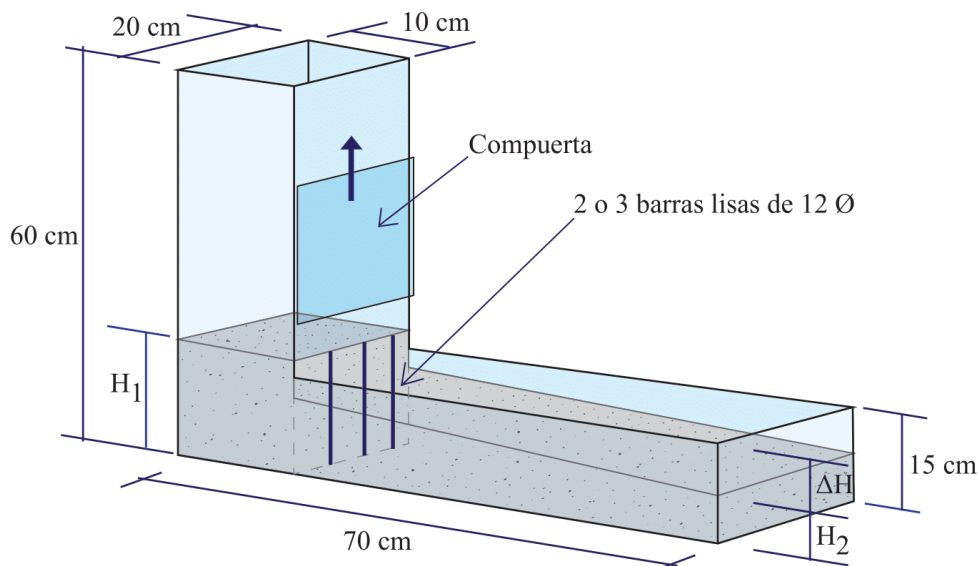


Figura N° 4: Caja en L. Adaptado de EFNARC (2005)

Si el coeficiente presenta un valor más cercano a 1, mayor será el potencial de flujo de la mezcla, presentando una mejor capacidad de paso frente a barras de refuerzo.

Tabla N° 5: Rango de valores para Coeficiente de Bloqueo (CB)

| <b>ACI 237 y EFNARC 2005</b> |  |
|------------------------------|--|
| $\geq 0.8$ (2 o 3 barras)    |  |
| <b>EHE-08</b>                |  |
| 0.75 - 1.00 (2 o 3 barras)   |  |
| <b>UNE 83363</b>             |  |
| <b>AC - RB1</b>              | TM > 20 mm / espesor de $\geq 0.8$ (2 barras)<br>huecos: 80 - 100 mm     |
| <b>AC - RB2</b>              | TM $\leq$ 20 mm / espesor de $\geq 0.8$ (3 barras)<br>huecos: 60 - 80 mm |

d) **Embudo en V**

Este ensayo se encuentra descrito en EFNARC 2005, UNE 83.364, por su parte ACI 237 lo nombra en el apartado de otros ensayos, esta prueba permite evaluar la viscosidad que presenta un CAC, midiendo el tiempo de flujo ( $T_v$ ) que necesita la mezcla para vaciarse completamente del embudo en V. Durante este ensayo, se lleva a la mezcla a fluir bajo su propio peso frente a una disminución de la sección vertical que tiene el embudo, lo que genera un mayor contacto entre agregados gruesos, en consecuencia permitiendo además detectar posibles problemas en el flujo. Las dimensiones del embudo en V se muestran en la figura N° 5.

Por su parte EFNARC señala que esta prueba no es adecuada para mezclas que excedan un TM de 20 mm, a esto añade la necesidad de una muestra de al menos 12 litros para la realización de la misma. En la tabla N° 6, se muestra los límites y clasificaciones dadas por las normas para este ensayo.

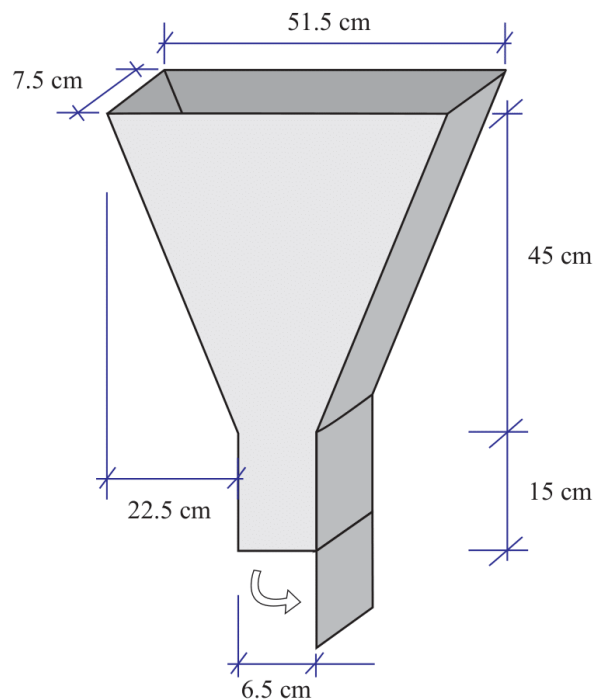


Figura N° 5: Embudo en V. Adaptado de EFNARC (2005)

Tabla N° 6: Rango de valores  $T_v$  (s)

| <b>EFNARC 2005</b> |                       |
|--------------------|-----------------------|
| VF1                | $\leq 8$              |
| VF2                | 9 - 25                |
| <b>UNE 83.364</b>  |                       |
| AC-V1              | $10 \leq T_v \leq 20$ |
| AC-V2              | $6 \leq T_v \leq 10$  |
| AC-V3              | $4 \leq T_v \leq 6$   |

### 2.2.4.3 Requisitos generales de autocompactabilidad

Como se vio en los incisos anteriores, existen diferentes normas que proponen rangos para clasificar a las mezclas en estudio, en función de las mediciones de sus propiedades en estado fresco, asignando así, posibles aplicaciones en obras civiles. Sin embargo, también podemos tomar como referencia a normas como la EHE-08 que recomiendan determinados rangos que representarían una adecuada autocompactabilidad y pueden servir para analizar los resultados en la investigación.

Tabla N° 7: Requisitos Generales para la Autocompactabilidad (Anexo 17 de EHE-08)

| <b>Ensayo</b>   | <b>Parámetro medido</b> | <b>Rango admisible</b>                       |
|-----------------|-------------------------|--|
| Escurrecimiento | T50                     | $T50 \leq 8 \text{ seg}$                     |
|                 | Df                      | $550 \text{ mm} \leq Df \leq 850 \text{ mm}$ |
| Embudo en V     | Tv                      | $4 \text{ s} \leq Tv \leq 20 \text{ s}$      |
| Caja en L       | CB                      | 0.75 - 1.00                                  |

#### 2.2.4.4 Propiedades Mecánicas

Si bien es cierto, la fluidez, viscosidad y estabilidad de un CAC son primordiales, no debemos olvidar que todo elemento de concreto tendrá un propósito durante su vida útil y debe ser capaz de soportar los diferentes tipos de esfuerzos mecánicos durante su servicio.

Dadas las mismas fuentes de materia prima y la idéntica resistencia a la compresión especificada, las propiedades ingenieriles de un CAC deben ser similares a las de un concreto convencional. Para verificar esto, se deben usar los mismos métodos de prueba y procedimientos empleados con un concreto convencional (ACI 237).

##### a) Resistencia a Compresión

Un CAC con una proporción análoga de agua/cemento o cemento/aglutinante generalmente obtendrá una resistencia ligeramente mayor si lo comparamos con un concreto vibrado tradicional, dado que la falta de vibración proporcionará una interfaz mejorada entre agregado y la pasta endurecida (EFNARC, 2005).

La reducción del riesgo de sangrado y segregación junto con la falta de vibración mecánica pueden promover aún más, una microestructura uniforme y zona de interfaz menos porosa entre la pasta de cemento, el agregado y el refuerzo incrustado (ACI 237).

Revilla Cuesta et al. (2020), señala que en tres estudios revisados se logró un CAC con agregados reciclados, de mayor resistencia a la compresión que el concreto convencional. Este comportamiento se atribuye a que la relación a/c se mantuvo constante, por lo que la alta absorción del agregado reciclado provocó una relación a/c efectiva más baja. En consecuencia, el efecto negativo de los agregados reciclados, sobre la resistencia a la compresión se podrían compensar de manera muy sencilla ajustando las dosis. Estos factores también favorecen la dispersión mencionada en su investigación.

## **2.2.5 Agregado Reciclado (Fragmentos Triturados de Concreto Demolido)**

### **2.2.5.1 Generalidades**

En el año 2009 con el auspicio del WBCSD (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible), el CSI (Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento), publicó un estudio sobre prácticas de reciclaje (WBCSD, 2012); cuyo objetivo principal fue promover el reciclaje de concreto, con la meta de “cero vertimiento de desechos de concreto”, recomendando a todos los actores involucrados a adoptar una actitud sostenible (CSI, 2009).

En términos de Revilla Cuesta et al. (2020), el uso de diferentes tipos de residuos en el concreto ha sido una tendencia que se ha venido desarrollando en la búsqueda de controlar el consumo de recursos naturales, siendo los CDW (residuos de construcción y demolición), los más usados actualmente en la búsqueda de un enfoque sostenible; dentro de estos encontramos a los ARC (agregados reciclados de concreto) que han demostrado ser adecuados para la preparación de concretos de alto rendimiento.

A diferencia de un agregado natural, las partículas de un agregado reciclado de concreto (ARC) presenta mortero adherido que significativamente contribuye a cambiar las propiedades físicas de estos, en consecuencia su calidad dependerá de la resistencia física y a exposiciones extremas de los materiales individuales que forman las fases de un ARC como se muestra en la figura N° 6. (Adams & Jayasuriya, 2019)

Una preocupación importante cuando se usa ARC, es la posible existencia de impurezas físicas, las mismas que en cantidades elevadas podrían generar una influencia negativa en la resistencia a compresión de un concreto elaborado con ARC, de ahí que alrededor del mundo se hayan elaborado especificaciones que buscan clasificar a los ARC para determinadas aplicaciones, dentro de estas se puede mencionar entre otras a JIS A5023 y JIS A5021 de Japón, Comité ACI 555 de EEUU o DIN 42226-100 de Alemania.



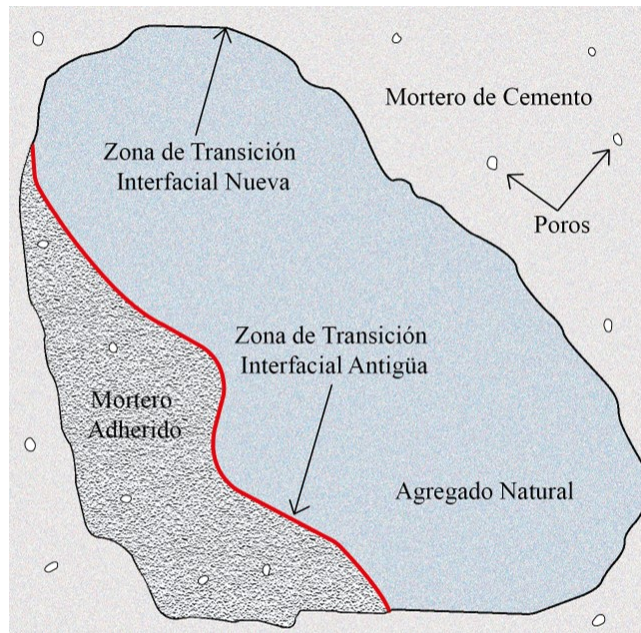


Figura N° 6: Fases de un agregado reciclado. Adaptado de Adams y Jayasuriya (2019)

### 2.2.5.2 Métodos de Reciclaje

Desde el comienzo de su uso al finalizar la Segunda Guerra Mundial, cuando los países europeos hicieron uso de este material alternativo dada la existencia de escombros y los buenos reportes sobre el comportamiento conseguido, llevando posteriormente a EEUU a realizar sus propias investigaciones. (Martínez Molina et al., 2015). Se han implementado muchos métodos que permitan obtener estos materiales con la mejor calidad posible.

Adams y Jayasuriya (2019), señala las técnicas usadas para reciclar agregados en diferentes países. Por ejemplo, países como Rusia o EEUU, utilizan además de la trituración por impacto del concreto reciclado, técnicas para mejorar la producción del mismo, como el uso de mesas de separación y/o la separación magnética, con el fin de eliminar las partes metálicas e impurezas. Asimismo, realizan el triturado doble y tamizado con cribado doble, la aplicación de estas técnicas proporciona un agregado reciclado con mejores características como una mínima cantidad de impurezas y una adecuada uniformidad en los tamaños conseguidos.

Por su parte China había añadido la separación manual de impurezas a gran escala y sometía los agregados a un lavado continuo, además de usar la trituración por mandíbulas al igual que en Alemania. En el caso de Japón, se implementó someter los agregados reciclados de concretos a temperaturas alrededor de los 300°C con el fin de eliminar el mortero débil adherido al agregado natural, dicho mortero puede aumentar por la trituración realizada y

podría propiciar la aparición de micro fisuras.

Finalmente, señalan que en la gran cantidad de países se usa la trituración como método principal debido a la eficiencia que esta presenta, recomendando evaluar el agregado para su aplicación dentro del concreto.

Por otro lado, Bai et al. (2020), añade que pese al planteamiento de muchas técnicas que buscan reducir o eliminar la cantidad de mortero adherido en los fragmentos de concreto reciclado, sus aplicaciones parecen aún ser un medio poco práctico; recomendando realizar con un enfoque de bajo costo las mejoras en un agregado reciclado mediante variaciones en las relaciones a/c y usando métodos de mezclado que mejoren el rendimiento de los concretos preparados con estos.

### **2.2.5.3 Propiedades Físicas de un ARC**

#### **a) Mortero Adherido:**

Teniendo en cuenta a Bai et al. (2020), señala que existe una tendencia a aumentar la cantidad de mortero adherido a medida que se disminuye el tamaño de las partículas. Siendo esto influenciado por la técnica de procesamiento, además esto explicaría que el agregado fino reciclado presenta una menor densidad que el agregado grueso reciclado.

#### **b) Granulometría:**

Su gradación debe evaluarse con las mismas normativas que para los agregados naturales, tal como los expresa Adams y Jayasuriya (2019), se obtienen gradaciones de ARC similares al de los agregados naturales, configurando la trituradora para un mismo tamaño, siendo en este proceso donde se pueden iniciar micro fisuras en el agregado.

Por su parte, la EHE-08, recomienda un tamaño mínimo permitido de árido reciclado de 4mm, no aconsejando el uso de agregado fino reciclado.

#### **c) Porosidad:**

Su influencia en la calidad de un ARC se debe al bajo módulo elástico y tenacidad que pueden presentar las zonas con mortero adherido, debido a su porosidad; lo que podría conllevar a que se produzcan aumentos de tensiones en esas zonas frente a una carga externa, haciendo que la resistencia a la compresión disminuya. La porosidad puede llegar a valores altos como 8.1 % a 12.3 % (Adams & Jayasuriya, 2019)

**d) Densidad:**

La porción de mortero adherido que tiene un ARC, presenta una naturaleza porosa, haciendo que su densidad sea menor que los agregados naturales. Este valor variará dependiendo de la fuente de origen del ARC. (Adams & Jayasuriya, 2019)

Por su parte la norma EHE - 08 expresa, se considerará a un concreto con agregados gruesos reciclados prácticamente con la misma densidad que un concreto convencional, hasta una sustitución del 20 %, para porcentajes mayores existirá una disminución de la densidad debido al aumento del mortero adherido que presenta menor densidad que un árido natural, es así que para sustituciones al 100 % existen disminuciones entre 5 % - 15 % de esta propiedad.

**e) Absorción:**

En aplicaciones donde la sustitución de agregado grueso reciclado sea menor o igual al 20 %, la absorción no debe superar el 7 %, y máximo 4.5 % para el agregado natural. En casos donde existan sustituciones mayores al 20 %, la combinación de agregados deberá presentar un coeficiente de absorción no mayor al 5 %, a esto añadir la necesidad de usar aditivos que ayuden a tener una reología adecuada y compensar la mayor absorción. (EHE-08, 2010)

De forma general, las partículas ARC demoran más tiempo en absorber el agua que un agregado natural durante una mezcla, en muchos casos no llegando a saturarse completamente al finalizar este periodo, por ello se recomienda remojarlos previamente; además las elevadas tasas de absorción que presentan podrían influir en las propiedades de contracción por secado del concreto. (Adams & Jayasuriya, 2019)

**f) Resistencia a la abrasión:**

A mayor contenido de mortero adherido, mayor será la abrasión que presente un agregado reciclado, es así que algunos estudios señalan que existe un aumento del coeficiente de desgaste en la Máquina de los Ángeles con la disminución del tamaño de partícula del agregado reciclado, debido al mayor desgaste presentado en el proceso. (Bai et al., 2020)

El árido grueso debería presentar un coeficiente de abrasión inferior al 40 %, y 30 % cuando estará sometido a ambientes erosivos, sin embargo en el caso de agregados gruesos reciclados suelen superar dicho valor debido al mortero adherido. (EHE-08, 2010)

En términos de Adams y Jayasuriya (2019), las pérdidas de masa en el ensayo de abrasión

para ARC está entre 15 % a 63 % dependiendo de la cantidad de mortero adherido y la calidad del mismo. Esto se debe a la mayor fragilidad y baja tenacidad que presenta este.

### **2.2.6 Concreto Autocompactante con Agregados Reciclados**

Como se vio en los apartados anteriores, existe una incertidumbre con respecto a la influencia precisa del agregado reciclado dentro de un CAC, dado que la fuente del material reciclado es muy variada, influyendo directamente en las propiedades que alcanzará el agregado reciclado derivado de la misma. Además, el proceso para su obtención también modificará las condiciones y propiedades alcanzadas por el agregado.

Por su parte Santos et al. (2019), señala la importancia de ajustar el agua de mezclado en este tipo de concretos con agregados reciclados, considerando la significativa absorción que tienen los mismos, generada por la presencia de mortero adherido con su naturaleza porosa.

Así mismo Revilla Cuesta et al. (2020), menciona que pese al agua adicional no suele compensarse adecuadamente la absorción para niveles altos de agregados reciclados en la mezcla, añadiendo además que el usar una mayor cantidad de superplastificante no asegura una adecuada fluidez, dada la participación de muchos otros factores en estas mezclas.

Sin embargo, la mayoría de investigaciones publicadas concuerdan con un comportamiento satisfactorio para sustituciones bajas de agregados reciclados gruesos, e incluso existiendo investigaciones donde se obtuvieron mejores resistencia a la compresión a mayor sustitución de estos agregados, como las realizadas por Fiol y colaboradores en el año 2018, sin embargo al ser un concreto que sufre grandes variaciones por pequeños cambios en su dosificación, es necesario realizar estudios en función del lugar donde se desea aplicar, considerando sus condiciones y materiales disponibles.

Es así que Revilla Cuesta et al. (2020), en base a los datos recopilados de investigaciones sobre el uso de agregados reciclados en CAC, determinó un rango con un nivel de confianza del 99 % para la resistencias a compresión de este tipo de concretos, como se muestra en la figura N° 7. También se debe notar que ha mayor es la cantidad de reemplazo, mayor es el rango de posibles resultados.

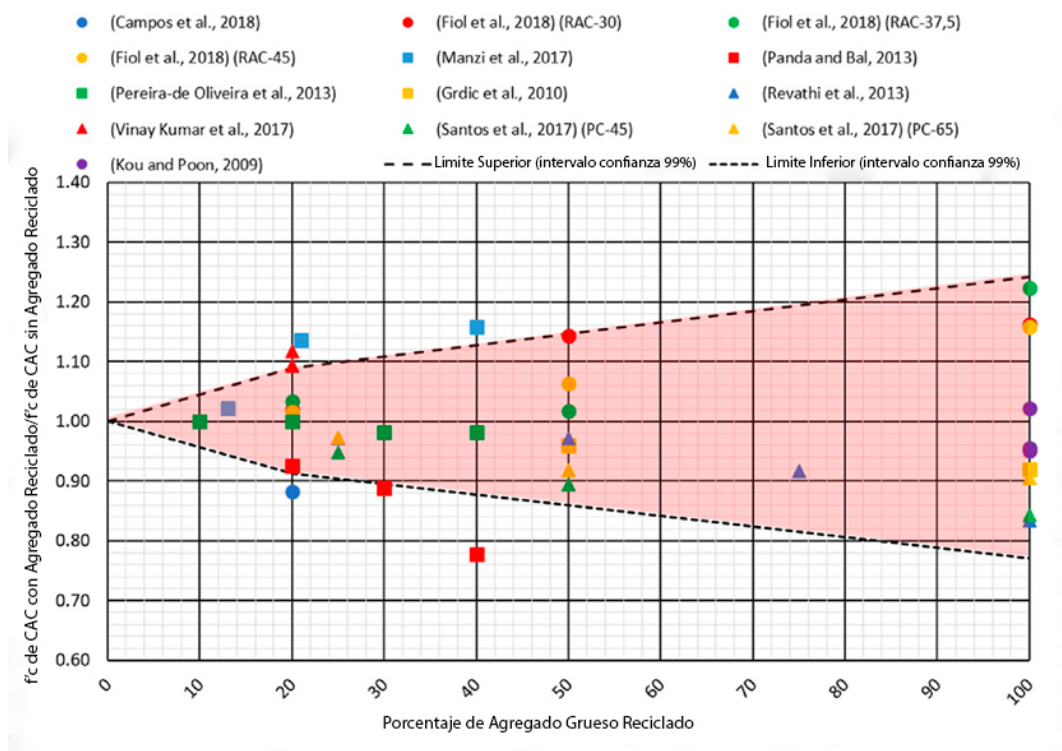


Figura N° 7: Evolución de la Resistencia a la Compresión en función de la tasa de sustitución de Agregado Grueso Reciclado. Adaptado de Revilla Cuesta et al. (2020)

### 2.3 Definición de Términos Básicos

- **Agregado reciclado:** Material obtenido del tratamiento de concreto y mortero de demolición llevado a partículas de un tamaño idéntico al de los agregados. (NTP 400.053)
- **Aditivo superplastificante:** Este aditivo es el encargado de impartir fluidez, no modificando significativamente la estabilidad de la mezcla y sin la necesidad de agua adicional. (ACI 237)
- **Agregados:** Conjunto de partículas pétreas de origen natural o artificial, que pueden ser tratadas o elaboradas y sus dimensiones están comprendidas dentro de los límites fijados por la NTP 400.037 (NTP 400.011, 2020)
- **Agregado Reciclado de Concreto (ARC):** Aquel obtenido de concretos que son fragmentado en bloques más pequeños o tamaños semejantes a agregados naturales, para darle nueva vida. (CSI, 2009)
- **Cemento Portland:** Es un producto comercial, esencialmente formado por clinker finamente molido, producido por cocción a elevadas temperaturas, de mezclas de cal, alúmina, hierro y sílice en proporciones determinadas. (Abanto Castillo, 2009)

- **Concreto autocompactante (CAC):** Es un concreto muy fluido que no se segrega, que se pueda esparcir en su lugar, llenar el encofrado, y encapsular el refuerzo sin ninguna consolidación mecánica. (ACI 237)
- **Concreto reciclado:** Concreto formado por agregados provenientes parcial o completamente de los granulados de concreto, gravas y arenas de reciclaje. (NTP 400.053)
- **Estabilidad:** Habilidad de una mezcla de concreto para resistir la segregación de la pasta de los agregados. (NTP 339.219, 2019)
- **Fluidez:** Es la propiedad que permite fluir al concreto, siendo esta muy elevada podría disminuir la estabilidad de la mezcla. (ACI 237)
- **Resistencia a compresión:** Es la carga máxima por unidad de área que soporta una muestra, antes de llegar a la falla por compresión. (Abanto Castillo, 2009)
- **Segregación:** Propiedad que implica la descomposición del concreto fresco en las partes que forman al mismo, separando el agregado grueso del mortero. (Abanto Castillo, 2009)
- **Trabajabilidad:** Facilidad que presenta un concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación ni exudación durante estas operaciones. (Abanto Castillo, 2009)
- **Viscosidad:** Resistencia de un material para fluir bajo la aplicación de un esfuerzo de empuje. (NTP 339.219, 2019)



## Capítulo III. Materiales y Métodos

### 3.1 Ubicación Geográfica

#### 3.1.1 Origen de Agregados Convencionales

Los agregados fino y grueso convencionales, fueron obtenidos de la cantera Aguilar (Tartar Chico), distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca, región de Cajamarca, cuyas coordenadas UTM son: 779896 E, 9208895 N (Zona 17 de DATUM WGS 84).



Figura N° 8: Ubicación de Cantera Aguilar (Tartar Chico). Obtenido de Google Earth

#### 3.1.2 Origen de Fragmentos de Concreto Demolido Triturados para obtener Agregado Grueso

El agregado grueso no convencional, utilizado como sustitución en diferentes proporciones en esta investigación, fue obtenido mediante trituración de los fragmentos de pavimento rígido generados durante la demolición de secciones de concreto en calles, las cuales fueron destinadas para la excavación de calicatas para el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) del proyecto: “Mejoramiento del Servicio de Movilidad Urbana en los Sectores 01 San Sebastián, 03 San Pedro, 04 Cumbe Mayo, 05 Pueblo Nuevo, 07 La Colmena, 08 La Merced, 12 Santa Elena, 13 San Martín, 18 La Florida y 19 Nuevo Cajamarca del Distrito de Cajamarca, Provincia de Cajamarca - Cajamarca”. Siendo recogidos de forma específica de los trabajos realizados en las calles: Jr. Del Batán Cd. 1, con coordenadas UTM 774223.0 E, 9208271.8

N, Jr. San Sebastian Cd. 8, con coordenadas UTM 774643.8 E, 9207602.9 N y Jr. Junín Cd. 7, con coordenadas UTM 773818.9 E, 9208174.6 N.



Figura N° 9: Punto de obtención de fragmentos de concreto demolido en Jr. Del Batán Cd. 1

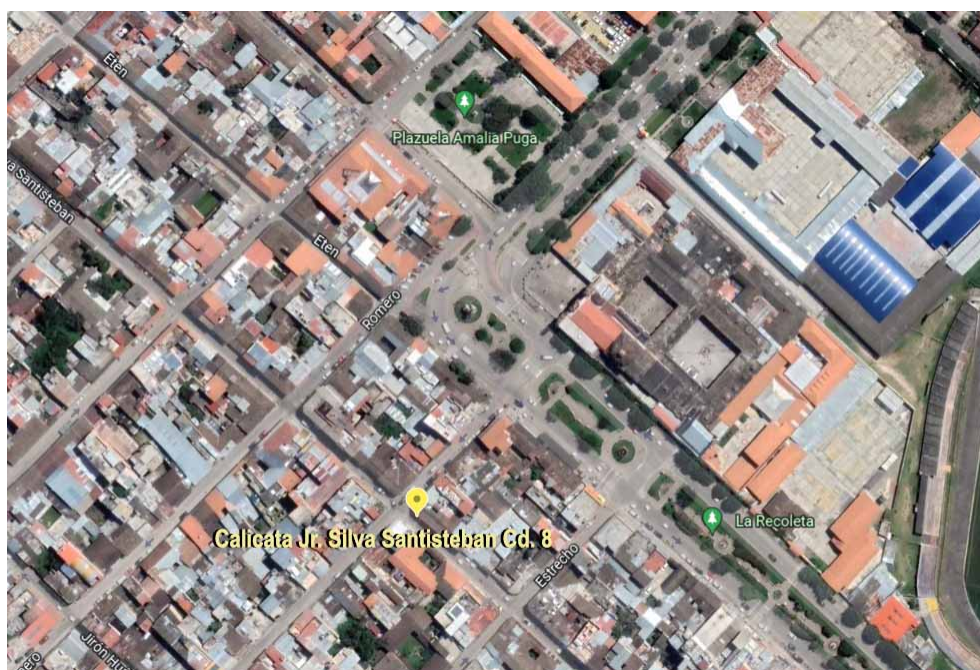


Figura N° 10: Punto de obtención de fragmentos de concreto demolido en Jr. Silva Santisteban Cd. 8





Figura N° 11: Punto de obtención de fragmentos de concreto demolido en Jr. Junín Cd. 7

### 3.1.3 Ubicación del Laboratorio

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Guersan Ingenieros SRL, ubicado en la región de Cajamarca, provincia de Cajamarca, distrito de Cajamarca, en Pj. Diego Ferre N° 295, ubicando en la zona 17 de DATUM WGS 84, presentando las siguientes coordenadas UTM: 775845 E, 9206966 S.

## 3.2 Tiempo de realización de la Investigación

Esta investigación se realizó entre los meses de mayo a agosto del año 2022, en la ubicación descrita en el apartado 3.1.1

## 3.3 Metodología

### 3.3.1 Tipo, Nivel, Diseño y Método de Investigación

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

### 3.3.2 Población de estudio

La población de estudio lo constituyen los concretos autocompactantes elaborados con una sustitución parcial o total de agregado grueso reciclado obtenido de la trituración de fragmentos de concreto demolido.

### 3.3.3 Muestra

La muestra que se planteó en esta investigación, fueron 90 probetas de concreto, distribuidas en función a la cantidad de sustitución de agregado grueso convencional por agregado grueso reciclado obtenido de la trituración de fragmentos de concreto demolido de tres calles de la ciudad de Cajamarca, asimismo se subdividió estos grupos en función de la edad de ensayo a resistencia a compresión, formando parte de estas probetas un conjunto denominadas muestra patrón que permitieron comparar los cambios que se produjeron por la sustitución de agregado grueso reciclado.

Tabla N° 8: Distribución de probetas en investigación

| Días de Curado | Patrón    | Porcentaje de Reemplazo |           |           |           |
|----------------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                |           | 25 %                    | 50 %      | 75 %      | 100 %     |
|                |           | MP-25                   | MP-50     | MP-75     | MP-100    |
| 7              | 6         | 6                       | 6         | 6         | 6         |
| 14             | 6         | 6                       | 6         | 6         | 6         |
| 28             | 6         | 6                       | 6         | 6         | 6         |
| Subtotal       | <b>18</b> | <b>18</b>               | <b>18</b> | <b>18</b> | <b>18</b> |
| Total          |           | <b>90</b>               |           |           |           |

Además, se realizó la evaluación de las propiedades en estado fresco para cada grupo de mezclas de concreto autocompactante, en función de la proporción de reemplazo de agregado grueso reciclado, así se comprobó las propiedades en estado fresco característica diferencial de este tipo de concreto con uno convencional. A continuación, se muestran la distribución de ensayos, basados en la norma ACI 237 y EFNARC 2005.

- Slump Flow (Ensayo de Ecurrimiento)
- Índice de Estabilidad Visual (VSI)
- L-Box (Ensayo de Caja en L)
- V-Funnel (Ensayo Embudo en V)

Tabla N° 9: Distribución de ensayos de mezclas en estado fresco

| Ensayo     | Muestra Patrón | Porcentaje de Reemplazo |           |           |           |
|------------|----------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
|            |                | 25 %                    | 50 %      | 75 %      | 100 %     |
| Slump Flow | 3              | 3                       | 3         | 3         | 3         |
| VSI        | 3              | 3                       | 3         | 3         | 3         |
| L-Box      | 3              | 3                       | 3         | 3         | 3         |
| V-Funnel   | 3              | 3                       | 3         | 3         | 3         |
| Subtotal   | <b>12</b>      | <b>12</b>               | <b>12</b> | <b>12</b> | <b>12</b> |
| Total      |                | <b>60</b>               |           |           |           |

### 3.3.4 Unidad de Análisis

La unidad de análisis está constituida por los especímenes de concreto planteados en este trabajo de investigación.

### 3.4 Procedimiento

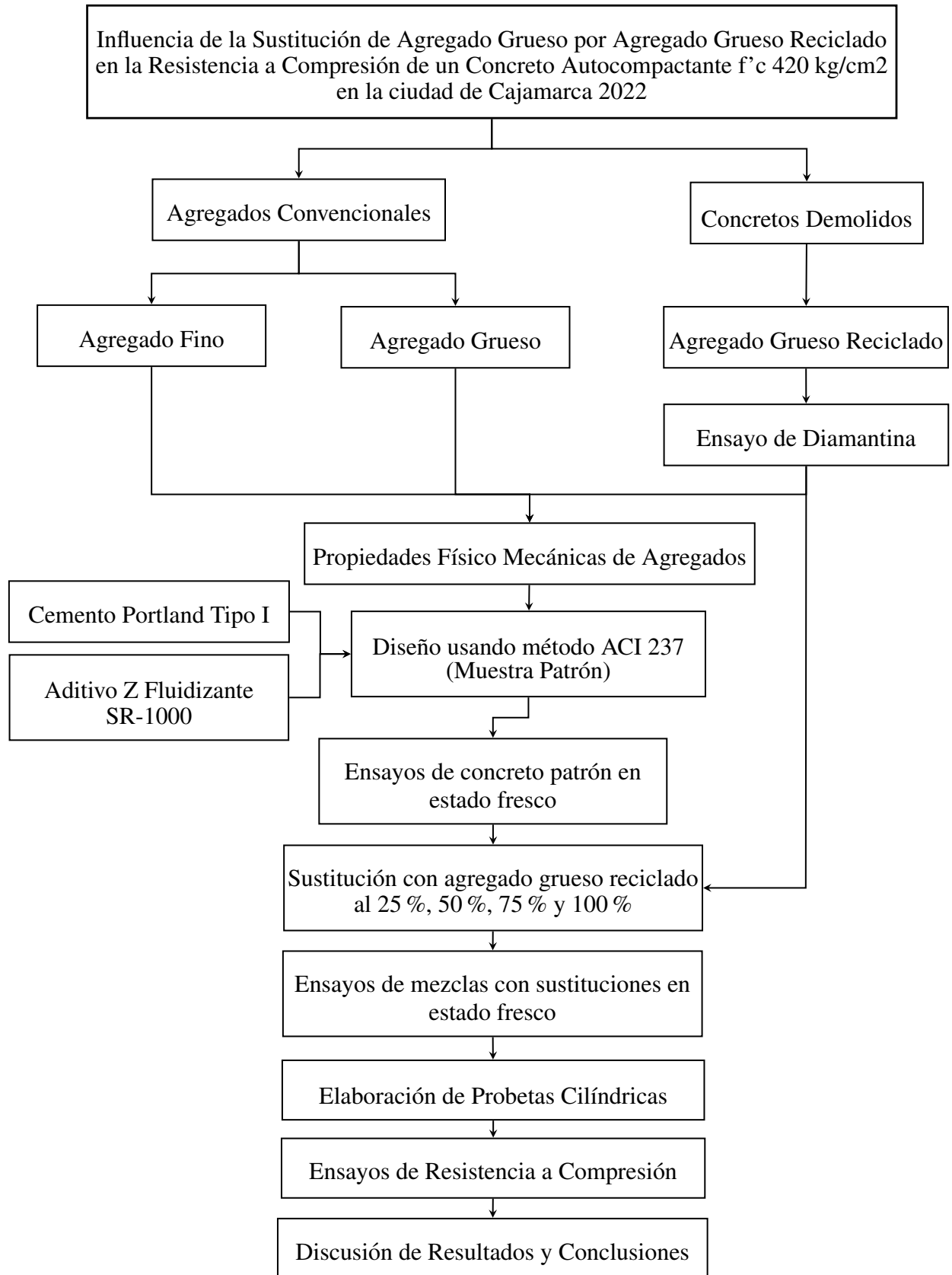


Figura N° 12: Flujo de Trabajo de la Investigación

### **3.4.1 Agregados Convencionales**

Los agregados convencionales, se obtuvieron de la cantera descrita en el apartado 3.1.2, los cuales debieron cumplir con la NTP 400.037 y siendo definidos por la NTP 400.011 (2020) de la siguiente manera.

#### **3.4.1.1 Agregado Fino**

Aquellos agregados, provenientes de la desintegración natural o artificial, que pasan la malla 3/8 pulg. (9.5 mm) y son retenidos en tamiz No. 200 (75 $\mu$ m).

#### **3.4.1.2 Agregado Grueso**

Aquellos agregados, provenientes de la desintegración natural o artificial, que son retenidos en el tamiz No. 4 (4.75 mm).

### **3.4.2 Agregado Grueso no Convencional**

Obtenido mediante trituración de los puntos descritos en el apartado 3.1.2

### **3.4.3 Propiedades Físico Mecánicas de los Agregados**

#### **3.4.3.1 Muestreo de Agregados**

Para la obtención de los agregados fino y grueso naturales, se siguió el procedimiento de muestreo descrito en la norma NTP 400.010 (2020), o su similar ASTM D75. Dichos agregados fueron obtenidos de la cantera descrita en el apartado 3.1.2.

#### **3.4.3.2 Análisis Granulométrico**

El procedimiento del ensayo se realiza siguiendo la norma NTP 400.012 (2021) o su similar ASTM C136.

Por su parte la NTP 400.037 (2021), establece límites para la curva granulométrica del agregado fino y agregado grueso, indicando husos granulométricos que deberían de cumplirse, además recomienda un rango para el módulo de finura del agregado fino entre 2.3 a 3.1.

### 3.4.3.3 Tamaño Máximo y Tamaño Máximo Nominal

Se obtiene en base al análisis granulométrico, identificándose el menor tamiz donde pasa toda la muestra de agregado grueso (TM) y aquel donde se produce el primer retenido entre el 5 % a 10 % de la muestra (TMN), esto siguiendo las definiciones de la NTP 400.011 (2020).

### 3.4.3.4 Material que pasa Malla N°200

Se realiza este ensayo siguiendo el procedimiento descrito en la norma NTP 400.018 (2020) o ASTM C117.

Por otro lado, la norma NTP 400.037 (2021), señala que este valor debe ser máximo 5 % para el agregado fino y 1 % en agregado grueso.

El valor a calcular se expresa por:

$$F = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \quad (1)$$

Donde:

- $F$  : Porcentaje de material que pasa el tamiz N°200 por vía húmeda
- $W_0$  : Peso Seco de la muestra original, g.
- $W_1$  : Peso Seco de la muestra despues de lavarla, g.

### 3.4.3.5 Peso Específico y Absorción

El procedimiento de este ensayo, se encuentra descrito en la norma NTP 400.022 (2021) o ASTM C128 para el agregado fino y NTP 400.021 (2020) o ASTM C127 para el agregado grueso.

- **Agregado Fino:** Se calculó siguiendo el procedimiento gravimétrico descrito en la citada norma, cuyas formulas se presentan a continuación.

- Densidad Relativa (Gravedad Específica):

$$\frac{A}{B + S - C} \quad (2)$$

- Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSS):

$$\frac{S}{B + S - C} \quad (3)$$

- Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente):

$$\frac{A}{B + A - C} \quad (4)$$

- Absorción %:

$$100 \times \left( \frac{S - A}{A} \right) \quad (5)$$

Donde:

$A$  : masa de la muestra secada al horno, g

$B$  : masa del picnómetro con agua hasta marca de calibración, g

$C$  : masa del picnómetro con muestra y agua hasta la marca de calibración, g

$S$  : masa de la muestra saturada superficialmente seca, g

- **Agregado Grueso:** Se siguió el procedimiento en la citada norma, usando las siguientes fórmulas.

- Densidad Relativa (Gravedad Específica):

$$\frac{A}{B - C} \quad (6)$$

- Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSS):

$$\frac{B}{B - C} \quad (7)$$

- Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente):

$$\frac{A}{A - C} \quad (8)$$

- Absorción %:

$$\left( \frac{B - A}{A} \right) \times 100 \quad (9)$$

Donde:

- $A$  : masa de la muestra secada al horno, g
- $B$  : masa de muestra saturada superficialmente seca, g
- $C$  : masa aparente de muestra de ensayo saturada en agua, g

### 3.4.3.6 Peso Unitario

Se determinó siguiendo el procedimiento descrito en la NTP 400.017 (2020), donde dependiendo del tipo de peso unitario a determinar, existen tres métodos, siguiendo el método A (apisonado) para el caso de densidad aparente compactada, pues se tiene un TMN menor de 1 1/2 pulg y el método C (palea) para la densidad aparente suelta. Usándose las siguientes fórmulas:

- Peso Específico del Agua:

$$Pe = \frac{A - B}{C} \quad (10)$$

- Factor (F):

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

- Densidad de Masa:

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

Donde:

- $A$  : peso de fiola con agua, g
- $B$  : peso de fiola vacía, g
- $C$  : volumen de fiola, cm<sup>3</sup>
- $Pe$  : peso específico del agua, kg/m<sup>3</sup>
- $W$  : peso de recipiente lleno de agua, g
- $T$  : peso de recipiente vacío, g
- $G$  : peso de recipiente con agregado, g
- $f$  : factor del recipiente, 1/m<sup>3</sup>



### 3.4.3.7 Contenido de Humedad

Para determinar el porcentaje de agua evaporable de los agregados (tanto humedad superficial y la contenida en los poros), se siguió el procedimiento descrito en la norma NTP 339.185 (2021) o ASTM C 566.

$$p = 100 \times \frac{(W - D)}{D} \quad (13)$$

Donde:

$p$  : contenido total de humedad evaporable de muestra, %

$W$  : masa de la muestra húmeda, g

$D$  : masa de la muestra seca, g

### 3.4.3.8 Resistencia a la Abrasión de Agregados

El procedimiento para determinar el desgaste utilizando la Máquina de los Ángeles para agregados con tamaño menores a 1 1/2 pulg, se encuentra descrito en la norma NTP 400.019 (2020) y ASTM C131.

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

Donde:

$P_0$  : peso de muestra seca al horno, g

$P_f$  : peso retenido en malla N°12 lavada y secada en horno, g

Así mismo, la NTP 400.037 (2021), indica un valor máximo de 50 % para el desgaste en los agregados gruesos usando este método.

## 3.4.4 Diseño empleando el Método ACI 237

En la presente investigación se siguió el procedimiento detallado en ACI 237 para proporcionar la mezcla de prueba de CAC, la cual fueron corregidas para cumplir con los requerimientos de autocompactabilidad en estado fresco y de resistencia a compresión requerida. A continuación, se enumeran de forma detallada los pasos a seguir según ACI 237.

### Paso 1: Extensión de Flujo Requerido

Se comienza eligiendo la extensión de flujo deseada, según tabla N° 54, la cual dependerá de la aplicación que tendrá el concreto. A mayor extensión de flujo re-

querido, será mayor el gasto económico a realizar.

### **Paso 2: Selección de Proporción de Agregado Grueso**

Se sigue el mismo procedimiento dado en ACI 211 (tabla N° 55), sin embargo se deberá cumplir con los rangos dados por ACI 237, el cual restringe el volumen absoluto del agregado grueso al rango de 28 % a 32 % del volumen total de la mezcla.

### **Paso 3: Estime el contenido de cemento y agua**

ACI 237 especifica (tabla N° 56) una cantidad de finos necesario en función de la extensión de flujo deseada para el CAC, en el caso de no contar con otras adiciones minerales, esta deberá ser cubierta por el cemento en su totalidad. Además ACI 237 proporciona un rango recomendable de relaciones a/c (tabla N°57) de 0.32 - 0.45, las cuales generarán una mezcla con la suficiente estabilidad, conociendo este valor se puede calcular la cantidad de agua.

### **Paso 4: Calcular Volumen de Pasta y Mortero**

Conociendo la cantidad de cemento, agua, aire (tabla N° 58) y dosificación de aditivo superplastificante presente en la mezcla, se puede obtener el volumen absoluto de pasta, usando sus pesos y el valor de sus respectivos pesos específicos, ACI 237 restringe este volumen al rango de 34 % - 40 % del volumen total (tabla N° 57).

Por otro lado, por el método de volúmenes absolutos y conociendo previamente la cantidad de agregado grueso, se puede determinar la cantidad de agregado fino, el cual en conjunto con el volumen de la pasta previamente calculada, conformarán el volumen del mortero, siendo recomendación de ACI 237 que dicho valor se encuentre entre el 60 % - 70 % del volumen total (tabla N° 57).

### **Paso 5: Seleccione la Mezcla**

En este paso se tendrán las cantidades de materiales en peso seco por m<sup>3</sup> previamente calculados, estos valores tendrán que ser corregidos debido a la humedad presente en los agregados.

### **Paso 6: Mezcla de Prueba por Lotes**

Dado que no siempre es necesario preparar 1 m<sup>3</sup> de CAC, es necesario trabajar para cantidades proporcionales menores, es así que se prepararán tandas en función de

la necesidad como el número de probetas a preparar o la cantidad necesaria para un determinado ensayo.

#### **Paso 7: Evaluación de Propiedades en Estado Fresco**

En este paso se debe realizar las pruebas de las propiedades en estado fresco, las cuales deberán cumplir con los requisitos necesarios de autocompactabilidad de la mezcla.

Por otro lado, la resistencia a compresión alcanzada debe estar en función del requerimiento de resistencia de la aplicación prevista, también se deberá realizar los respectivos ajustes por razones económicas.

#### **Paso 8: Ajuste de Mezcla según Pruebas**

En este paso se tendrá las proporciones adecuadas de materiales, las cuales conformarán una mezcla de CAC que cumple con los requerimientos de autocompactabilidad en estado fresco y una adecuada resistencia a compresión en función de su aplicación prevista.

### **3.4.5 Reemplazos de agregado grueso no convencional en mezcla patrón**

Una vez determinado las proporciones finales de la mezcla patrón, se tomó como base el volumen absoluto ocupado por el agregado grueso para determinar las cantidades de reemplazo de agregado grueso reciclado obtenido de la trituración de fragmentos de concreto demolido, considerando los porcentajes de sustitución propuestos en la investigación (25 %, 50 %, 75 % y 100 %), los volúmenes obtenidos se transformaron a pesos utilizando el peso específico del agregado grueso reciclado, para una mayor facilidad durante la preparación de las mezclas.

### **3.4.6 Elaboración de Probetas Cilíndricas**

Por tratarse de un concreto autocompactante, el procedimiento para la elaboración de probetas varía con respecto al tradicional, dado que este tipo de concreto no necesita de compactación mecánica, por lo que no son necesarios los golpes con la varilla de acero para compactar el concreto en el molde.

### **3.4.7 Determinación de Propiedades en Estado Fresco**

Es de suma importancia para un CAC, contar con las propiedades que lo caracterizan en estado fresco (descritas en el apartado 2.2.4.1), existiendo ensayos que permiten evaluar el comportamiento reológico de la mezcla en estudio, a través de valores cuantitativos medidos

en los mismos y que permiten clasificar a la mezcla según rangos previamente establecidos. A continuación se describe los materiales y el procedimiento de cada ensayo realizado.

#### **3.4.7.1 Ensayo de Escurrimiento o Slump Flow**

Como se vió en el apartado 2.2.4.2, inciso a, este ensayo permite determinar la capacidad de llenado que presenta la mezcla en estudio. Para la realización de este ensayo es necesario contar con los siguientes instrumentos:

- **Placa Base:** Con forma cuadrada de lado mínimo 90 cm, con espesor mínimo de 2mm, resistente al desgaste de la pasta del concreto y no propensa a oxidarse.
- **Regla o Flexómetro:** Correctamente graduados en intervalos de 1mm.
- **Cronómetro:** Este deberá contar con una precisión a 0.1 s.

El procedimiento que se sigue es el siguiente:

- Se coloca el Cono de Abrams en la posición señala en el centro de la placa base.
- Se llenar el cono con CAC en una sola vez y sin ningún tipo de compactación. No se debe dejar reposar más de 30 segundos el concreto.
- Se limpia el cono y la superficie de la placa, humedeciendo correctamente esta superficie.
- Se empieza a cronometrar el tiempo desde que el cono se separa de la placa hasta alcanzar el diámetro señalado en la placa de 50 cm, siendo este el valor de  $T_{50}$ .
- Medimos el diámetro final alcanzado por la extensión de flujo del concreto, midiendo el mayor diámetro alcanzado y el diámetro perpendicular a este.
- Finalmente verificamos si existe algún tipo de segregación en la mezcla extendida.

#### **3.4.7.2 Ensayo de VSI (Índice de Estabilidad Visual)**

En el apartado 2.2.4.2, inciso b, se señala que este ensayo permite determinar visualmente la estabilidad que presenta la mezcla en estudio, el procedimiento se encuentra descrito en ACI 237 y se evalúa examinando la extensión de flujo desarrollado durante el ensayo de escurrimiento.

El procedimiento que se sigue es:

- Realizar una observación de las características presentadas por la extensión de flujo del CAC durante el Ensayo de Escurrimiento.
- Asignar un valor de acuerdo a la descripción dada por la tabla N° 4.

### 3.4.7.3 Ensayo de Caja en L

Como se vió en el apartado 2.2.4.2, inciso c, este ensayo permite evaluar la capacidad de paso que tendrá la mezcla frente a espacios reducidos como los que se presentan entre armaduras o entre las armaduras y el encofrado. Para la realización de este ensayo es necesario contar con los siguientes instrumentos:

- **Caja en L:** Formada con un material resistente al desgaste de la pasta del cemento y a la oxidación. Además de contar con 2 o 3 barras lisas, según las condiciones de aplicación. En la presente investigación, basándose en la norma UNE 83.363 para el TMN de los agregados utilizados (tabla N° 10), se usó 3 barras. Las dimensiones de este instrumento se encuentran en el apartado 2.2.4.2
- **Regla o Flexómetro:** Correctamente graduados en intervalos de 1mm.
- **Cronómetro:** Este deberá contar con una precisión a 0.1 s.

Por otro lado, el procedimiento que se sigue es el siguiente:

- Se acomoda la Caja en L sobre una superficie correctamente nivelada.
- Cerramos la tapa de la compuerta que divide la parte vertical y horizontal de la caja.
- Llenamos de concreto la zona vertical de la Caja en L y dejamos reposar por  $60 \pm 10$  segundos, observando alguna posible segregación.
- Levantamos la compuerta completamente y se deja que el concreto fluya.
- Terminado el movimiento del concreto, se toma la medida de la profundidad en la parte vertical (h1) y horizontal de la caja en L (h2).
- Determinamos la relación (h2/h1) denominada como Coeficiente de Bloqueo (CB).

#### 3.4.7.4 Ensayo de Embudo en V

En el apartado 2.2.4.2, inciso d, se describe que este ensayo permite evaluar la viscosidad de la mezcla y detectar posibles problemas en su flujo por la influencia de los agregados gruesos. Para la realización de este ensayo es necesario contar con los siguientes instrumentos:

- **Embudo en V:** Formado con un material resistente al desgaste de la pasta del cemento y a la oxidación, además de contar con una compuerta de fácil liberación en su base. Las dimensiones de este instrumento se encuentran en el apartado 2.2.4.2
- **Envase:** Permite recibir la mezcla vaciada del embudo, capacidad mayor a 12 l.
- **Cronómetro:** Este deberá contar con una precisión a 0.1 s.
- **Espátula:** Permite nivelar la parte superior del concreto con respecto al embudo.

Por otro lado, el procedimiento que se sigue es el siguiente:

- Se humedece toda la superficie del Embudo en V y se lo coloca en su apoyo que permite una mayor facilidad durante el ensayo.
- Se cierra la compuerta y se llena el CAC hasta la parte superior del Embudo sin ningún tipo de compactación.
- Con la ayuda de la espátula, eliminar los excedentes de CAC.
- Colocar el envase en la parte inferior del embudo, para captar el concreto que es vertido al abrir la compuerta.
- Dejar reposar la mezcla por aproximadamente  $10 \pm 2$  s de haberse llenado el embudo.
- Controlar el tiempo desde que se abre la compuerta, hasta el momento que es posible mirar verticalmente a través del embudo (tiempo de flujo).

#### 3.4.8 Determinación de Resistencia a Compresión

Las probetas son sometidas a fuerzas de compresión, que permiten obtener su resistencia a este tipo de esfuerzo. El procedimiento seguido está dado en la norma NTP 339.034 y ASTM C39.

### 3.5 Presentación de Resultados

A continuación, se muestran los resultados resumidos en forma de tabla, los mismos que serán comentados en el capítulo IV (Análisis y Discusión de Resultados).

#### 3.5.1 Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados

##### 3.5.1.1 Agregados Convencionales

En la tabla N° 10 se muestra el resumen de las propiedades de los agregados convencionales, obtenidos de la Cantera Aguilar (Tartar Chico), cuya ubicación se encuentra en el ítem 3.1.2

Tabla N° 10: Propiedades Físicas de Agregados Convencionales

| Descripción                        | Unidades          | Agregado Fino | Agregado Grueso |
|------------------------------------|-------------------|---------------|-----------------|
| Tamaño Máximo Nominal (TMN)        |                   |               | 1/2"            |
| Peso Específico de Masa            | g/cm <sup>3</sup> | 2.623         | 2.619           |
| Peso Específico SSS                | g/cm <sup>3</sup> | 2.706         | 2.647           |
| Peso Específico de Aparente        | g/cm <sup>3</sup> | 2.654         | 2.696           |
| Peso Unitario Suelto Seco          | kg/m <sup>3</sup> | 1602          | 1367            |
| Peso Unitario Compactado Seco      | kg/m <sup>3</sup> | 1735          | 1478            |
| Contenido de Humedad               | %                 | 5.39          | 1.57            |
| Absorción                          | %                 | 1.17          | 1.09            |
| Módulo de finura                   |                   | 3.07          | 6.78            |
| Abrasión                           | %                 | ----          | 27.43           |
| Partículas que pasan malla No. 200 | %                 | 2.89          | 0.28            |

##### 3.5.1.2 Agregado Grueso obtenido de la Trituración de Fragmentos de Concreto Demolido

La tabla N° 11 muestra el resumen de las propiedades del agregado grueso reciclado, obtenido mediante trituración de fragmentos de concreto demolido descrito en el apartado 3.1.2

Tabla N° 11: Propiedades Físicas de Agregado Grueso Reciclado, obtenido mediante trituración de fragmentos de concreto demolidos

| Descripción                        | Unidades          | A. Grueso Reciclado |
|------------------------------------|-------------------|---------------------|
| Tamaño Máximo Nominal (TMN)        |                   | 1/2"                |
| Peso Específico de Masa            | g/cm <sup>3</sup> | 2.314               |
| Peso Específico SSS                | g/cm <sup>3</sup> | 2.443               |
| Peso Específico de Aparente        | g/cm <sup>3</sup> | 2.657               |
| Peso Unitario Suelto Seco          | kg/m <sup>3</sup> | 1267                |
| Peso Unitario Compactado Seco      | kg/m <sup>3</sup> | 1377                |
| Contenido de Humedad               | %                 | 2.15                |
| Absorción                          | %                 | 5.58                |
| Módulo de finura                   |                   | 6.73                |
| Abrasión                           | %                 | 34.53               |
| Partículas que pasan malla No. 200 | %                 | 0.72                |

Nota: Para el caso de los agregados obtenidos mediante trituración de los fragmentos de concreto, se muestra un valor de 0.72 %, siendo mayor al valor presentado por el agregado grueso convencional para las partículas que pasan la malla N°200, esto debido a que los agregados gruesos obtenidos se trabajaron simulando la situación real de aplicación que se tendría durante un uso a gran escala de estos fragmentos, donde por razones económicas no se consideraría un procedimiento adicional de tratamiento de estos agregados como el lavado, si no que tendrían adherido a su superficie partículas pequeñas que se desprenden del mortero adherido, el cual es una parte de estos agregados con una mayor fragilidad.

### 3.5.2 Diseño de Mezclas

En la tabla N° 12 se muestra la cantidad de materiales secos por m<sup>3</sup>, que se utilizaron en la preparación de cada grupo de probetas para su evaluación.

Tabla N° 12: Dosificaciones por m<sup>3</sup> de mezclas de prueba (Pesos Secos)

| Descripción                | Unidad | PATRON | MP-25  | MP-50  | MP-75  | MP-100 |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Cemento                    | kg     | 445.00 | 445.00 | 445.00 | 445.00 | 445.00 |
| Agua                       | lts    | 200.25 | 200.25 | 198.17 | 195.65 | 192.73 |
| Agregado Grueso Natural    | kg     | 783.34 | 587.51 | 391.67 | 195.84 | -      |
| Agregado Grueso Reciclado  | kg     | -      | 173.02 | 346.04 | 519.06 | 692.08 |
| Agregado Fino              | kg     | 858.31 | 858.31 | 858.31 | 858.31 | 858.31 |
| Aditivo Superplastificante | kg     | 3.34   | 3.34   | 3.34   | 3.34   | 3.34   |
| a / c                      | -      | 0.45   | 0.45   | 0.45   | 0.44   | 0.43   |

En la tabla N° 13 se muestran los materiales por m<sup>3</sup> corregidos por humedad. La obtención de cada uno de estos valores se encuentra explicados en el Apartado de Metodología y el diseño detallado de las mezclas se encuentra en los Anexos.

Tabla N° 13: Dosificaciones por m<sup>3</sup> de mezclas de prueba (Pesos Húmedos)

| Descripción                      | Unidad | PATRON | MP-25  | MP-50  | MP-75  | MP-100 |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Cemento                          | kg     | 445.00 | 445.00 | 445.00 | 445.00 | 445.00 |
| Agua Efectiva                    | lts    | 160.31 | 167.18 | 171.97 | 176.32 | 180.26 |
| Agregado Grueso Natural Humedo   | kg     | 795.64 | 596.73 | 397.82 | 198.91 | -      |
| Agregado Grueso Reciclado Humedo | kg     |        | 176.74 | 353.48 | 530.22 | 706.96 |
| Agregado Fino Humedo             | kg     | 904.58 | 904.58 | 904.58 | 904.58 | 904.58 |
| Aditivo Superplastificante       | kg     | 3.34   | 3.34   | 3.34   | 3.34   | 3.34   |
| a / c efectiva                   | -      | 0.36   | 0.38   | 0.39   | 0.40   | 0.41   |



### 3.5.3 Propiedades del Concreto Fresco

#### 3.5.3.1 Extensión de Flujo (Slump Flow)

En la tabla N° 14 se muestra la extensión de flujo que alcanza en promedio cada uno de los grupos de mezcla en estudio, los pasos utilizados para realizar este ensayo se encuentran descritos en el apartado de Metodología.

Tabla N° 14: Extensión de Flujo Promedio de Mezclas

| Reemplazo | E1      |         |         | E2      |         |         | E3      |         |         | Df       |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
|           | d1 (cm) | d2 (cm) | Df (cm) | d1 (cm) | d2 (cm) | Df (cm) | d1 (cm) | d2 (cm) | Df (cm) | Promedio |
| PATRON    | 66.50   | 66.80   | 66.65   | 65.70   | 65.50   | 65.60   | 65.70   | 66.60   | 66.15   | 66.13    |
| MP-25     | 64.00   | 63.80   | 63.90   | 64.30   | 65.00   | 64.65   | 62.30   | 64.00   | 63.15   | 63.90    |
| MP-50     | 57.30   | 58.00   | 57.65   | 55.00   | 55.50   | 55.25   | 56.40   | 54.30   | 55.35   | 56.08    |
| MP-75     | 54.00   | 52.90   | 53.45   | 52.30   | 51.90   | 52.10   | 51.70   | 52.40   | 52.05   | 52.53    |
| MP-100    | 49.90   | 49.60   | 49.75   | 49.00   | 48.80   | 48.90   | 49.70   | 49.80   | 49.75   | 49.47    |

Por otro lado, si observamos los resultados de extensión de flujo gráficamente, se tendría lo siguiente:

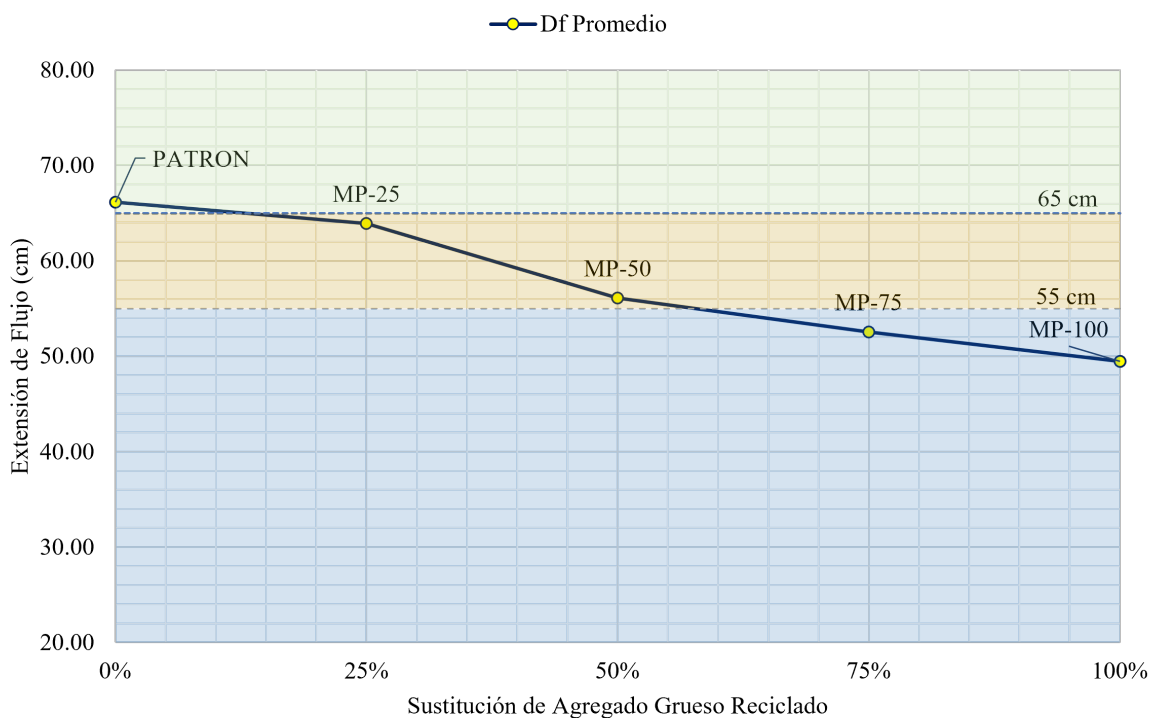


Figura N° 13: Extensión de Flujo Promedio de Mezclas

### 3.5.3.2 Tiempo T50

En la tabla N° 15, se muestra el promedio del tiempo T50 que tardó cada mezcla para alcanzar los 50 cm durante su extensión de flujo, los pasos que se siguieron para la realización de este ensayo se encuentran en el apartado de Metodología.

Como se vio en apartados anteriores, este ensayo permite tener una idea de la viscosidad que presenta la mezcla en ensayo.

Tabla N° 15: Tiempo T50

| Reemplazo | E1    | E2    | E3    | Promedio |
|-----------|-------|-------|-------|----------|
| PATRON    | 4.46  | 5.14  | 4.12  | 4.57     |
| MP-25     | 6.51  | 6.03  | 6.11  | 6.22     |
| MP-50     | 9.51  | 8.68  | 10.26 | 9.48     |
| MP-75     | 12.37 | 12.93 | 11.71 | 12.34    |
| MP-100    | --    | --    | --    | --       |

En la figura N° 14 se muestra gráficamente los valores alcanzados por cada grupo de probetas en este ensayo, además de tres regiones dadas por ACI 237 para este ensayo.

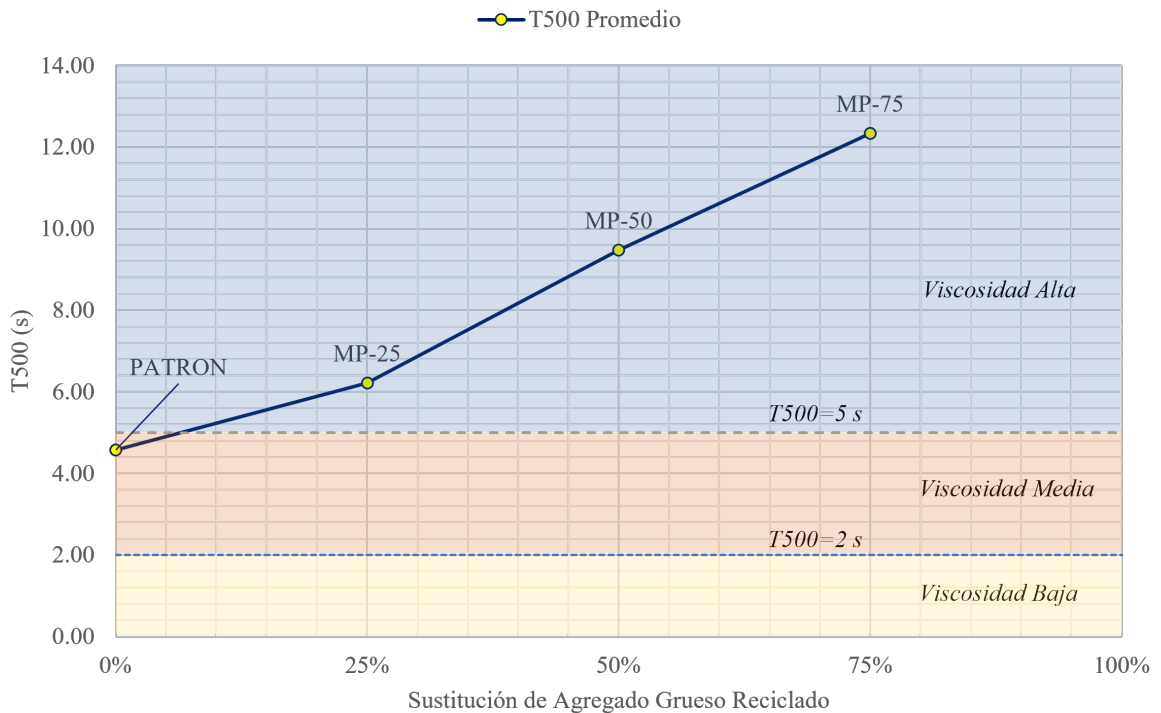


Figura N° 14: Extensión de Flujo Promedio de Mezclas

### 3.5.3.3 Ensayo de VSI (Estabilidad Visual)

En la tabla N° 16, se muestra la calificación de la estabilidad observada en las mezclas durante el flujo de la mezcla en el ensayo de Extensión de Flujo, según la tabla N° 4.

Tabla N° 16: VSI de cada mezcla estudiada

| <b>Reemplazo</b> | <b>E1</b> | <b>E2</b> | <b>E3</b> |
|------------------|-----------|-----------|-----------|
| PATRON           | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
| MP-25            | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
| MP-50            | 1.00      | 1.00      | 1.00      |
| MP-75            | 1.00      | 1.00      | 1.00      |
| MP-100           | 1.00      | 1.00      | 1.00      |

### 3.5.3.4 Ensayo de Embudo en V

En la tabla N° 17, se muestra el resultado de los ensayos realizados utilizando el Embudo en V para cada grupo de muestras que se han preparado, cuyos pasos utilizados para el ensayo, se encuentran especificados en el apartado de Metodología.

Tabla N° 17: Tv promedio para mezclas en estudio

| <b>Reemplazo</b> | <b>E1<br/>Tv (s)</b> | <b>E2<br/>Tv (s)</b> | <b>E3<br/>Tv (s)</b> | <b>Promedio</b> |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| PATRON           | 6.12                 | 5.75                 | 6.24                 | 6.04            |
| MP-25            | 7.79                 | 8.15                 | 6.99                 | 7.64            |
| MP-50            | 12.69                | 12.19                | 12.82                | 12.57           |
| MP-75            | 15.80                | 16.25                | 16.80                | 16.28           |
| MP-100           | 23.21                | 22.88                | 22.45                | 22.85           |

En la figura N° 15, se muestra de forma gráfica los resultados para el ensayo en mención, además de las dos regiones para el valor de los ensayos considerado por EFNARC, como se observa en la tabla N° 6.

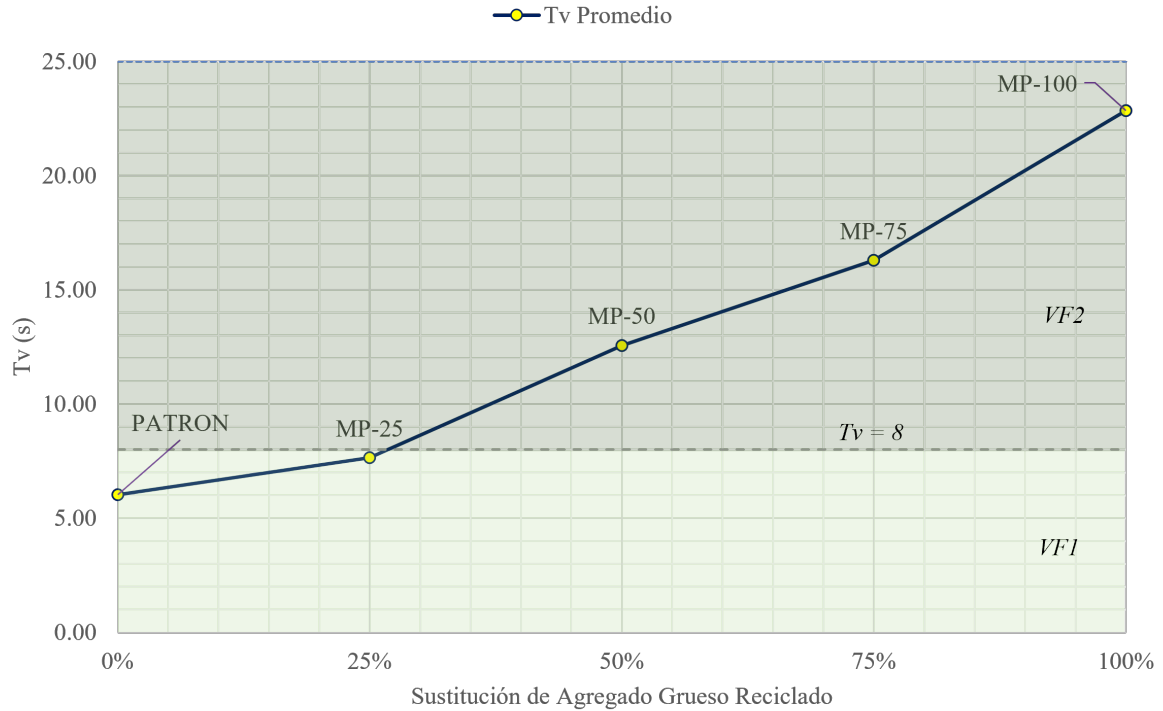


Figura N° 15: Tv promedio para mezclas en estudio

### 3.5.3.5 Ensayo de Caja en L

En la tabla N° 18, se observa el promedio de los resultados obtenidos para el coeficiente de bloqueo (CB) en el ensayo de Caja en L, los pasos seguidos para realizar el ensayo, se encuentran descritos en el apartado de Metodología.

Tabla N° 18: CB promedio para mezclas en estudio

| Reemplazo | E1      |         |      | E2      |         |      | E3      |         |      | CB Promedio |
|-----------|---------|---------|------|---------|---------|------|---------|---------|------|-------------|
|           | h2 (cm) | h1 (cm) | CB   | h2 (cm) | h1 (cm) | CB   | h2 (cm) | h1 (cm) | CB   |             |
| PATRON    | 8.00    | 9.50    | 0.84 | 7.80    | 9.20    | 0.85 | 8.10    | 9.40    | 0.86 | 0.85        |
| MP-25     | 7.40    | 9.60    | 0.77 | 7.20    | 9.70    | 0.74 | 7.60    | 9.50    | 0.80 | 0.77        |
| MP-50     | 4.50    | 13.50   | 0.33 | 4.70    | 14.00   | 0.34 | 3.70    | 13.00   | 0.28 | 0.32        |
| MP-75     | 0.00    | 43.20   | 0.00 | 0.00    | 48.60   | 0.00 | 0.00    | 53.00   | 0.00 | 0.00        |
| MP-100    | 0.00    | 56.10   | 0.00 | 0.00    | 55.40   | 0.00 | 0.00    | 57.20   | 0.00 | 0.00        |

En la figura N° 16, se presenta gráficamente los resultados para el CB, para cada grupo de mezclas, diferenciando las partes del gráfico para aquellos puntos que estén por encima del valor de 0.8 según las normas citadas en tabla N° 5.

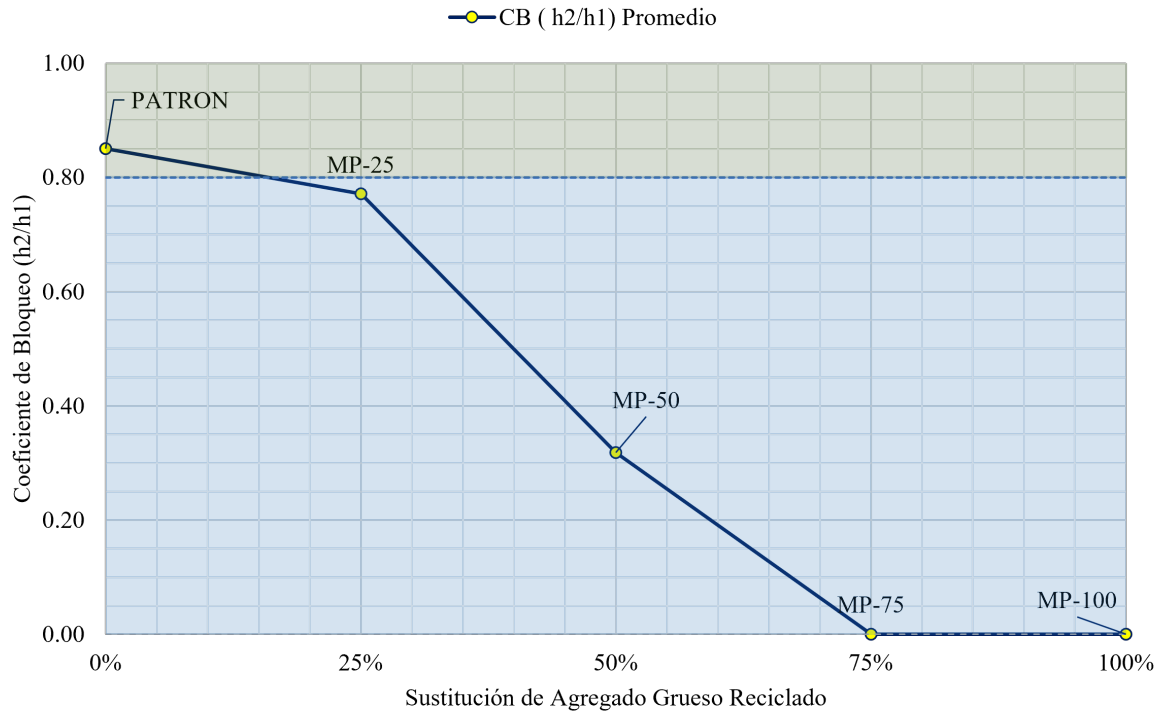


Figura N° 16: CB promedio para mezclas en estudio

### 3.5.4 Propiedades del Concreto en Estado Endurecido

#### 3.5.4.1 Resistencia a Compresión

En la tabla N° 19, se muestra el resumen de las resistencias a compresión alcanzados por cada grupo de probetas ensayados a los 7, 14 y 28 días.

Tabla N° 19: Resistencia a Compresión promedio para mezclas en estudio

| Diseño | 7 días                                |            | 14 días                               |            | 28 días                               |            |
|--------|---------------------------------------|------------|---------------------------------------|------------|---------------------------------------|------------|
|        | $f'_c$ promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) | % obtenido | $f'_c$ promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) | % obtenido | $f'_c$ promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) | % obtenido |
| PATRON | 359.62                                | 85.62      | 414.73                                | 98.75      | 462.17                                | 110.14     |
| MP-25  | 352.66                                | 83.97      | 405.14                                | 96.46      | 441.58                                | 105.14     |
| MP-50  | 334.88                                | 79.73      | 386.54                                | 92.03      | 410.68                                | 97.78      |
| MP-75  | 319.19                                | 76.00      | 376.91                                | 89.74      | 391.11                                | 93.12      |
| MP-100 | 306.29                                | 72.93      | 353.75                                | 84.23      | 368.60                                | 87.76      |

En la figura N° 17, se muestra de forma gráfica la evolución de la resistencia para cada grupo de probetas.

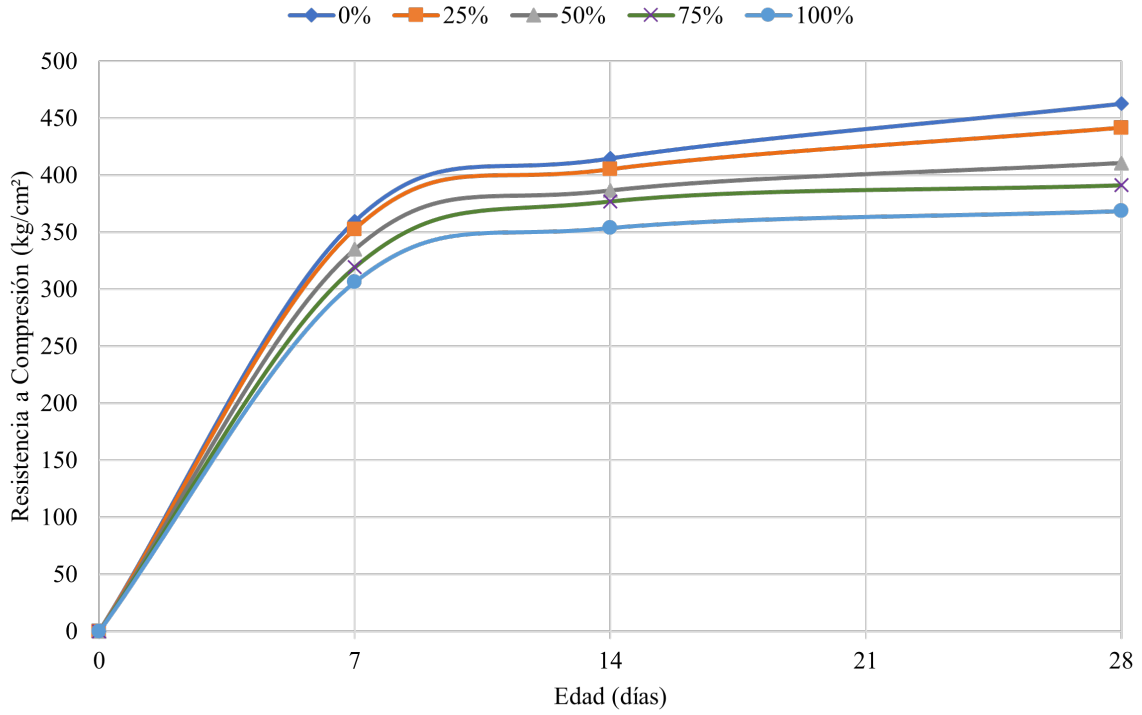


Figura N° 17: Evolución de la resistencia a compresión con edad de probetas

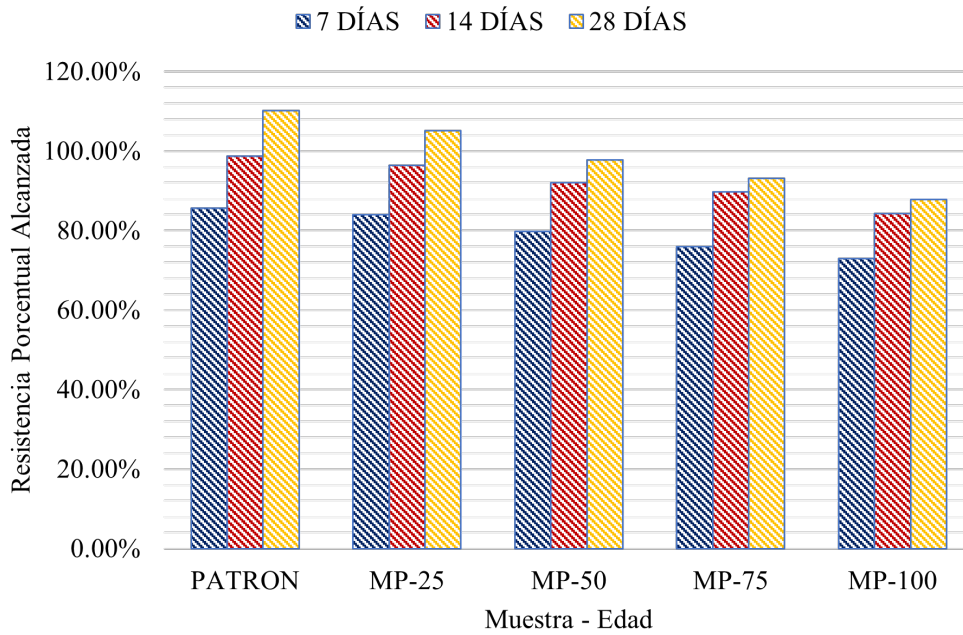


Figura N° 18: Resistencia Porcentual de mezclas en estudio

## **Capítulo IV. Análisis y Discusión de Resultados**

### **4.1 Propiedades Físicas de los Agregados Convencionales y Agregados Grueso Reciclado**

#### **4.1.1 Agregados Convencionales**

Según las especificaciones dadas en NTP 400.037, sobre agregados para concreto, se observa en la tabla N° 10 que el agregado grueso utilizado presenta un TMN de 1/2", siendo un tamaño recomendado para la producción de concretos autocompactantes, además su curva granulométrica se encuentra dentro del Huso 67, como se muestran en las figuras A.4, A.5 y A.6 de Anexos.

La distribución granulométrica del agregado fino cumple con el huso M como se observa en las figuras A.1, A.2 y A.3 de Anexos. Además, el agregado fino cumple con la especificación dada para el módulo de finura, pues se encuentra en el rango de 2.3 a 3.1.

En el caso de las partículas que pasan la malla N° 200, los agregados utilizados cumplen con la especificación, pues señala un máximo de 5 % para agregado fino y 1 % para el agregado grueso.

El agregado grueso presenta una abrasión de 27.43 % la cual es menor a 50 %, cumpliendo con los requisitos de calidad de NTP 400.037.

#### **4.1.2 Agregado Grueso Reciclado**

Según las especificaciones dadas en NTP 400.037 sobre agregados para concreto, se observa que el agregado grueso reciclado, obtenido de la trituración de fragmentos de concreto demolido, presenta un TMN de 1/2", siendo un tamaño recomendado para la producción de concretos autocompactantes, además de que su curva granulométrica se encuentra dentro del huso 67, como se muestran en las figuras A.7, A.8 y A.9 de Anexos.

En el caso de las partículas que pasan la malla N° 200, los agregados reciclados utilizados cumplen con la especificación, pues se obtiene un valor menor al 1 %. Además, presenta una abrasión de 34.53 % siendo menor al 50 %, por lo tanto, cumple con los requisitos de calidad de NTP 400.037.

Además, se concuerda con las conclusiones expresadas por Cipriano Rojas (2019), respecto a la influencia del mortero adherido, el cual es un material con una alta porosidad y que

forma parte de los agregados reciclados de concreto, como se puede observar en las tablas N° 10 y N° 11, se evidencia variaciones de propiedades como la absorción donde se obtuvo valores de 1.09 % y 5.58 % para el agregado grueso y grueso reciclado respectivamente, en el caso del peso específicos se obtuvo valores de 2.62 g/cm<sup>3</sup> y 2.32 g/cm<sup>3</sup> para el agregado grueso y grueso reciclado respectivamente, en el caso del ensayo de abrasión se obtuvo valores de 27.43 % y 34.53 % para el agregado grueso y grueso reciclado respectivamente. Esto demuestra un aumento de la absorción y disminución del peso específico, debido a la mayor porosidad del mortero adherido en el agregado grueso reciclado, además de un mayor desgaste a la abrasión debido a la fragilidad generada por la porosidad del mortero adherido.

## **4.2 Diseño de Mezclas**

En la tabla N° 13, se observa que la relación a/c efectiva utilizada en cada una de las mezclas de diseño aumenta, esto debido a la mayor compensación de agua necesaria cuando se aumenta la cantidad de agregado grueso proveniente de la trituración de fragmentos de concreto demolido, producto de la mayor absorción que estos presentan.

Por otro lado, en el caso de la relación a/c de los materiales secos por m<sup>3</sup> observados en la tabla N° 12, para las mezclas MP-75 y MP-100 se observa una disminución en la relación a/c respecto a las demás mezclas, esto debido a la corrección de agua realizada producto de la disminución de la misma durante el mezclado, en función de las características de estabilidad observadas en las mezclas.

## **4.3 Propiedades del Concreto en Estado Fresco**

### **4.3.1 Extensión de Flujo (Slump Flow)**

Teniendo en cuenta que se realizó el diseño de mezcla para un concreto autocompactante que alcanzará una extensión de flujo mayor a los 65 cm, siguiendo la metodología propuesta por ACI 237, se puede concluir lo siguiente:

En la figura N° 13, se muestran las extensiones de flujo promedio de cada grupo de muestras, además se señala los tres rangos establecidos para esta propiedad según ACI 237.

Como se puede observar en la figura N° 13, la muestra patrón usada de referencia para evaluar el comportamiento de las demás mezclas, alcanzó un diámetro de 66.15 cm, cumpliendo con la fluidez que se esperaba durante el diseño de la mezcla (mayor a los 65 cm).

Por su parte la mezcla MP-25, presenta una ligera disminución en la extensión de flujo al-



canzada, con un valor de 63.90 cm, sigue siendo un concreto autocompactante, pero según la clasificación de ACI 237, estaría dentro de un rango distinto y existirán una serie de aplicaciones donde se debería tener un mayor cuidado durante su aplicación.

Para MP-50, con un diámetro promedio de 56.08 cm, se evidencia una disminución más considerable de la extensión de flujo alcanzada, si bien sigue siendo un concreto autocompactante, su clasificación indica algunas restricciones para determinadas aplicaciones según ACI 237 (tabla N° 54), se debería analizar cuidadosamente la resistencia y las propiedades específicas que se necesitarán durante su colocación.

En las mezclas MP-75 y MP-100, los diámetros alcanzados son 52.5 cm y 49.50 cm respectivamente, encontrándose en un rango menor a 55cm, según ACI 237 no se los podría calificar como autocompactantes, la misma norma indica la necesidad de cantidades menores de compactación durante su aplicación. Por su parte, para la norma EHE-08, estas mezclas estarían fuera del rango que deberían cumplir para asegurar la autocompactabilidad.

Como se observa en la tabla N° 14 y figura N° 13 a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de agregado grueso reciclado en las mezclas estudiadas, existe una disminución en la extensión de flujo alcanzado. Esta pérdida de extensión, se debe a la mayor absorción que presentan este tipo de agregados, además de su superficie más rugosa y su forma con una angulosidad más marcada que los agregados gruesos convencionales, ocasionan que el flujo del concreto autocompactante en evaluación tenga mayores dificultades para fluir.

#### **4.3.2 Tiempo T50**

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla N° 15 y figura N° 14, se puede decir que la muestra patrón presenta una viscosidad media según ACI 237 o VS2 según EFNARC.

Por su parte, la mezcla MP-25, presenta un ligero aumento en el tiempo necesario para alcanzar los 50 cm de diámetro en contraste con la muestra patrón, entrando a clasificarse como una mezcla con alta viscosidad según ACI 237, para los rangos de EFNARC seguiría clasificándose como VS2 al igual que la mezcla patrón.

Por otro lado, las mezclas MP-50 y MP-75, presentan un aumento más notorio en el tiempo necesario para alcanzar los 50 cm de diámetro, clasificándose ambas como mezclas de alta viscosidad según ACI 237.

En el caso de MP-100, no se consiguió determinar el tiempo t50, dado que la mezcla no lle-

gaba a alcanzar completamente el diámetro de los 50 cm de diámetro, alcanzando solamente en promedio los 49.47 cm de diámetro final como se vio en el ensayo anterior.

Por otro lado, tomando en cuenta los requisitos de autocompactabilidad expresados por EHE-08, solamente las mezclas patrón y MP-25 cumplirían con los mismos, pues los tiempos obtenidos para las mezclas en mención son menores a 8 s.

La viscosidad y la fluidez de las mezclas son propiedades inversas, relacionándose este aumento de viscosidad con la pérdida de fluidez de la mezcla que se evidencia en los diámetros finales de extensión conseguidos; siendo la absorción, rugosidad y angulosidad de los agregados gruesos reciclados los que influyen directamente en los resultados conseguidos.

#### **4.3.3 Ensayo de VSI (Estabilidad Visual)**

Como se muestra en la tabla N° 16, las mezclas patrón y MP-25 se calificaron con el valor de 0 (muy estable), según el estándar dado por ACI 237, dado que evidenciaron una buena estabilidad sin mostrar segregación durante la extensión de flujo que desarrollaron las mezclas.

Para la mezcla MP-50, MP-75 y MP-100, se clasifica con 1 (estable), según estándar de ACI 237, dado que se evidencian pequeñas segregaciones en su extensión de flujo, haciendo notar una pequeña diferencia con las muestras patrón y MP-25, pero no se notó la formación de halos de mortero. De acuerdo a esto se puede notar que existe un cambio en la estabilidad observada en las mezclas con sustituciones de agregados grueso reciclado mayores al 25 %, sin embargo siguen manteniendo una estabilidad adecuada lo cual es esencial en este tipo de concretos.

#### **4.3.4 Ensayo de Embudo en V**

Como se observa en la tabla N° 17 y figura N° 15, la mezcla patrón desarrolló un tiempo de flujo promedio de 6.04 s, clasificándose en la región VF1 de EFNARC y AC-V2 de UNE 83.364, mostrando una adecuada viscosidad a través de su flujo continuo, evidenciando una buena estabilidad y una adecuada proporcionalidad del agregado grueso debido a la falta de bloqueos.

Para la muestra MP-25 presenta un tv de 7.64 s, evidenciando un ligero aumento en este tiempo de flujo, presentando un comportamiento parecido y clasificándose también con un tipo de flujo VF1.

En el caso de las mezclas MP-50, MP-75 y MP-100, presentan tiempos de flujo de 12.57 s, 16.28 s y 22.85 s respectivamente, mostrando incrementos más notables en el tv alcanzado, clasificándose estas tres últimas con un tipo de flujo VF2 según EFNARC.

Por su parte para la norma EHE-08, la muestra MP-100 con un tiempo promedio de 22.85 s, sería la que no cumpliría con los requisitos de la autocompactabilidad, pues se encuentra fuera del rango establecido el cual es de 4 s a 20 s.

Se puede evidenciar que existe un aumento del tiempo de flujo (tv) a medida que se incrementa la tasa de sustitución con agregado grueso reciclado, esto se debe a que este ensayo busca llevar la mezcla de una sección mayor a una con menor dimensión, lo que genera que la cantidad y características del agregado grueso influya más durante su flujo; considerando la naturaleza más angulosa y rugosa de los agregados gruesos reciclados, sumando a su mayor absorción, dan como resultado un mayor tiempo tv.

#### **4.3.5 Ensayo de Caja en L**

La muestra patrón alcanzó un coeficiente de bloqueo (CB) promedio de 0.85, presentando una adecuada capacidad de paso para las condiciones de evaluación dadas, pues su  $CB \geq 0.80$ .

En el caso de MP-25, se encontró una disminución en la capacidad de paso, obteniendo un coeficiente promedio de 0.77, el cual no cumpliría con ACI 237 pues  $CB < 0.80$ , sin embargo para EHE-08 y sus recomendaciones para autocompatibilidad, dicho valor estaría dentro del rango de aceptación que es de 0.75 a 1.00.

Por su parte MP-50, evidenció mayores problemas para cumplir esta prueba, logrando un CB de 0.32, no cumpliendo con las exigencias de ninguna de las normativas, caso parecido al de MP-75 y MP-100, que también no cumplieron con ninguna norma, dado que presentaron notables problemas en la capacidad de paso, no llegando dichas mezclas al punto de medida de h2, siendo asignado el valor de 0, como se muestra en la tabla N° 16.

Finalmente, como se observa gráficamente existe una tendencia negativa en la capacidad de paso con el aumento de la sustitución de agregado grueso proveniente de la trituración de fragmentos de concreto demolido, esto relacionado a un marcado aumento en la viscosidad de las mezclas a medida que se aumentaba la sustitución con este tipo de agregado, siendo en este ensayo donde se evidenció aun más el cambio que se produjo en las propiedades de los concretos autocompactantes el aumento de las sustituciones de agregado grueso reciclado.

## 4.4 Propiedades del Concreto en Estado Endurecido

### 4.4.1 Resistencia a Compresión

Como se observa en la representación gráfica de los resultados en la figura N° 18, la muestra patrón desarrolló en cada edad de control una resistencia superior a todas las mezclas que tenían en su composición agregado grueso reciclado, proveniente de la trituración de fragmentos de concreto demolido.

A la edad de 7 días, todas las muestras en evaluación, obtuvieron una resistencia superior al 70 %, siendo la muestra patrón con una resistencia promedio de 359.62 kg/cm<sup>2</sup>, que representa un 85.62 %, la que obtuvo mayor resistencia a compresión, por su parte, la muestra MP-25 alcanzó una resistencia promedio de 352.66 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente a 83.97 %, existiendo una diferencia de solamente 1.65 % entre ambas muestras. Por su parte MP-50, MP-75 y MP-100, alcanzaron el 79.73 %, 76 %, 72.93 % respectivamente, siendo la muestra MP-100 la que mostró la menor resistencia a compresión con 306.29 kg/cm<sup>2</sup>.

A la edad de 14 días, las muestras patrón, MP-25 y MP-50, obtuvieron una resistencia superior al 90 %, siendo la muestra patrón con 414.73 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente al 98.75 %, la que presenta mayor resistencia, mientras que para esta edad la diferencia porcentual en resistencia entre las muestras patrón y MP-25 aumentó a 2.29 %, dado que MP-25 alcanzó en promedio un valor de 405.14 kg/cm<sup>2</sup>. Por su parte, la muestra MP-100 con una resistencia de 353.75 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente a un 84.23 %, fue la que presentó menor resistencia de todas las muestras.

A la edad de 28 días, solamente las muestras patrón y MP-25, superaron el 100 % de resistencia. La muestra patrón alcanzó una resistencia promedio de 462.65 kg/cm<sup>2</sup>, representando esta un 110.16 %, mientras que MP-25 alcanzó una resistencia de 441.58 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente al 105.14 %, MP-50 con una resistencia de 410.68 kg/cm<sup>2</sup>, alcanzó el 97.78 %, MP-75 con una resistencia de 391.11 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente al 93.12 % y finalmente MP-100 con una resistencia de 368.60 kg/cm<sup>2</sup>, llegó al 87.76 %.

Finalmente, como se observa en el gráfico, existe una pérdida evidente en la resistencia a la compresión a medida que aumentamos la cantidad de sustitución de agregado grueso reciclado en las mezclas, esto se puede explicar debido a la microfisuración que presentan los agregados reciclados durante su obtención por trituración, que tienden a formar grietas cuan-

do son sometidos a mayores esfuerzos, además estos agregados se encuentran constituidos por una parte de mortero adherido que es una zona porosa y frágil.

Sin embargo, el comportamiento de la muestra MP-25 es favorable dado que superó el 100 % de resistencia a compresión a la edad de 28 días, siendo menor en un 5.02 % respecto de la muestra patrón.

#### **4.4.2 Contraste de datos obtenidos con la hipótesis planteada**

Los valores obtenidos respaldan parcialmente la hipótesis propuesta, dado que las pérdidas de resistencia respecto a la muestra patrón para las mezclas MP-25 y MP-50 se encuentran dentro o muy próximas al rango del 10 %, dado que presentaron disminuciones de 5.02 % y 12.37 % respectivamente, siendo además que la muestra MP-25 superó la resistencia objetivo a los 28 días conjuntamente con la muestra PATRÓN. No obstante, para las muestras MP-75 y MP-100, se evidencia una disminución en la resistencia más considerable con valores de 17.03 % y 22.39 % con respecto a la muestra PATRÓN.

## Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

- La resistencia a compresión a una edad de 28 días, fue de 462.17 kg/cm<sup>2</sup> para la muestra patrón, 441.58 kg/cm<sup>2</sup>, 410.68 kg/cm<sup>2</sup>, 391.11 kg/cm<sup>2</sup> y 368.6 kg/cm<sup>2</sup> para los concretos autocompactantes con sustituciones del 25 %, 50 %, 75 % y 100 % respectivamente, representando respecto a la resistencia objetivo de 420 kg/cm<sup>2</sup> el 110.04 % para la muestra patrón, 105.14 %, 97.78 %, 93.12 % y 87.76 % para las muestras con sustituciones del 25 %, 50 %, 75 % y 100 % respectivamente, evidenciando una menor resistencia a compresión a medida que se aumenta el porcentaje de sustitución de agregado grueso reciclado, obtenido de los fragmentos triturados de concretos demolidos. Pese a ello, la mezcla con una sustitución del 25 %, logró superar el 100 % de resistencia objetivo a la edad de 28 días.
- En los ensayos de verificación de la autocompactabilidad de las mezclas en estado fresco, se tuvieron los siguientes resultados:
  - En el ensayo de extensión de flujo, los valores del diámetro de extensión promedio fueron de 66.13 cm para la muestra patrón, 63.90 cm, 56.08 cm, 52.53 cm y 49.47 cm para las muestras con sustituciones del 25 %, 50 %, 75 % y 100 % respectivamente, en el caso del valor de T50 se tuvieron los valores de 4.57 s para muestra patrón, 6.22 s, 9.48 s y 12.34 s para las muestras con sustituciones del 25 %, 50 % y 75 % respectivamente, sin embargo la muestra con sustitución del 100 % no alcanzó el diámetro de los 50 cm, evidenciando una pérdida de fluidez con el aumento del porcentaje de sustitución de agregado grueso reciclado.
  - En el ensayo de VSI (índice de estabilidad visual), las mezclas estudiadas se clasificaron con valores de 0 (muy estable) para las muestras patrón y con sustitución del 25 %, se clasificó con el valor de 1 (estable) para las muestras con sustituciones del 50 %, 75 % y 100 % respectivamente, de acuerdo a la clasificación dada por ACI 237, demostrando todas las mezclas una adecuada estabilidad.
  - En el ensayo de embudo en V, se tuvo valores para el tiempo de flujo en el embudo (Tv) de 6.04 s para la muestra patrón, 7.64 s, 12.57 s, 16.28 s y 22.85 s para las muestras con sustituciones del 25 %, 50 %, 75 % y 100 % respectivamente,

el ensayo evidenció un aumento en los tiempos de flujo producto de la mayor viscosidad de las mezclas con el aumento del reemplazo de agregado grueso reciclado.

- En el ensayo de caja en L, los valores del coeficiente de bloquero (CB) que se tuvieron fueron de 0.85 para la muestra patrón, 0.77 y 0.32 para las muestras con sustituciones del 25 % y 50 % respectivamente, en el caso de las muestras con sustituciones del 75 % y 100 % se calificó con 0 dado que no llegaron a desarrollar el recorrido completo, evidenciando una pérdida en la capacidad de paso de las mezclas con el aumento del porcentaje sustitución de agregado grueso reciclado.
- Los agregados convencionales y agregado grueso reciclado, obtenido de los fragmentos triturados de concretos demolidos, cumplen con los requisitos de calidad establecidos en la NTP 400.037, siendo viable su aplicación en la preparación de concretos, sin embargo la presencia de mortero adherido en el agregado grueso reciclado se hizo notorio en los valores obtenidos para las propiedades físicas en comparación con las del agregado grueso convencional, expresado en un menor peso específico con valores de  $2.62 \text{ g/cm}^3$  y  $2.32 \text{ g/cm}^3$  para el agregado grueso convencional y agregado grueso reciclado respectivamente, un mayor desgaste a la abrasión con valores de 27.43 % y 34.53 % para el agregado grueso convencional y agregado grueso reciclado respectivamente, una mayor absorción con valores de 1.09 % y 5.58 % para el agregado grueso y agregado grueso reciclado respectivamente, además de un mayor porcentaje de finos que pasan la malla N°200 con valores de 0.28 % y 0.72 % para el agregado grueso y agregado grueso reciclado respectivamente.
- Las probetas a una edad de 7 días, obtuvieron resistencias a la compresión promedio de 359.62 kg/cm<sup>2</sup> para la muestra patrón, 352.66 kg/cm<sup>2</sup>, 334.88 kg/cm<sup>2</sup>, 319.19 kg/cm<sup>2</sup> y 306.29 kg/cm<sup>2</sup> para las muestras con sustituciones del 25 %, 50 %, 75 % y 100 % respectivamente. A la edad de 14 días, obtuvieron resistencias de 414.73 kg/cm<sup>2</sup> para la muestra patrón, 405.14 kg/cm<sup>2</sup>, 386.54 kg/cm<sup>2</sup>, 376.91 kg/cm<sup>2</sup> y 353.75 kg/cm<sup>2</sup> para las muestras con sustituciones del 25 %, 50 %, 75 % y 100 % respectivamente. A la edad de 28 días, obtuvieron resistencias de 462.17 kg/cm<sup>2</sup> para la muestra patrón, 441.58 kg/cm<sup>2</sup>, 410.68 kg/cm<sup>2</sup>, 391.11 kg/cm<sup>2</sup> y 368.60 kg/cm<sup>2</sup> para las muestras con sustituciones del 25 %, 50 %, 75 % y 100 % respectivamente.

- Se concluye que se puede realizar sustituciones hasta un 25 % de agregado grueso convencional por agregado grueso reciclado en la elaboración de concretos autocompactantes con los materiales utilizados en esta investigación, esto fundamentado en el adecuado comportamiento en estado fresco presentado por la mezcla para este porcentaje de sustitución, lo cual confirma la autocompactabilidad de la misma; y por otro lado, los valores de resistencia a la compresión obtenidos a la edad de 28 días indican que la mezcla cumplió con la resistencia objetivo.

## **5.2 Recomendaciones**

- Para futuros trabajos de investigación, se recomienda investigar con el uso de otros tipos de aditivos superplastificantes, dado que al ser un concreto especial muy susceptible a pequeños cambios, se podrían presentar diferentes comportamientos con la sustitución de agregados reciclados.
- También se recomienda, realizar investigaciones con la utilización de adiciones minerales, utilizadas como parte del cemento, asegurando una adecuada cantidad de finos y disminuyendo los costos de producción a gran escala.
- Se recomienda realizar investigaciones sobre durabilidad en concretos autocompactantes con agregados reciclados que se usarán en estructuras de concreto armado, debido a una posible presencia de agentes químicos contaminantes asociados a los agregados reciclados, que afectarían la integridad del acero utilizado.



## Referencias Bibliográficas

- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del Concreto* (Segunda Edición). San Marcos.
- Adams, M., & Jayasuriya, A. (2019). *ACI CRC 18.5517: Guideline Development for Use of Recycled Concrete Aggregates in New Concrete*. Matslab; ACI Foundation.
- Aquino Carreón, H. (2021). *Análisis de la resistencia de concretos autocompactantes con agregados artificiales para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=315 \text{ kg/cm}^2$  en Puno 2018* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional del Altiplano.
- Bai, G., Zhu, C., Liu, C., & Liu, B. (2020). An evaluation of the recycled aggregate characteristics and the recycled aggregate concrete mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 240, 117978. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117978>
- Burbano García, C. (2019, 2 de febrero). *Propiedades reológicas en un concreto autocompactante*. [Linkedin]. Consultado el 27 de marzo de 2022, desde <https://www.linkedin.com/pulse/propiedades-reol%C3%B3gicas-en-un-concreto-autocompactante-burbano-garc%C3%ADa/?originalSubdomain=es>
- Bustamante Tirado, M. (2018). *Análisis de las Propiedades Mecánicas del Concreto Autocompactante, usando el aditivo superplastificante GLENIUM C 313* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Cipriano Rojas, F. (2019). *Concreto elaborado con agregados de residuos de construcción y demolición (RCD) reciclados* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- CSI. (2009). *Reciclando Concreto*. World Business Council for Sustainable Development. Washington.
- Fiol, F., Thomas, C., Muñoz, C., Ortega-López, V., & Manso, J. (2018). The influence of recycled aggregates from precast elements on the mechanical properties of structural self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 182, 309-323. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.132>
- Makul, N. (2020). Advanced smart concrete - a review of current progress, benefits and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122899. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122899>
- Martínez Molina, W., Torres Acosta, A. A., Alonso Guzmán, E. M., Chávez García, H. L., Hernández Barrios, H., Lara Gómez, C., Martínez Alonso, W., Pérez Quiroz, J. T., Bedolla Arroyo, J. A., González Valdéz, F. M., Martínez Molina, W., Torres Acosta,

- A. A., Alonso Guzmán, E. M., Chávez García, H. L., Hernández Barrios, H., Lara Gómez, C., Martínez Alonso, W., Pérez Quiroz, J. T., Bedolla Arroyo, J. A., & González Valdéz, F. M. (2015). Concreto reciclado: una revisión [Publisher: Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción A.C.]. *Revista ALCONPAT*, 5(3), 235-248. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2007-68352015000300235&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-68352015000300235&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self Compacting Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1, 5-15.
- Revilla Cuesta, V., Skaf, M., Faleschini, F., Manso, J. M., & Ortega-López, V. (2020). Self-compacting concrete manufactured with recycled concrete aggregate: An overview. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121362. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121362>
- Sainz-Aja, J., Carrascal, I., Polanco, J., Sosa, I., Thomas, C., Casado, J., & Diego, S. (2020). Determination of the Optimum Amount of Superplasticizer Additive for Self-Compacting Concrete. *Applied Sciences*, 10, 3096. <https://doi.org/10.3390/app10093096>
- Santos, S., da Silva, P., & de Brito, J. (2019). Self-compacting concrete with recycled aggregates – a literature review. *Journal of Building Engineering*, 22, 349-371. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.01.001>
- Sfikas, I. (2017). Self-Compacting Concrete: History & Current Trends. *Concrete (London)*, 51, 12-16.
- Silva, O. J. (2020). *CONCRETO AUTOCOMPACTANTE: ORIGEN, VENTAJAS Y APLICACIONES* [Comunidad 360]. Consultado el 21 de marzo de 2022, desde <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-autocompactante-origen-ventajas-y-aplicaciones>
- Sun, C., Chen, Q., Xiao, J., & Liu, W. (2020). Utilization of waste concrete recycling materials in self-compacting concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 104930. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104930>
- WBCSD. (2012). *Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento*. World Business Council for Sustainable Development. Washington.

Yahia, A., & Aïtcin, P. -. (2016, 1 de enero). 26 - self-consolidating concrete. En P.-C. Aïtcin & R. J. Flatt (Eds.), *Science and technology of concrete admixtures* (pp. 491-502). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100693-1.00026-6>

## **NORMAS CITADAS**

American Concrete Institute, ACI 237R. Self-Consolidating Concrete. ACI, Farmington Hills, Michigan, USA, 2007 (Reapproved 2019).

EHE-08 (2010). Instrucción de Hormigón Estructural. 4a Edición. Ministerio del Fomento. España.

European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use. EFNARC, Farnham, Surrey, 2005.

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 en 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 (2021). CONCRETO. Definiciones y terminología relativas al concreto y agregados. 4a Edición. INACAL.

NTP 339.059 (2017). CONCRETO: Método para la obtención y ensayo de corazones diamantinos y vigas seccionadas. 4a Edición. INACAL.

NTP 339.088 (2021). CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico. Especificaciones. 4a 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. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3a Edición. INACAL.

NTP 339.185 (2021). AGREGADOS: Contenido de humedad total evaporable del agregado por secado. INACAL.

NTP 339.219 (2019). CONCRETO: Método de ensayo para determinar el flujo de asentamiento del concreto auto-compactado. INACAL.

NTP 400.01 (2020). 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 granulométrico 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.

NTP 400.053 (2019). MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN. Reciclaje de concreto de demolición. INACAL.

UNE 83361 (2007). Hormigon Autocompactante. Caracterización de la fluidez. Ensayo de escurrimiento.

# ANEXOS

## A. Propiedades de los Agregados

### A.1 Agregado Fino

#### A.1.1 Análisis Granulométrico

Tabla N° 20: Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino - Ensayo N° 01 (NTP 400.012 / ASTM C136)

| Peso Seco Inicial (g)   |               |                           | 1500               |                      |            |
|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------------|----------------------|------------|
| Tamiz                   |               | Peso Retenido Parcial (g) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Que Pasa |
| N°                      | Abertura (mm) |                           |                    |                      |            |
| 3/8"                    | 9.53          | 0.00                      | 0.00               | 0.00                 | 100.00     |
| N°4                     | 4.75          | 139.00                    | 9.27               | 9.27                 | 90.73      |
| N°8                     | 3.36          | 240.00                    | 16.00              | 25.27                | 74.73      |
| N°16                    | 1.18          | 291.00                    | 19.40              | 44.67                | 55.33      |
| N°30                    | 0.6           | 238.00                    | 15.87              | 60.53                | 39.47      |
| N°50                    | 0.3           | 226.00                    | 15.07              | 75.60                | 24.40      |
| N°100                   | 0.15          | 248.00                    | 16.53              | 92.13                | 7.87       |
| N°200                   | 0.075         | 102.00                    | 6.80               | 98.93                | 1.07       |
| Cazoleta                | -----         | 16.00                     | 1.07               | 100.00               | 0.00       |
| <b>Total</b>            |               | <b>1500.00</b>            |                    |                      |            |
| <b>Módulo de Finura</b> |               |                           |                    | <b>3.075</b>         |            |

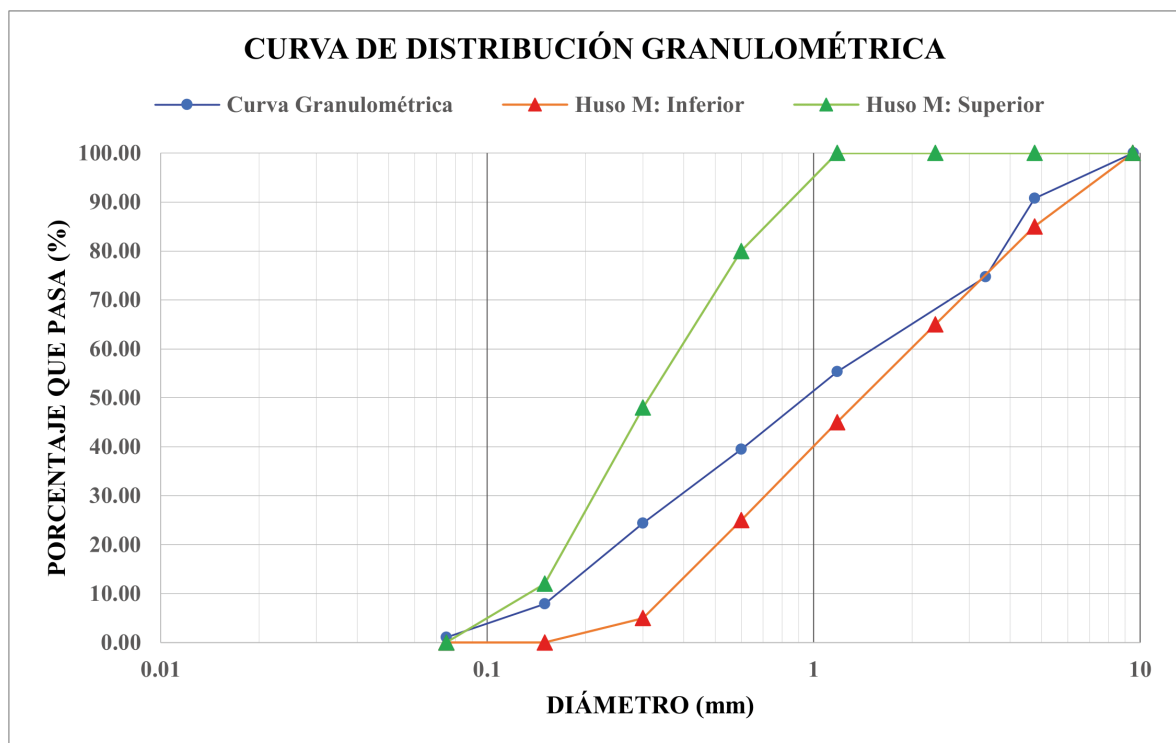


Figura N° 19: Curva de distribución granulométrica del agregado fino - Ensayo N° 01

Tabla N° 21: Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino - Ensayo N° 02 (NTP 400.012 / ASTM C136)

| Peso Seco Inicial (g)   |               |                           | 1500               |                      |            |
|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------------|----------------------|------------|
| Tamiz                   |               | Peso Retenido Parcial (g) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Que Pasa |
| N°                      | Abertura (mm) |                           |                    |                      |            |
| 3/8"                    | 9.53          | 0.00                      | 0.00               | 0.00                 | 100.00     |
| N°4                     | 4.75          | 143.00                    | 9.53               | 9.53                 | 90.47      |
| N°8                     | 3.36          | 227.00                    | 15.13              | 24.67                | 75.33      |
| N°16                    | 1.18          | 271.00                    | 18.07              | 42.73                | 57.27      |
| N°30                    | 0.6           | 221.00                    | 14.73              | 57.47                | 42.53      |
| N°50                    | 0.3           | 236.00                    | 15.73              | 73.20                | 26.80      |
| N°100                   | 0.15          | 260.00                    | 17.33              | 90.53                | 9.47       |
| N°200                   | 0.075         | 127.00                    | 8.47               | 99.00                | 1.00       |
| Cazoleta                | -----         | 15.00                     | 1.00               | 100.00               | 0.00       |
| <b>Total</b>            |               | <b>1500.00</b>            |                    |                      |            |
| <b>Módulo de Finura</b> |               |                           |                    | <b>2.981</b>         |            |

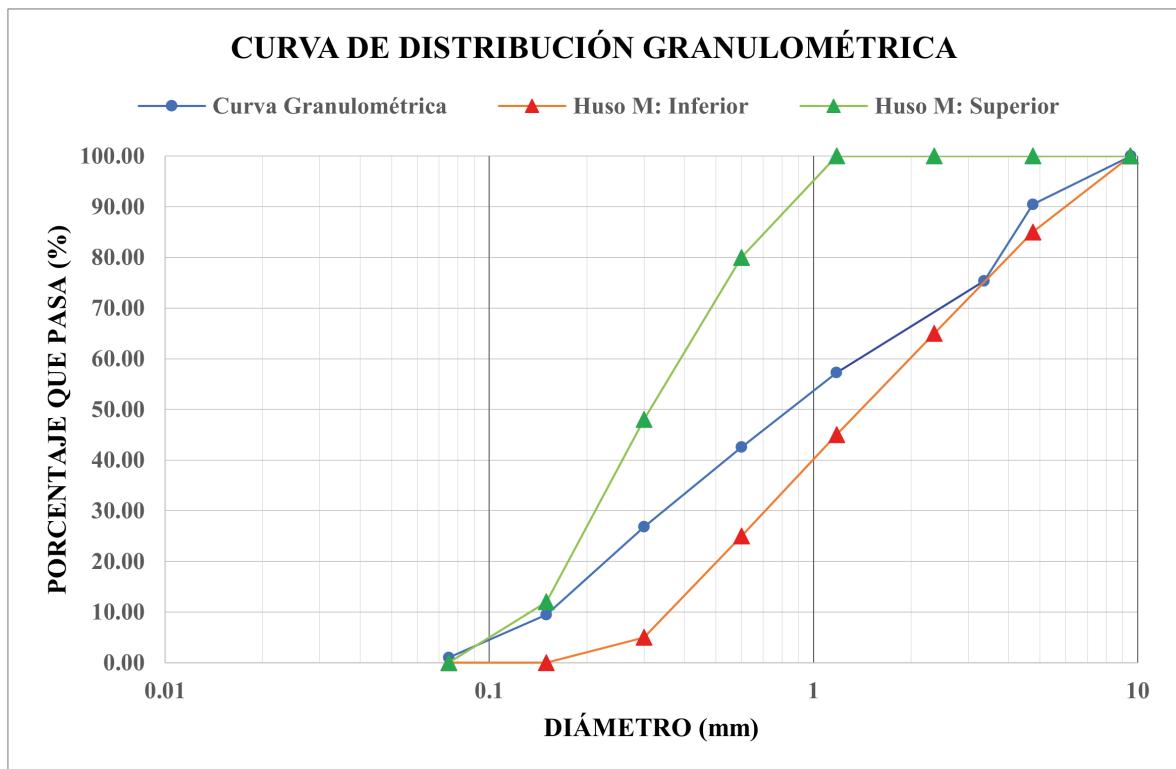


Figura N° 20: Curva de distribución granulométrica del agregado fino - Ensayo N° 02

Tabla N° 22: Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino - Ensayo N° 03 (NTP 400.012 / ASTM C136)

| Peso Seco Inicial (g)   |               |                           | 1500               |                      |            |
|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------------|----------------------|------------|
| Tamiz                   |               | Peso Retenido Parcial (g) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Que Pasa |
| N°                      | Abertura (mm) |                           |                    |                      |            |
| 3/8"                    | 9.53          | 0.00                      | 0.00               | 0.00                 | 100.00     |
| N°4                     | 4.75          | 155.00                    | 10.33              | 10.33                | 89.67      |
| N°8                     | 3.36          | 255.00                    | 17.00              | 27.33                | 72.67      |
| N°16                    | 1.18          | 282.00                    | 18.80              | 46.13                | 53.87      |
| N°30                    | 0.6           | 227.00                    | 15.13              | 61.27                | 38.73      |
| N°50                    | 0.3           | 232.00                    | 15.47              | 76.73                | 23.27      |
| N°100                   | 0.15          | 235.00                    | 15.67              | 92.40                | 7.60       |
| N°200                   | 0.075         | 100.00                    | 6.67               | 99.07                | 0.93       |
| Cazoleta                | -----         | 14.00                     | 0.93               | 100.00               | 0.00       |
| <b>Total</b>            |               | <b>1500.00</b>            |                    |                      |            |
| <b>Módulo de Finura</b> |               |                           | <b>3.142</b>       |                      |            |

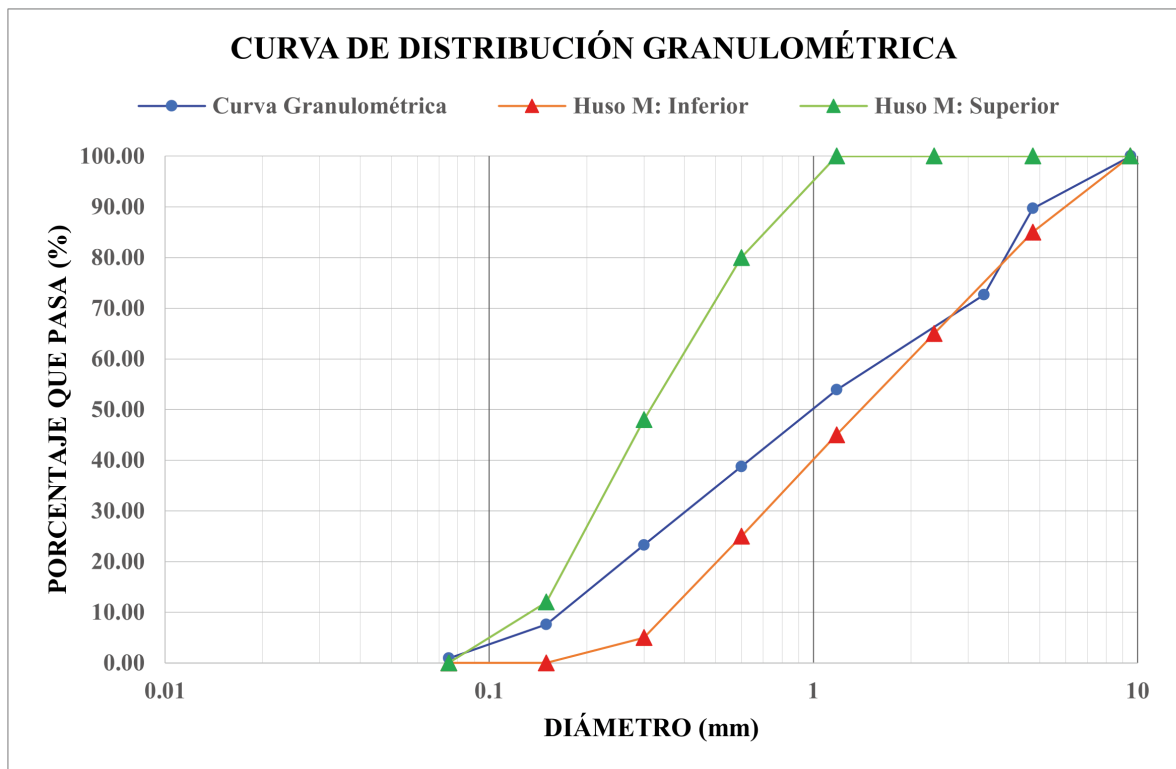


Figura N° 21: Curva de distribución granulométrica del agregado fino - Ensayo N° 03

De los ensayos realizados, se determina que:

**Módulo de finura promedio = 3.066**



## A.1.2 Peso Específico y Absorción

Tabla N° 23: Ensayo peso específico y absorción del agregado fino (NTP 400.022 / ASTM C128)

| Descripción  | M-1          | M-2          | M-3          | Promedio     |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Peso de la fiola (g)                                 | 192.0        | 192.0        | 192.0        |              |
| (A) Peso de muestra seca al horno (g)                | 494.2        | 494.3        | 494.1        |              |
| (B) Peso de fiola + agua hasta menisco (g)           | 690.2        | 690.2        | 690.2        |              |
| (C) Peso de fiola + agua + muestra (g)               | 1001.5       | 1001.8       | 1002.1       |              |
| (S) Peso de muestra SSS (g)                          | 500          | 500          | 500          |              |
| <b>Peso Específico de Masa (g/m<sup>3</sup>)</b>     | <b>2.619</b> | <b>2.624</b> | <b>2.627</b> | <b>2.623</b> |
| <b>Peso Específico Aparente (g/m<sup>3</sup>)</b>    | <b>2.702</b> | <b>2.706</b> | <b>2.712</b> | <b>2.706</b> |
| <b>Peso Específico de Masa SSS (g/m<sup>3</sup>)</b> | <b>2.650</b> | <b>2.654</b> | <b>2.658</b> | <b>2.654</b> |
| <b>Absorción (%)</b>                                 | <b>1.17</b>  | <b>1.15</b>  | <b>1.19</b>  | <b>1.17</b>  |

## A.1.3 Peso Unitario

### A.1.3.1 Peso Específico del Agua

Tabla N° 24: Determinación de peso específico del agua

| Descripción  | M-1           | M-2           | M-3           | Promedio      |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Peso de fiola (g)                                  | 192.02        | 192.02        | 192.02        |               |
| Peso de fiola + agua (g)                           | 690.2         | 690.4         | 690.1         |               |
| Volumen de fiola (cm <sup>3</sup> )                | 500           | 500           | 500           |               |
| Peso específico de agua (g/cm <sup>3</sup> )       | 0.99636       | 0.99676       | 0.99616       | 0.996         |
| <b>Peso específico de agua (kg/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>996.36</b> | <b>996.76</b> | <b>996.16</b> | <b>996.43</b> |

### A.1.3.2 Factor "F" del recipiente

Tabla N° 25: Determinación de factor "F" para recipiente de agregado fino

| Descripción                         | M-1            | M-2            | M-3            | Promedio       |
|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Peso de Molde (g)                   | 1999           | 1999           | 1999           |                |
| Peso de Molde + Agua (g)            | 4868.0         | 4868.2         | 4867.9         |                |
| Peso Agua (Kg)                      | 2.869          | 2.8692         | 2.8689         | 2.869          |
| <b>Factor "F" (1/m<sup>3</sup>)</b> | <b>347.308</b> | <b>347.284</b> | <b>347.320</b> | <b>347.304</b> |

### A.1.3.3 Peso Unitario Suelto Seco

Tabla N° 26: Ensayo de peso unitario suelto seco de agregado fino (NTP 400.017 / ASTM C29)

| Descripción                                    | M-1         | M-2         | M-3         | Promedio    |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso del Recipiente (g)                        | 1999.0      | 1999.0      | 1999.0      |             |
| Peso de muestra suelta + recipiente (g)        | 6611.0      | 6611.0      | 6611.0      |             |
| Peso de muestra suelta (g)                     | 4612        | 4622        | 4603        |             |
| Factor F (1/m <sup>3</sup> )                   | 347.304     | 347.304     | 347.304     |             |
| Peso Unitario Suelto Seco (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.602       | 1.605       | 1.599       | 1.602       |
| <b>PUSS (Kg/m<sup>3</sup>)</b>                 | <b>1602</b> | <b>1605</b> | <b>1599</b> | <b>1602</b> |

### A.1.3.4 Peso Unitario Compactado

Tabla N° 27: Ensayo de peso unitario seco compactado de agregado fino (NTP 400.017 / ASTM C29)

| Descripción                                   | M-1         | M-2         | M-3         | Promedio    |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso del Recipiente (g)                       | 1999.0      | 1999.0      | 1999.0      |             |
| Peso de muestra compactada + recipiente (g)   | 7011.0      | 6995.0      | 6974.0      |             |
| Peso de muestra compactada (g)                | 5012        | 4996        | 4975        |             |
| Factor (F)                                    | 347.304     | 347.304     | 347.304     |             |
| Peso Unitario Compactado (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.741       | 1.735       | 1.728       | 1.735       |
| <b>PUCS (Kg/m<sup>3</sup>)</b>                | <b>1741</b> | <b>1735</b> | <b>1728</b> | <b>1735</b> |

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

Tabla N° 28: Ensayo de partículas que pasar malla N° 200 de agregado fino (NTP 400.018 / ASTM C117)

| Descripción                                   | M-1         | M-2         | M-3         | Promedio    |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso de muestra original (g)                  | 500         | 500         | 500         |             |
| Peso de muestra lavada (g)                    | 486.1       | 485.4       | 485.2       |             |
| Peso del material que pasa el tamiz N°200 (g) | 13.9        | 14.6        | 14.8        |             |
| <b>Material que pasa el Tamiz N° 200 (%)</b>  | <b>2.78</b> | <b>2.92</b> | <b>2.96</b> | <b>2.89</b> |

### A.1.5 Contenido de Humedad (%)

Tabla N° 29: Ensayo contenido de humedad de agregado fino (NTP 339.185 / ASTM C566)

| Descripción                              | M-1         | M-2         | M-3         | Promedio    |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso del recipiente (g)                  | 114         | 114         | 114         |             |
| Peso del recipiente + muestra húmeda (g) | 1577        | 1914        | 1699        |             |
| Peso del recipiente + muestra seca (g)   | 1502        | 1821        | 1619        |             |
| Peso del agua (g)                        | 75          | 93          | 80          |             |
| Peso de muestra seca (g)                 | 1388        | 1707        | 1505        |             |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>          | <b>5.40</b> | <b>5.45</b> | <b>5.32</b> | <b>5.39</b> |

## A.2 Agregado Grueso

### A.2.1 Análisis Granulométrico

Tabla N° 30: Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso - Ensayo N° 01 (NTP 400.012 / ASTM C136)

| Peso Seco Inicial (g)   |               |                            | 4000               |                      |            |
|-------------------------|---------------|----------------------------|--------------------|----------------------|------------|
| Tamiz                   |               | Peso Retenido Parcial (gr) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Que Pasa |
| N°                      | Abertura (mm) |                            |                    |                      |            |
| 3/4"                    | 19.05         | 0.00                       | 0.00               | 0.00                 | 100.00     |
| 1/2"                    | 12.7          | 1620.00                    | 40.50              | 40.50                | 59.50      |
| 3/8"                    | 9.53          | 1527.00                    | 38.18              | 78.68                | 21.33      |
| N°4                     | 4.75          | 850.00                     | 21.25              | 99.93                | 0.08       |
| Cazoleta                | -----         | 3.00                       | 0.08               | 100.00               | 0.00       |
| <b>Total</b>            |               | <b>4000.00</b>             |                    |                      |            |
| <b>Módulo de Finura</b> |               |                            | <b>6.782</b>       |                      |            |

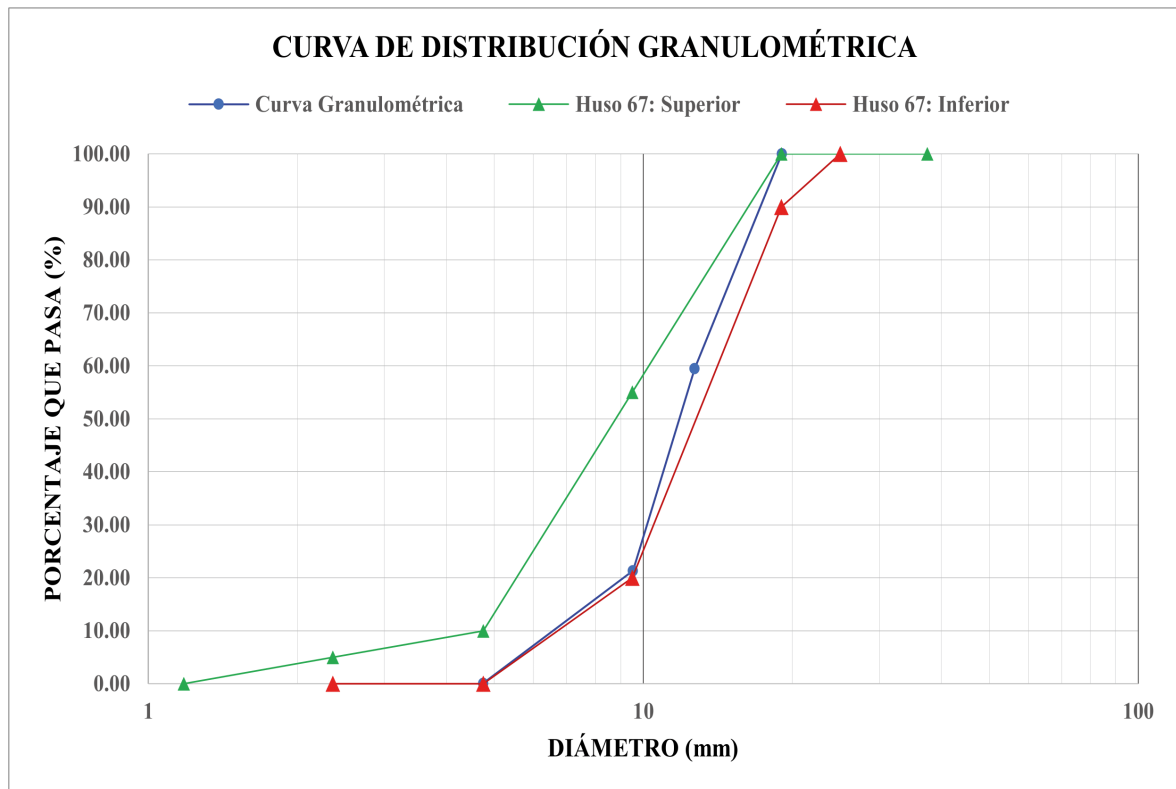


Figura N° 22: Curva de distribución granulométrica de agregado grueso - Ensayo N° 01

Tabla N° 31: Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso - Ensayo N° 02 (NTP 400.012 / ASTM C136)

| Peso Seco Inicial (g)   |               |                            | 4000               |                      |            |
|-------------------------|---------------|----------------------------|--------------------|----------------------|------------|
| Tamiz                   |               | Peso Retenido Parcial (gr) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Que Pasa |
| N°                      | Abertura (mm) |                            |                    |                      |            |
| 3/4"                    | 19.05         | 0.00                       | 0.00               | 0.00                 | 100.00     |
| 1/2"                    | 12.7          | 1535.00                    | 38.38              | 38.38                | 61.63      |
| 3/8"                    | 9.53          | 1533.00                    | 38.33              | 76.70                | 23.30      |
| N°4                     | 4.75          | 927.00                     | 23.18              | 99.88                | 0.13       |
| Cazoleta                | ----          | 5.00                       | 0.13               | 100.00               | 0.00       |
| <b>Total</b>            |               | <b>4000.00</b>             |                    |                      |            |
| <b>Módulo de Finura</b> |               |                            |                    | <b>6.760</b>         |            |

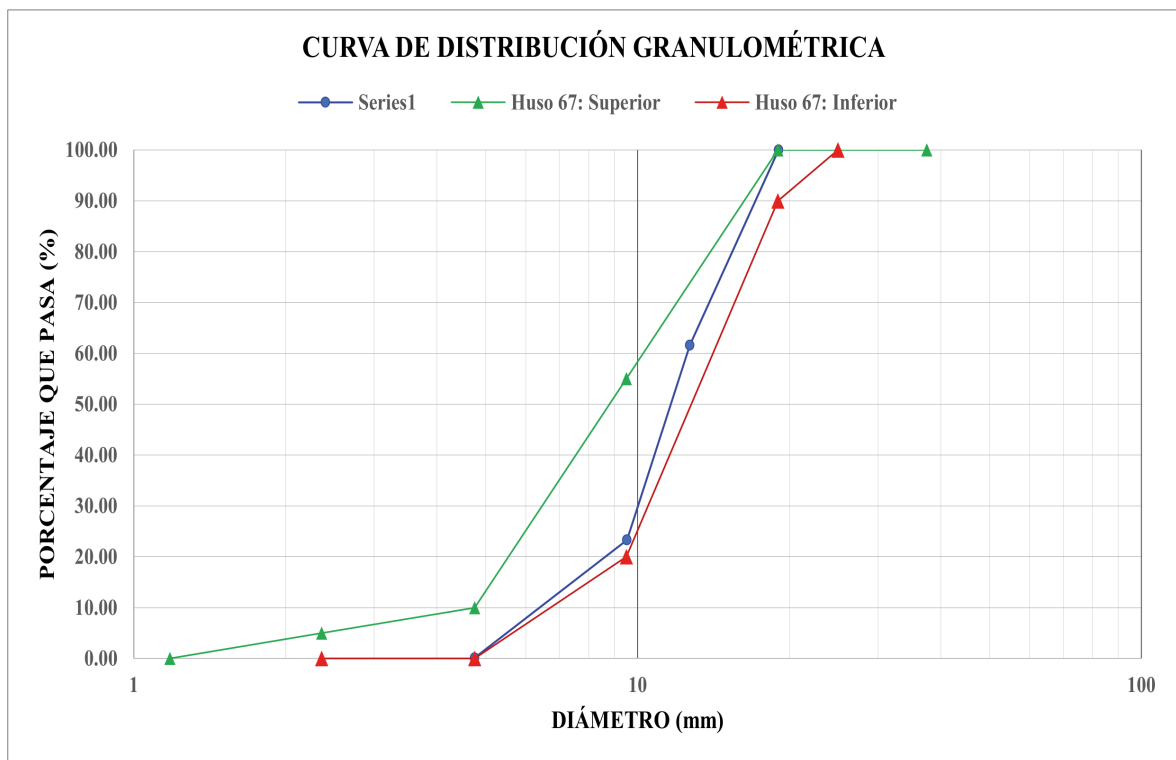


Figura N° 23: Curva de distribución granulométrica del agregado grueso - Ensayo N° 02

Tabla N° 32: Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso - Ensayo N° 03 (NTP 400.012 / ASTM C136)

| Peso Seco Inicial (g)   |               |                            | 4000               |                      |            |
|-------------------------|---------------|----------------------------|--------------------|----------------------|------------|
| Tamiz                   |               | Peso Retenido Parcial (gr) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Que Pasa |
| N°                      | Abertura (mm) |                            |                    |                      |            |
| 3/4"                    | 19.05         | 0.00                       | 0.00               | 0.00                 | 100.00     |
| 1/2"                    | 12.7          | 1616.00                    | 40.40              | 40.40                | 59.60      |
| 3/8"                    | 9.53          | 1574.00                    | 39.35              | 79.75                | 20.25      |
| N°4                     | 4.75          | 808.00                     | 20.20              | 99.95                | 0.05       |
| Cazoleta                | -----         | 2.00                       | 0.05               | 100.00               | 0.00       |
| <b>Total</b>            |               | <b>4000.00</b>             |                    |                      |            |
| <b>Módulo de Finura</b> |               |                            | <b>6.795</b>       |                      |            |

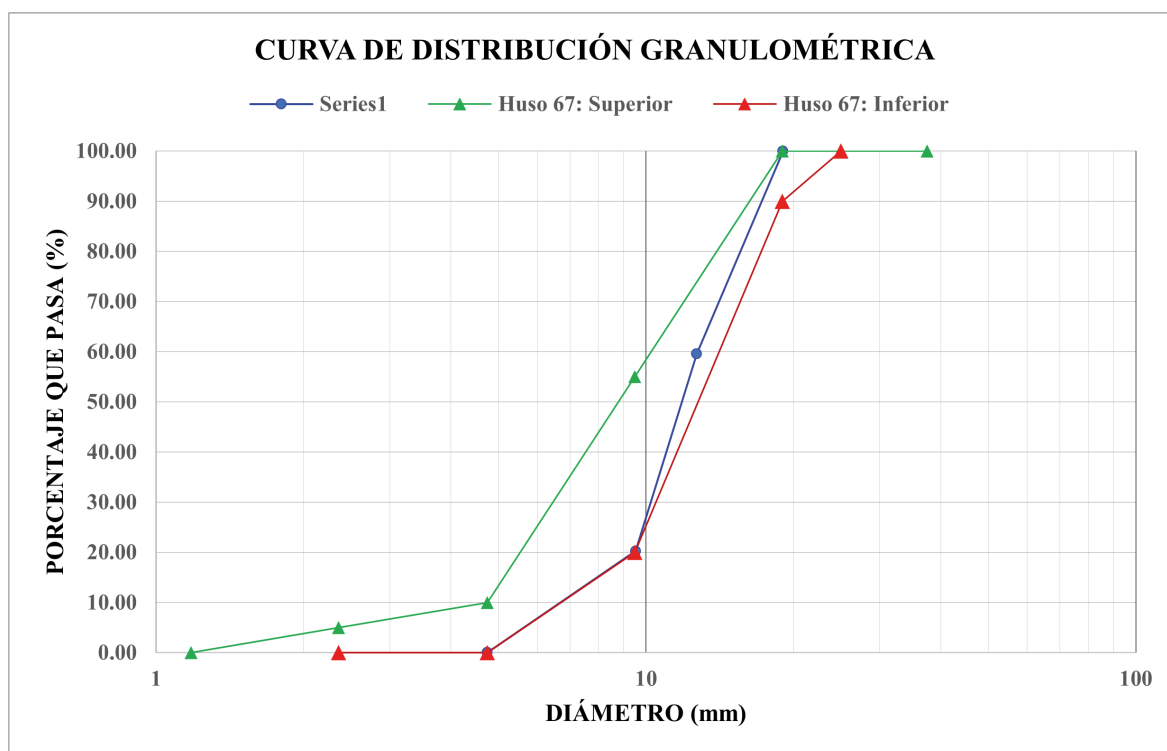


Figura N° 24: Curva de distribución granulométrica del agregado grueso - Ensayo N° 03

De los ensayos realizados, se determina que:

**Módulo de finura promedio = 6.779**

## A.2.2 Peso Específico y Absorción

Tabla N° 33: Ensayo peso específico y absorción del agregado grueso (NTP 400.021 / ASTM C127)

| Descripción  | M-1          | M-2          | M-3          | Promedio     |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| (A) Peso en el aire de muestra seca al horno (g)     | 2967.9       | 2967.3       | 2967.6       |              |
| (B) Peso en el aire de muestra SSS (g)               | 3000         | 3000         | 3000         |              |
| Peso de muestra SSS + canastilla sumergida           | 2741.1       | 2740.2       | 2741.2       |              |
| Peso canastilla sumergida                            | 874          | 874          | 874          |              |
| (C) Peso en el agua de muestra saturada (g)          | 1867.1       | 1866.2       | 1867.2       |              |
| <b>Peso Específico de Masa (g/m<sup>3</sup>)</b>     | <b>2.620</b> | <b>2.617</b> | <b>2.620</b> | <b>2.619</b> |
| <b>Peso Específico de Masa SSS (g/m<sup>3</sup>)</b> | <b>2.648</b> | <b>2.646</b> | <b>2.648</b> | <b>2.647</b> |
| <b>Peso Específico Aparente (g/m<sup>3</sup>)</b>    | <b>2.696</b> | <b>2.695</b> | <b>2.697</b> | <b>2.696</b> |
| <b>Absorción (%)</b>                                 | <b>1.08</b>  | <b>1.10</b>  | <b>1.09</b>  | <b>1.09</b>  |

## A.2.3 Peso Unitario

### A.2.3.1 Peso Específico del Agua

Tabla N° 34: Determinación de peso específico del agua

| Descripción  | M-1           | M-2           | M-3           | Promedio      |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Peso de fiola (g)                                  | 192.02        | 192.02        | 192.02        |               |
| Peso de fiola + agua (g)                           | 690.2         | 690.1         | 690.3         |               |
| Volumen de fiola (cm <sup>3</sup> )                | 500           | 500           | 500           |               |
| Peso específico de agua (g/cm <sup>3</sup> )       | 0.99636       | 0.99616       | 0.99656       | 0.996         |
| <b>Peso específico de agua (kg/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>996.36</b> | <b>996.16</b> | <b>996.56</b> | <b>996.36</b> |

### A.2.3.2 Factor "F" del recipiente

Tabla N° 35: Determinación de factor "F" para recipiente de agregado grueso

| Descripción                         | M-1            | M-2            | M-3            | Promedio       |
|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Peso de Molde (g)                   | 4222           | 4222           | 4222           |                |
| Peso de Molde + Agua (g)            | 13775          | 13775.2        | 13774.8        |                |
| Peso Agua (Kg)                      | 9.553          | 9.5532         | 9.5528         | 9.553          |
| <b>Factor "F" (1/m<sup>3</sup>)</b> | <b>104.298</b> | <b>104.296</b> | <b>104.300</b> | <b>104.298</b> |

### A.2.3.3 Peso Unitario Suelto Seco

Tabla N° 36: Ensayo de peso unitario suelto seco de agregado grueso (NTP 400.017 / ASTM C29)

| Descripción                                    | M-1         | M-2         | M-3         | Promedio    |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso del Recipiente (g)                        | 4222        | 4222        | 4222        |             |
| Peso de muestra suelta + recipiente (g)        | 17241       | 17356       | 17377       |             |
| Peso de muestra suelta (g)                     | 13019       | 13134       | 13155       |             |
| Factor F (1/m <sup>3</sup> )                   | 104.298     | 104.298     | 104.298     |             |
| Peso Unitario Suelto Seco (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.358       | 1.370       | 1.372       | 1.367       |
| <b>PUSS (Kg/m<sup>3</sup>)</b>                 | <b>1358</b> | <b>1370</b> | <b>1372</b> | <b>1367</b> |

### A.2.3.4 Peso Unitario Compactado

Tabla N° 37: Ensayo de peso unitario seco compactado de agregado grueso (NTP 400.017 / ASTM C29)

| Descripción                                   | M-1         | M-2         | M-3         | Promedio    |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso del Recipiente (g)                       | 4222        | 4222        | 4222        |             |
| Peso de muestra compactada + recipiente (g)   | 18422       | 18322       | 18422       |             |
| Peso de muestra compactada (g)                | 14200       | 14100       | 14200       |             |
| Factor (F)                                    | 104.298     | 104.298     | 104.298     |             |
| Peso Unitario Compactado (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.481       | 1.471       | 1.481       | 1.478       |
| <b>PUCS (Kg/m<sup>3</sup>)</b>                | <b>1481</b> | <b>1471</b> | <b>1481</b> | <b>1478</b> |

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

Tabla N° 38: Ensayo peso específico y absorción del agregado grueso (NTP 400.018 / ASTM C117)

| Descripción                                   | M-1         | M-2         | M-3         | Promedio    |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso de muestra original (g)                  | 3000        | 3000        | 3000        |             |
| Peso de muestra lavada (g)                    | 2991.4      | 2992.3      | 2991.5      |             |
| Peso del material que pasa el tamiz N°200 (g) | 8.6         | 7.7         | 8.5         |             |
| <b>Material que pasa el Tamiz N° 200 (%)</b>  | <b>0.29</b> | <b>0.26</b> | <b>0.28</b> | <b>0.28</b> |

### A.2.5 Contenido de Humedad (%)

Tabla N° 39: Ensayo contenido de humedad de agregado grueso (NTP 339.185 / ASTM C566)

| Descripción                              | M-1         | M-2         | M-3         | Promedio    |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso del recipiente (g)                  | 353         | 357         | 358         |             |
| Peso del recipiente + muestra húmeda (g) | 1323        | 1421        | 1385        |             |
| Peso del recipiente + muestra seca (g)   | 1306        | 1407        | 1369        |             |
| Peso del agua (g)                        | 17          | 14          | 16          |             |
| Peso de muestra seca (g)                 | 953         | 1050        | 1011        |             |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>          | <b>1.78</b> | <b>1.33</b> | <b>1.58</b> | <b>1.57</b> |

### A.2.6 Abrasión

Tabla N° 40: Ensayo de abrasión del agregado grueso (NTP 400.019 / ASTM C131)

| Gradación - Equipo Mecánico                                   | N° de Esferas | Velocidad (rev./min) | N° de Rev    | Tamaño Máx. | Peso de la Muestra |
|---|---------------|----------------------|--------------|-------------|--------------------|
| B - Máquina de los Ángeles                                    | 11            | 30 - 33              | 500          | 1/2"        | 5000               |
| <b>N° DE ENSAYOS</b>  |               |                      | <b>1°</b>    | <b>2°</b>   | <b>3°</b>          |
| 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) |               |                      | 3633         | 3621        | 3632               |
| $\% \text{ Desgaste} = ((P_i - P_f) / P_i) \times 100$        |               |                      | 27.34        | 27.58       | 27.36              |
| <b>% Desgaste Promedio</b>                                    |               |                      | <b>27.43</b> |             |                    |



### A.3 Agregado Grueso Reciclado

Tabla N° 41: Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso reciclado, obtenido mediante trituración de fragmento de concreto demolido - Ensayo N° 01 (NTP 400.012 / ASTM C136)

| Peso Seco Inicial (g)   |               |                            | 4000               |                      |            |
|-------------------------|---------------|----------------------------|--------------------|----------------------|------------|
| Tamiz                   |               | Peso Retenido Parcial (gr) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Que Pasa |
| N°                      | Abertura (mm) |                            |                    |                      |            |
| 3/4"                    | 19.05         | 0.00                       | 0.00               | 0.00                 | 100.00     |
| 1/2"                    | 12.7          | 1782.00                    | 44.55              | 44.55                | 55.45      |
| 3/8"                    | 9.53          | 1231.00                    | 30.78              | 75.33                | 24.68      |
| N°4                     | 4.75          | 970.00                     | 24.25              | 99.58                | 0.42       |
| Cazoleta                | ----          | 17.00                      | 0.43               | 100.00               | 0.00       |
| <b>Total</b>            |               | <b>4000.00</b>             |                    |                      |            |
| <b>Módulo de Finura</b> |               |                            |                    | <b>6.728</b>         |            |

Tabla N° 42: Curva de distribución granulométrica del agregado grueso, obtenido mediante trituración de fragmento de concreto demolido - Ensayo N° 01

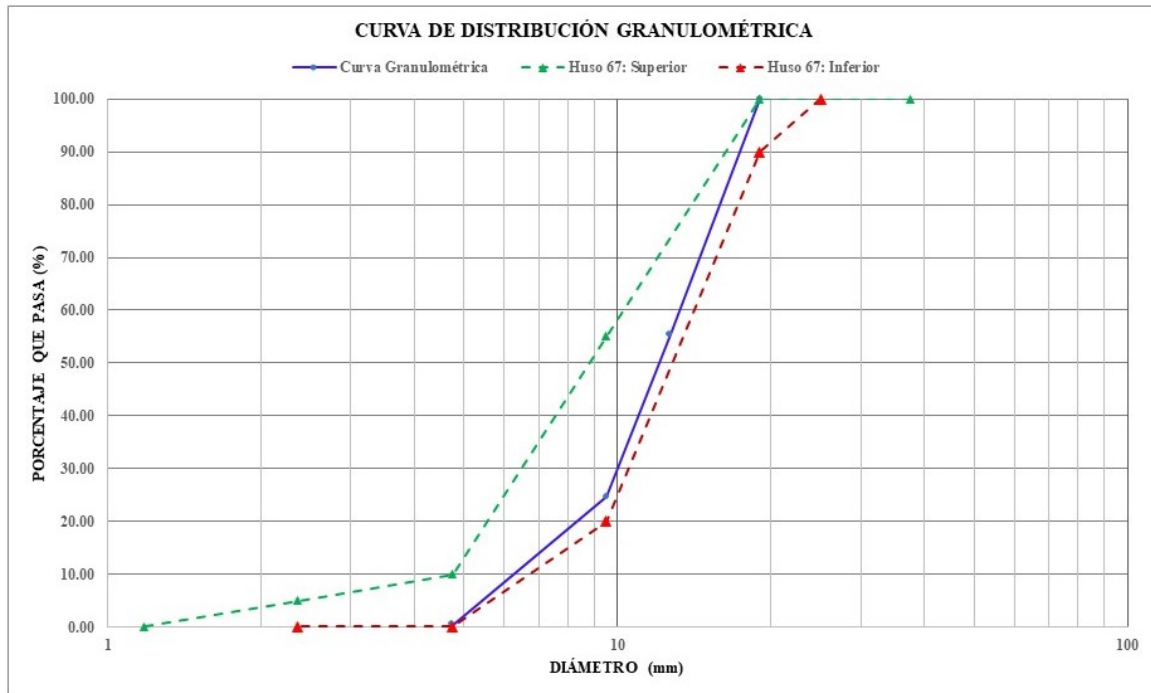


Tabla N° 43: Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso reciclado, obtenido mediante trituración de fragmento de concreto demolido - Ensayo N° 02 (NTP 400.012 / ASTM C136)

| Peso Seco Inicial (g)   |               |                            | 4000               |                      |            |
|-------------------------|---------------|----------------------------|--------------------|----------------------|------------|
| Tamiz                   |               | Peso Retenido Parcial (gr) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Que Pasa |
| N°                      | Abertura (mm) |                            |                    |                      |            |
| 3/4"                    | 19.05         | 0.00                       | 0.00               | 0.00                 | 100.00     |
| 1/2"                    | 12.7          | 1789.00                    | 44.73              | 44.73                | 55.28      |
| 3/8"                    | 9.53          | 1229.00                    | 30.73              | 75.45                | 24.55      |
| N°4                     | 4.75          | 962.00                     | 24.05              | 99.50                | 0.50       |
| Cazoleta                | -----         | 20.00                      | 0.50               | 100.00               | 0.00       |
| <b>Total</b>            |               | <b>4000.00</b>             |                    |                      |            |
| <b>Módulo de Finura</b> |               |                            |                    | <b>6.725</b>         |            |

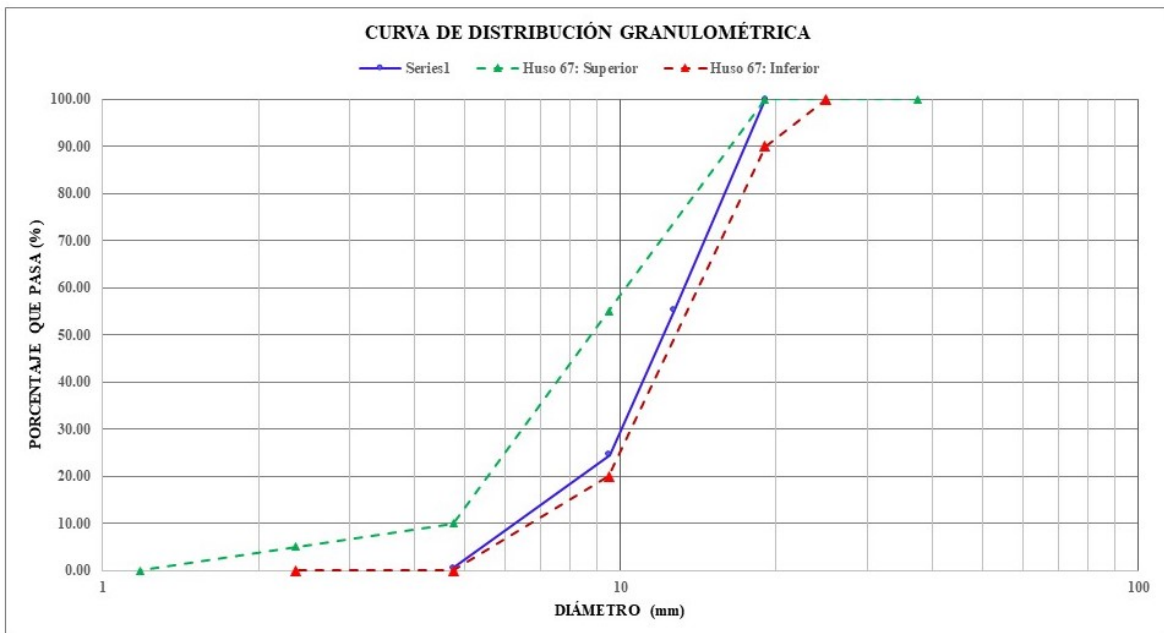


Figura N° 25: Curva de distribución granulométrica del agregado grueso reciclado, obtenido mediante trituración de fragmento de concreto demolido - Ensayo N° 02

Tabla N° 44: Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso reciclado, obtenido mediante trituración de fragmento de concreto demolido - Ensayo N° 03 (NTP 400.012 / ASTM C136)

| Peso Seco Inicial (g)   |               |                            | 4000               |                      |            |
|-------------------------|---------------|----------------------------|--------------------|----------------------|------------|
| Tamiz                   |               | Peso Retenido Parcial (gr) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Que Pasa |
| N°                      | Abertura (mm) |                            |                    |                      |            |
| 3/4"                    | 19.05         | 0.00                       | 0.00               | 0.00                 | 100.00     |
| 1/2"                    | 12.7          | 1795.00                    | 44.83              | 44.83                | 55.17      |
| 3/8"                    | 9.53          | 1247.00                    | 31.14              | 75.97                | 24.03      |
| N°4                     | 4.75          | 943.00                     | 23.55              | 99.53                | 0.47       |
| Cazoleta                | -----         | 19.00                      | 0.47               | 100.00               | 0.00       |
| <b>Total</b>            |               | <b>4004.00</b>             |                    |                      |            |
| <b>Módulo de Finura</b> |               |                            |                    | <b>6.731</b>         |            |

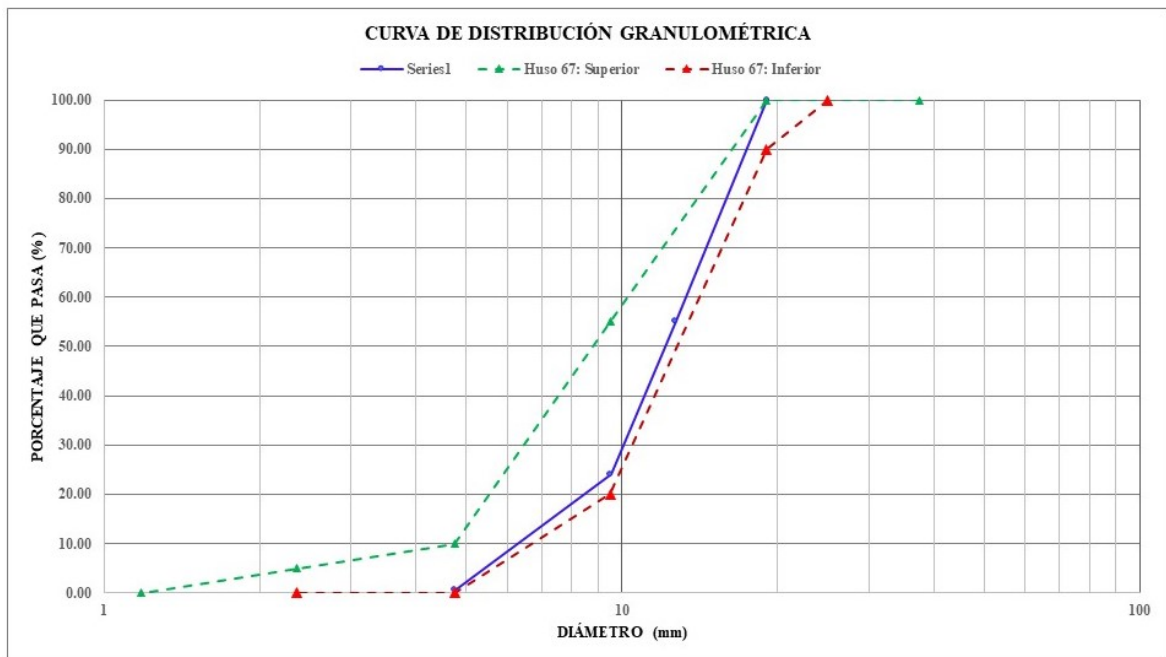


Figura N° 26: Curva de distribución granulométrica del agregado grueso reciclado, obtenido mediante trituración de fragmento de concreto demolido - Ensayo N° 03

De los ensayos realizados, se determina que:

**Módulo de finura promedio = 6.728**

### A.3.1 Peso Específico y Absorción

Tabla N° 45: Ensayo peso específico y absorción del agregado grueso reciclado, obtenido mediante trituración de fragmentos de concreto demolido (NTP 400.021 / ASTM C127)

| Descripción  | M-1          | M-2          | M-3          | Promedio     |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| (A) Peso en el aire de muestra seca al horno (g)     | 1918         | 1918.1       | 1918.3       |              |
| (B) Peso en el aire de muestra SSS (g)               | 2025         | 2025         | 2025         |              |
| Peso de muestra SSS + canastilla sumergida           | 1885         | 1885.3       | 1884.8       |              |
| Peso canastilla sumergida                            | 689          | 689          | 689          |              |
| (C) Peso en el agua de muestra saturada (g)          | 1196         | 1196.3       | 1195.8       |              |
| <b>Peso Específico de Masa (g/m<sup>3</sup>)</b>     | <b>2.313</b> | <b>2.315</b> | <b>2.313</b> | <b>2.314</b> |
| <b>Peso Específico de Masa SSS (g/m<sup>3</sup>)</b> | <b>2.443</b> | <b>2.444</b> | <b>2.442</b> | <b>2.443</b> |
| <b>Peso Específico Aparente (g/m<sup>3</sup>)</b>    | <b>2.657</b> | <b>2.657</b> | <b>2.655</b> | <b>2.657</b> |
| <b>Absorción (%)</b>                                 | <b>5.60</b>  | <b>5.57</b>  | <b>5.56</b>  | <b>5.58</b>  |

### A.3.2 Peso Unitario

#### A.3.2.1 Peso Específico del Agua

Tabla N° 46: Determinación de peso específico del agua

| Descripción  | M-1           | M-2           | M-3           | Promedio      |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Peso de fiola (g)                                  | 192.02        | 192.02        | 192.02        |               |
| Peso de fiola + agua (g)                           | 690.2         | 690.1         | 690.3         |               |
| Volumen de fiola (cm <sup>3</sup> )                | 500           | 500           | 500           |               |
| Peso específico de agua (g/cm <sup>3</sup> )       | 0.99636       | 0.99616       | 0.99656       | 0.996         |
| <b>Peso específico de agua (kg/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>996.36</b> | <b>996.16</b> | <b>996.56</b> | <b>996.36</b> |

#### A.3.2.2 Factor "F" del recipiente

Tabla N° 47: Determinación de factor "F" para recipiente de agregado grueso

| Descripción                         | M-1            | M-2            | M-3            | Promedio       |
|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Peso de Molde (g)                   | 4222           | 4222           | 4222           |                |
| Peso de Molde + Agua (g)            | 13775          | 13775.2        | 13774.8        |                |
| Peso Agua (Kg)                      | 9.553          | 9.5532         | 9.5528         | 9.553          |
| <b>Factor "F" (1/m<sup>3</sup>)</b> | <b>104.298</b> | <b>104.296</b> | <b>104.300</b> | <b>104.298</b> |

### A.3.2.3 Peso Unitario Suelto Seco

Tabla N° 48: Ensayo de peso unitario suelto seco de agregado grueso reciclado, obtenido mediante trituración de fragmento de concreto demolido (NTP 400.017 / ASTM C29)

| Descripción                                    | M-1         | M-2         | M-3         | Promedio    |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso del Recipiente (g)                        | 4222        | 4222        | 4222        |             |
| Peso de muestra suelta + recipiente (g)        | 16342       | 16396       | 16385       |             |
| Peso de muestra suelta (g)                     | 12120       | 12174       | 12163       |             |
| Factor F (1/m <sup>3</sup> )                   | 104.298     | 104.298     | 104.298     |             |
| Peso Unitario Suelto Seco (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.264       | 1.270       | 1.269       | 1.267       |
| <b>PUSS (Kg/m<sup>3</sup>)</b>                 | <b>1264</b> | <b>1270</b> | <b>1269</b> | <b>1267</b> |

### A.3.2.4 Peso Unitario Compactado

Tabla N° 49: Ensayo de peso unitario seco compactado de agregado grueso reciclado, obtenido mediante trituración de fragmento de concreto demolido (NTP 400.017 / ASTM C29)

| Descripción                                   | M-1         | M-2         | M-3         | Promedio    |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso del Recipiente (g)                       | 4222        | 4222        | 4222        |             |
| Peso de muestra compactada + recipiente (g)   | 17421       | 17451       | 17415       |             |
| Peso de muestra compactada (g)                | 13199       | 13229       | 13193       |             |
| Factor (F)                                    | 104.298     | 104.298     | 104.298     |             |
| Peso Unitario Compactado (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.377       | 1.380       | 1.376       | 1.377       |
| <b>PUCS (Kg/m<sup>3</sup>)</b>                | <b>1377</b> | <b>1380</b> | <b>1376</b> | <b>1377</b> |

### A.3.3 Material más fino que pasa el tamiz N° 200

Tabla N° 50: Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado grueso reciclado, obtenido mediante trituración de fragmento de concreto demolido (NTP 400.021 / ASTM C127)

| Descripción                                   | M-1         | M-2         | M-3         | Promedio    |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso de muestra original (g)                  | 3000        | 3000        | 3000        |             |
| Peso de muestra lavada (g)                    | 2978        | 2977        | 2980        |             |
| Peso del material que pasa el tamiz N°200 (g) | 22          | 23          | 20          |             |
| <b>Material que pasa el Tamiz N° 200 (%)</b>  | <b>0.73</b> | <b>0.77</b> | <b>0.67</b> | <b>0.72</b> |

### A.3.4 Contenido de Humedad (%)

Tabla N° 51: Contenido de humedad del agregado grueso reciclado, obtenido mediante trituración de fragmento de concreto demolido (NTP 400.021 / ASTM C127)

| Descripción                              | M-1         | M-2         | M-3         | Promedio    |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso del recipiente (g)                  | 67          | 66          | 71          |             |
| Peso del recipiente + muestra húmeda (g) | 412         | 419         | 421         |             |
| Peso del recipiente + muestra seca (g)   | 405         | 413         | 412         |             |
| Peso del agua (g)                        | 7           | 6           | 9           |             |
| Peso de muestra seca (g)                 | 338         | 347         | 341         |             |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>          | <b>2.07</b> | <b>1.73</b> | <b>2.64</b> | <b>2.15</b> |

### A.3.5 Abrasión

Tabla N° 52: Ensayo de abrasión de agregado grueso reciclado, obtenido mediante trituración de fragmento de concreto demolido (NTP 400.021 / ASTM C127)





| Gradación - Equipo Mecánico                                   | N° de Esferas | Velocidad (rev./min) | N° de Rev    | Tamaño Máx. Nominal | Peso de la Muestra (g) |
|---|---------------|----------------------|--------------|---------------------|------------------------|
| B - Máquina de los Ángeles                                    | 11            | 30 - 33              | 500          | 1/2"                | 5000                   |
| <b>N° DE ENSAYOS</b>  |               |                      | <b>1°</b>    | <b>2°</b>           | <b>3°</b>              |
| 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) |               |                      | 3280         | 3269                | 3271                   |
| $\% \text{ Desgaste} = ((P_i - P_f) / P_i) \times 100$        |               |                      | 34.40        | 34.62               | 34.58                  |
| <b>% Desgaste Promedio</b>                                    |               |                      | <b>34.53</b> |                     |                        |





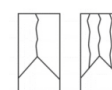


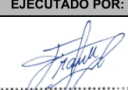
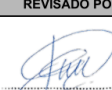

## B. Ensayos de Diamantina

### B.1 Ensayo de diamantina Jr. Del Batán Cdra.1

Código: VCF-FOR-022 | Fecha: 01/11/2022 | Versión: 01 | Aprobación: GG | Página: 01 de 01

|    |                                      | INFORME DE ENSAYO  |  | INFORME No.:   |
|---|--------------------------------------|--|--|--|
|   |                                      |  | VCF-INF-2023-012   |  |
| <b>1. INFORMACIÓN DEL CLIENTE (*)</b>   |                                      | <b>2. INFORMACIÓN DEL PROYECTO (*)</b>   |  |  |
| <b>Razón Social :</b>   | Bach. Biler Esmith Bustamante Medina | <b>Proyecto (*):</b>   | "INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA 2022" |  |
| <b>RUC :</b>  | 10729310021                          | <b>Ubicación (*):</b>  | JR. DEL BATÁN CDRA. 01   |  |
| <b>Dirección :</b>  | Jr. Beato Masías 322                 | <b>3. LINEA DE TIEMPO DEL SERVICIO</b>   |  |  |
| <b>Página web :</b>   | -                                    | <b>Muestreo (*) :</b>  | 2023-02-09   |  |
| <b>Contacto :</b>   | Bach. Biler Esmith Bustamante Medina | <b>Recepción de muestra :</b>  | 2023-02-09   |  |
| <b>Cargo :</b>  | Tesista                              | <b>Inicio de ensayos :</b>   | 2023-02-11   |  |
| <b>Celular :</b>  | 931 651 299                          | <b>Fin de ensayos :</b>  | 2023-02-11   |  |
| <b>e-mail :</b>   | bbustamantem16_1@unc.edu.pe          | <b>Emisión de informe :</b>  | 2023-02-13   |  |
| <b>4. INFORMACIÓN DE ÍTEMS DE ENSAYO</b>  |                                      |  |  |  |
| - GRUPO VICAF SAC. ha participado en la etapa de muestreo.<br>- Las muestras han sido tomadas por el laboratorio de GRUPO VICAF SAC.; los resultados emitidos corresponden a los ensayos realizados a estas.<br>- No se almacena contramuestra por ser un ensayo destructivo.       |                                      |  |  |  |
| <b>Tabla No.01. ÍTEMS DE ENSAYO</b>   |                                      |  |  |  |
| ID (CLIENTE)  |                                      | ID (LABORATORIO)   |  | CANTIDAD   |
| M-01  |                                      | V-M-2023-012   |  | 1  |
| TIPO  |                                      | Núcleo de concreto   |  |  |
| <b>Notas:</b> -   |                                      |  |  |  |
| <b>5. MÉTODOS DE ENSAYO EJECUTADOS</b>  |                                      |  |  |  |
| <b>Tabla No.02. ENSAYOS EJECUTADOS</b>  |                                      |  |  |  |
| ENSAYO  |                                      | NORMA  |  | CANTIDAD   |
| Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto   |                                      | ASTM C39/C39M-21   |  | 1  |
| <b>NOTA:</b> Los ensayos indicados en la Tabla No. 02 han sido realizados en el laboratorio de GRUPO VICAF SAC., ubicado en Jr. Los Topacios 440 - Cajamarca, de acuerdo con las normas Estandarizadas señaladas.   |                                      |  |  |  |
| <b>6. NOTAS</b>   |                                      |  |  |  |
| - (*) Información proporcionada por el cliente.<br>- Los informes tienen validez únicamente si incluyen la firma y sello del profesional responsable.<br>- El presente informe no puede ser difundido de manera parcial, ni se aceptan modificaciones en los resultados reportados. |                                      | - Los resultados emitidos no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas de producto o certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.<br>- Código de Informe al que reemplaza: <b>No aplica</b><br>- Motivo del reemplazo de informe: <b>No aplica</b> |  |  |
| <b>7. PERSONAL RESPONSABLE</b>  |                                      |  |  |  |
| <b>TÉCNICOS DE LABORATORIO</b>  |                                      | <b>JEFE DE LABORATORIO</b>   |  | <b>SUPERVISOR DE LABORATORIO</b>   |
| <br>Frank Junior González Vasquez<br>Ingeniero Civil<br>Reg. CIP N° 211190   |                                      | <br>GRUPO VICAF SAC<br>Jessica Raquel Riojas Ortiz<br>JEFE DE LABORATORIO   |  | <br>Villy Nuñez Mejía |





Código: VCF-FOR-022 | Fecha: 14/12/2022 | Versión: 01 | Aprobación: JL | Página: 01 de 01



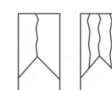




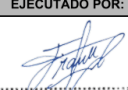
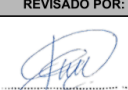

|   |  | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO<br>(ASTM C39/C39M - 21)   |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|--|--|--|---|--|--|--|--|---------|-------|----|----------|----------|----|---------|---------|
|  |  | Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens <sup>1</sup>   |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>DATOS DEL CLIENTE</b>   |  |  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Cliente :  | Bach. Biler Esmith Bustamante Medina   | Código de Informe No. :  | VCF-INF-2023-012  |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Proyecto (*) :   | "INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA 2022" | Técnico Encargado :  | Ing. Frank Gonzáles   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Ubicación (*) :  | Cajamarca - Cajamarca  | Clima (*) :  | Soleado   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Muestreado por (*) :   | Ing. Frank Gonzáles  |  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA ENSAYADA</b>   |  |  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Tipo (*)   | Elemento Estructural (*)   | Resistencia de Diseño $f_c$ (*)  | ID de Cliente (*)   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Núcleo de concreto   | Pavimento rígido   | -  | M-01  |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>FECHAS</b>  |  |  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Fabricación (*)  | Recepción  | Inicio de Ensayo   | Fin de Ensayo   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| ----   | 2023-02-09   | 2023-02-11   | 2023-02-11  |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">COND. AMBIENTALES</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Inicial</th> <th>Final</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T°</td> <td>18,43 °C</td> <td>18,43 °C</td> </tr> <tr> <td>HR</td> <td>73,99 %</td> <td>73,99 %</td> </tr> </tbody> </table> |  |  |   | COND. AMBIENTALES  |  |  |  | Inicial | Final | T° | 18,43 °C | 18,43 °C | HR | 73,99 % | 73,99 % |
| COND. AMBIENTALES  |  |  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  | Inicial  | Final  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| T°   | 18,43 °C   | 18,43 °C   |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| HR   | 73,99 %  | 73,99 %  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>DATOS DEL CILINDRO A ENSAYAR</b>  |  | <b>ESQUEMAS DE FRACTURA TÍPICAS</b>  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Muestra No.  | --   | M-01   |  <p><b>TIPO 1</b><br/>Conos razonablemente bien formados en ambos extremos, menos de 1in de agrietamiento a través de</p>                                   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Edad de la muestra (*)   | días   | -  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Masa   | g  | 675,03   |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Diámetro   | mm   | D1 = 74,79   |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  | mm   | D2 = 74,71   |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Altura   | mm   | H1 = 76,62   |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  | mm   | H2 = 76,45   |  <p><b>TIPO 2</b><br/>Cono bien formado en un extremo, grietas verticales que atraviesan las tapas, no presenta cono bien definido en el otro extremo.</p> |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  | mm   | H3 = 76,51   |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  |  |  |   |  <p><b>TIPO 3</b><br/>Agrietamiento vertical columnar en ambos extremos, sin conos bien formados.</p> |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>RESULTADOS DE ENSAYO</b>  |  |  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Diámetro promedio  | mm   | 74,75  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Altura promedio  | mm   | 76,53  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Área de la sección transversal   | mm <sup>2</sup>  | 4388,47  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Relación L/D   | --   | 1,02   |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Factor   | --   | 0,88   |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Carga Máxima Registrada  | kN   | 58,77  |  <p><b>TIPO 4</b><br/>Fractura diagonal sin agrietamiento en los extremos; golpee con un martillo para distinguir del Tipo 1.</p>                         |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Resistencia a la compresión  | Mpa  | 11,65  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Resistencia a la compresión  | kg/cm <sup>2</sup>   | 118,81   |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Porcentaje obtenido  | %  | -  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Tipo de fractura   | --   | Tipo 3   |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Peso Unitario  | g/cm <sup>3</sup>  | 2,01   |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Defectos del Cilindro Ensayado:  |  |  | -   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>OBSERVACIONES</b>   |  |  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| (*) Los datos indicados han sido proporcionados por el Cliente.  |  |  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>IDENTIFICACIÓN DE EQUIPAMIENTO EMPLEADO</b>   |  |  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| ID Máquina de Ensayo :   | PERUTEST, Modelo: STYE-2000, Serie: 210530   | ID Termómetro :  | VCF-EQ-TD-001   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| ID Bernier:  | VCF-EQ-VER-002   | ID Termohigrómetro:  | VCF-EQ-TMG-001  |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| ID Balanza:  | VCF-EQ-BAL-003   |  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>EJECUTADO POR:</b>  |  |  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>REVISADO POR:</b>   |  |  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>APROBADO POR:</b>   |  |  |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <br>Frank Junior Gonzáles Vasquez<br>Ingeniero Civil<br>Reg. CIP N° 211190<br>TÉCNICO LABORATORIO   | <br>GRUPO VICA F SAC<br>Jessica Raquel Riojas Ortiz<br>JEFE DE LABORATORIO<br>JEFE LABORATORIO    | <br>Villy Nuñez Mejía<br>SUPERVISOR LABORATORIO |   |  |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |



## B.2 Ensayo de diamantina Jr. Silva Santisteban Cdra.8











Código: VCF-FOR-022 | Fecha: 01/11/2022 | Versión: 01 | Aprobación: GG | Página: 01 de 01



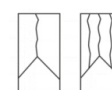




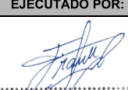
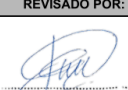

|    |   | <b>INFORME DE ENSAYO</b>  |  | <b>INFORME No.:</b>  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
|---|---|---|--|--|----------|---|------------------|---|--------------------|---|--|--|--|
|   |   |   |  | <b>VCF-INF-2023-013</b>  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>1. INFORMACIÓN DEL CLIENTE (*)</b>   |   |   | <b>2. INFORMACIÓN DEL PROYECTO (*)</b>   |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>Razón Social :</b><br><b>RUC :</b><br><b>Dirección :</b><br><b>Página web :</b><br><b>Contacto :</b><br><b>Cargo :</b><br><b>Celular :</b><br><b>e-mail :</b>  | Bach. Biler Esmith Bustamante Medina<br>10729310021<br>Jr. Beato Masías 322<br>-<br>Bach. Biler Esmith Bustamante Medina<br>Tesista<br>931 651 299<br>bbustamantem16_1@unc.edu.pe |   | <b>Proyecto (*):</b> "INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA 2022"<br><br><b>Ubicación (*):</b> JR. SILVA SANTISTEBAN CDRA. 08                          |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>3. LINEA DE TIEMPO DEL SERVICIO</b>  |   |   |  |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>Muestreo (*) :</b> 2023-02-09<br><b>Recepción de muestra :</b> 2023-02-09<br><b>Inicio de ensayos :</b> 2023-02-11<br><b>Fin de ensayos :</b> 2023-02-11<br><b>Emisión de informe :</b> 2023-02-13   |   |   |  |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>4. INFORMACIÓN DE ÍTEMS DE ENSAYO</b>  |   |   |  |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| - GRUPO VICAF SAC. ha participado en la etapa de muestreo.<br>- Las muestras han sido tomadas por el laboratorio de GRUPO VICAF SAC.; los resultados emitidos corresponden a los ensayos realizados a estas.<br>- No se almacena contramuestra por ser un ensayo destructivo.       |   |   |  |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>Tabla No.01. ÍTEMS DE ENSAYO</b>   |   |   |  |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>ID (CLIENTE)</th> <th>ID (LABORATORIO)</th> <th>CANTIDAD</th> <th>TIPO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M-02</td> <td>V-M-2023-013</td> <td>1</td> <td>Núcleo de concreto</td> </tr> </tbody> </table>                                      |   | ID (CLIENTE)  | ID (LABORATORIO)   | CANTIDAD   | TIPO     | M-02  | V-M-2023-013     | 1 | Núcleo de concreto | <b>Notas:</b> -   |  |  |  |
| ID (CLIENTE)  | ID (LABORATORIO)  | CANTIDAD  | TIPO   |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| M-02  | V-M-2023-013  | 1   | Núcleo de concreto   |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>5. MÉTODOS DE ENSAYO EJECUTADOS</b>  |   |   |  |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>Tabla No.02. ENSAYOS EJECUTADOS</b>  |   |   |  |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>ENSAYO</th> <th>NORMA</th> <th>MÉTODO</th> <th>CANTIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto</td> <td>ASTM C39/C39M-21</td> <td>-</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>       |   | ENSAYO  | NORMA  | MÉTODO   | CANTIDAD | Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto | ASTM C39/C39M-21 | - | 1                  | <b>NOTA:</b> Los ensayos indicados en la Tabla No. 02 han sido realizados en el laboratorio de GRUPO VICAF SAC., ubicado en Jr. Los Topacios 440 - Cajamarca, de acuerdo con las normas Estandarizadas señaladas. |  |  |  |
| ENSAYO  | NORMA   | MÉTODO  | CANTIDAD   |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto   | ASTM C39/C39M-21  | -   | 1  |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>6. NOTAS</b>   |   |   |  |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| - (*) Información proporcionada por el cliente.<br>- Los informes tienen validez únicamente si incluyen la firma y sello del profesional responsable.<br>- El presente informe no puede ser difundido de manera parcial, ni se aceptan modificaciones en los resultados reportados. |   |   | - Los resultados emitidos no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas de producto o certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.<br>- Cógido de Informe al que reemplaza: <b>No aplica</b><br>- Motivo del reemplazo de informe: <b>No aplica</b> |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>7. PERSONAL RESPONSABLE</b>  |   |   |  |  |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>TÉCNICOS DE LABORATORIO</b>  |   | <b>JEFE DE LABORATORIO</b>  |  | <b>SUPERVISOR DE LABORATORIO</b>   |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |
| <br>Frank Junior González Vasquez<br>Ingeniero Civil<br>Reg. CIP N° 211190   |   | <br>GRUPO VICAF S.A.C.<br>Jessica Raquel Riojas Ortiz<br>JEFE DE LABORATORIO |  | <br>Villy Nuñez Mejía |          |   |                  |   |                    |   |  |  |  |

|   |  | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO<br>(ASTM C39/C39M - 21)  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|--|--|---|--|-------------------|--|--|--|---------|-------|----|----------|----------|----|---------|---------|
|  |  | Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens <sup>1</sup>  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>DATOS DEL CLIENTE</b>   |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Cliente :  | Bach. Biler Esmith Bustamante Medina   | Código de Informe No. :   | VCF-INF-2023-013   |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Proyecto (*) :   | "INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA 2022" | Técnico Encargado :   | Ing. Frank Gonzáles  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Ubicación (*) :  | Cajamarca - Cajamarca  | Clima (*) :   | Soleado  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Muestreado por (*) :   | Ing. Frank Gonzáles  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA ENSAYADA</b>   |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Tipo (*)   | Elemento Estructural (*)   | Resistencia de Diseño $f_c$ (*)   | ID de Cliente (*)  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Núcleo de concreto   | Pavimento rígido   | -   | M-02   |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  |  |   | ID de Laboratorio  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  |  |   | V-M-2023-013   |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>FECHAS</b>  |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Fabricación (*)  | Recepción  | Inicio de Ensayo  | Fin de Ensayo  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| ----   | 2023-02-09   | 2023-02-11  | 2023-02-11   |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  |  |   | Informe  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  |  |   | 2023-02-13   |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">COND. AMBIENTALES</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Inicial</th> <th>Final</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T°</td> <td>18,43 °C</td> <td>18,43 °C</td> </tr> <tr> <td>HR</td> <td>73,99 %</td> <td>73,99 %</td> </tr> </tbody> </table> |  |   |  | COND. AMBIENTALES |  |  |  | Inicial | Final | T° | 18,43 °C | 18,43 °C | HR | 73,99 % | 73,99 % |
| COND. AMBIENTALES  |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  | Inicial  | Final   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| T°   | 18,43 °C   | 18,43 °C  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| HR   | 73,99 %  | 73,99 %   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>DATOS DEL CILINDRO A ENSAYAR</b>  |  | <b>ESQUEMAS DE FRACTURA TÍPICAS</b>   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Muestra No.  | --   | M-02  |  <p><b>TIPO 1</b><br/>Conos razonablemente bien formados en ambos extremos, menos de 1in de agrietamiento a través de</p>  <p><b>TIPO 2</b><br/>Cono bien formado en un extremo, grietas verticales que atraviesan las tapas, no presenta cono bien definido en el otro extremo.</p>  <p><b>TIPO 3</b><br/>Agrietamiento vertical columnar en ambos extremos, sin conos bien formados.</p> |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Edad de la muestra (*)   | días   | -   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Masa   | g  | 955,20  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Diámetro   | mm   | D1 = 74,79  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  | mm   | D2 = 74,76  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Altura   | mm   | H1 = 102,07   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  | mm   | H2 = 102,18   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  | mm   | H3 = 102,11   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>RESULTADOS DE ENSAYO</b>  |  |  <p><b>TIPO 4</b><br/>Fractura diagonal sin agrietamiento en los extremos; golpee con un martillo para distinguir del Tipo 1.</p>  <p><b>TIPO 5</b><br/>Fracturas laterales en la parte superior o inferior (ocurren comúnmente con tapas no adheridas)</p>  <p><b>TIPO 6</b><br/>Similar al tipo 5 pero el extremo del cilindro es puntiagudo.</p> |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Diámetro promedio  | mm   | 74,78   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Altura promedio  | mm   | 102,12  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Área de la sección transversal   | mm <sup>2</sup>  | 4391,40   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Relación L/D   | --   | 1,37  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Factor   | --   | 0,94  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Carga Máxima Registrada  | kN   | 84,14   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Resistencia a la compresión  | Mpa  | 18,01   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Resistencia a la compresión  | kg/cm <sup>2</sup>   | 183,66  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Porcentaje obtenido  | %  | -   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Tipo de fractura   | --   | Tipo 2  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Peso Unitario  | g/cm <sup>3</sup>  | 2,13  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Defectos del Cilindro Ensayado:</b> -   |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>OBSERVACIONES</b>   |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| (*) Los datos indicados han sido proporcionados por el Cliente.  |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>IDENTIFICACIÓN DE EQUIPAMIENTO EMPLEADO</b>   |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| ID Máquina de Ensayo :   | PERUTEST, Modelo: STYE-2000, Serie: 210530   | ID Termómetro :   | VCF-EQ-TD-001  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| ID Bernier:  | VCF-EQ-VER-002   | ID Termohigrómetro:   | VCF-EQ-TMG-001   |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| ID Balanza:  | VCF-EQ-BAL-003   |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>EJECUTADO POR:</b>  |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>REVISADO POR:</b>   |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>APROBADO POR:</b>   |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <br>Frank Junior Gonzáles Vasquez<br>Ingeniero Civil<br>Reg. CIP N° 211190<br>TÉCNICO LABORATORIO   | <br>GRUPO VICAF S.A.C<br>Jessica Raquel Riojas Ortiz<br>JEFE DE LABORATORIO                       | <br>Villy Nuñez Mejía<br>SUPERVISOR LABORATORIO  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |

## B.3 Ensayo de diamantina Jr. Junín Cdra.7

Código: VCF-FOR-022 | Fecha: 01/11/2022 | Versión: 01 | Aprobación: GG | Página: 01 de 01

|   |   | <b>INFORME DE ENSAYO</b>   |   | <b>INFORME No.:</b>       |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
|--|---|--|---|---------------------------|---|---|--|---|--------------------|---|--|--|--|
|  |   |  |   | <b>VCF-INF-2023-014</b>   |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>1. INFORMACIÓN DEL CLIENTE (*)</b>  |   |  | <b>2. INFORMACIÓN DEL PROYECTO (*)</b>  |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>Razón Social :</b><br><b>RUC :</b><br><b>Dirección :</b><br><b>Página web :</b><br><b>Contacto :</b><br><b>Cargo :</b><br><b>Celular :</b><br><b>e-mail :</b>   | Bach. Biler Esmith Bustamante Medina<br>10729310021<br>Jr. Beato Masías 322<br>-<br>Bach. Biler Esmith Bustamante Medina<br>Tesista<br>931 651 299<br>bbustamantem16_1@unc.edu.pe |  | <b>Proyecto (*):</b> "INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA 2022"<br><br><b>Ubicación (*):</b> JR. JUNIN CDRA. 07 |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>3. LINEA DE TIEMPO DEL SERVICIO</b>   |   |  |   |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>Muestreo (*) :</b> 2023-02-09<br><b>Recepción de muestra :</b> 2023-02-09<br><b>Inicio de ensayos :</b> 2023-02-11<br><b>Fin de ensayos :</b> 2023-02-11<br><b>Emisión de informe :</b> 2023-02-13  |   |  |   |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>4. INFORMACIÓN DE ÍTEMS DE ENSAYO</b>   |   |  |   |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| - GRUPO VICAF SAC. ha participado en la etapa de muestreo.<br>- Las muestras han sido tomadas por el laboratorio de GRUPO VICAF SAC.; los resultados emitidos corresponden a los ensayos realizados a estas.<br>- No se almacena contramuestra por ser un ensayo destructivo.  |   |  |   |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>Tabla No.01. ÍTEMS DE ENSAYO</b>  |   |  |   |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>ID (CLIENTE)</th> <th>ID (LABORATORIO)</th> <th>CANTIDAD</th> <th>TIPO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M-03</td> <td>V-M-2023-014</td> <td>1</td> <td>Núcleo de concreto</td> </tr> </tbody> </table>   |   | ID (CLIENTE)   | ID (LABORATORIO)  | CANTIDAD                  | TIPO  | M-03  | V-M-2023-014   | 1 | Núcleo de concreto | <b>Notas:</b> -   |  |  |  |
| ID (CLIENTE)   | ID (LABORATORIO)  | CANTIDAD   | TIPO  |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| M-03   | V-M-2023-014  | 1  | Núcleo de concreto  |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>5. MÉTODOS DE ENSAYO EJECUTADOS</b>   |   |  |   |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>Tabla No.02. ENSAYOS EJECUTADOS</b>   |   |  |   |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>ENSAYO</th> <th>NORMA</th> <th>MÉTODO</th> <th>CANTIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto</td> <td>ASTM C39/C39M-21</td> <td>-</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>  |   | ENSAYO   | NORMA   | MÉTODO                    | CANTIDAD  | Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto   | ASTM C39/C39M-21   | - | 1                  | <b>NOTA:</b> Los ensayos indicados en la Tabla No. 02 han sido realizados en el laboratorio de GRUPO VICAF SAC., ubicado en Jr. Los Topacios 440 - Cajamarca, de acuerdo con las normas Estandarizadas señaladas. |  |  |  |
| ENSAYO   | NORMA   | MÉTODO   | CANTIDAD  |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto  | ASTM C39/C39M-21  | -  | 1   |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>6. NOTAS</b>  |   |  |   |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| - (*) Información proporcionada por el cliente.<br>- Los informes tienen validez únicamente si incluyen la firma y sello del profesional responsable.<br>- El presente informe no puede ser difundido de manera parcial, ni se aceptan modificaciones en los resultados reportados.  |   | - Los resultados emitidos no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas de producto o certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.<br>- Cógido de Informe al que reemplaza: <b>No aplica</b><br>- Motivo del reemplazo de informe: <b>No aplica</b> |   |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| <b>7. PERSONAL RESPONSABLE</b>   |   |  |   |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>TÉCNICOS DE LABORATORIO</th> <th>JEFE DE LABORATORIO</th> <th>SUPERVISOR DE LABORATORIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"> <br/>           Frank Junior González Vasquez<br/>           Ingeniero Civil<br/>           Reg. CIP N° 211190         </td> <td style="text-align: center;"> <br/>           GRUPO VICAF S.A.C.<br/>           Jessica Raquel Riojas Ortiz<br/>           JEFE DE LABORATORIO         </td> <td style="text-align: center;"> <br/>           Villy Nuñez Mejía         </td> </tr> </tbody> </table> |   | TÉCNICOS DE LABORATORIO  | JEFE DE LABORATORIO   | SUPERVISOR DE LABORATORIO | <br>Frank Junior González Vasquez<br>Ingeniero Civil<br>Reg. CIP N° 211190 | <br>GRUPO VICAF S.A.C.<br>Jessica Raquel Riojas Ortiz<br>JEFE DE LABORATORIO | <br>Villy Nuñez Mejía |   |                    |   |  |  |  |
| TÉCNICOS DE LABORATORIO  | JEFE DE LABORATORIO   | SUPERVISOR DE LABORATORIO  |   |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |
| <br>Frank Junior González Vasquez<br>Ingeniero Civil<br>Reg. CIP N° 211190  | <br>GRUPO VICAF S.A.C.<br>Jessica Raquel Riojas Ortiz<br>JEFE DE LABORATORIO                   | <br>Villy Nuñez Mejía   |   |                           |   |   |  |   |                    |   |  |  |  |

|   |  | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO<br>(ASTM C39/C39M - 21)  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|--|--|---|--|-------------------|--|--|--|---------|-------|----|----------|----------|----|---------|---------|
|  |  | Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens <sup>1</sup>  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>DATOS DEL CLIENTE</b>   |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Cliente :</b>   | Bach. Biler Esmith Bustamante Medina   | <b>Código de Informe No. :</b>  | VCF-INF-2023-014   |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Proyecto (*) :</b>  | "INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA 2022" | <b>Técnico Encargado :</b>  | Ing. Frank Gonzáles  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Ubicación (*) :</b>   | Cajamarca - Cajamarca  | <b>Clima (*) :</b>  | Soleado  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Muestreado por (*) :</b>  | Ing. Frank Gonzáles  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA ENSAYADA</b>   |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Tipo (*)</b>  | <b>Elemento Estructural (*)</b>  | <b>Resistencia de Diseño <math>f_c</math> (*)</b>   | <b>ID de Cliente (*)</b>   |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| Núcleo de concreto   | Pavimento rígido   | -   | M-03   |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  |  |   | V-M-2023-014   |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>FECHAS</b>  |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Fabricación (*)</b>   | <b>Recepción</b>   | <b>Inicio de Ensayo</b>   | <b>Fin de Ensayo</b>   |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| ----   | 2023-02-09   | 2023-02-11  | 2023-02-11   |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  |  |   | 2023-02-13   |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">COND. AMBIENTALES</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Inicial</th> <th>Final</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T°</td> <td>18,43 °C</td> <td>18,43 °C</td> </tr> <tr> <td>HR</td> <td>73,99 %</td> <td>73,99 %</td> </tr> </tbody> </table> |  |   |  | COND. AMBIENTALES |  |  |  | Inicial | Final | T° | 18,43 °C | 18,43 °C | HR | 73,99 % | 73,99 % |
| COND. AMBIENTALES  |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  | Inicial  | Final   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| T°   | 18,43 °C   | 18,43 °C  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| HR   | 73,99 %  | 73,99 %   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>DATOS DEL CILINDRO A ENSAYAR</b>  |  | <b>ESQUEMAS DE FRACTURA TÍPICAS</b>   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Muestra No.</b>   | --   | M-03  |  <p><b>TIPO 1</b><br/>Conos razonablemente bien formados en ambos extremos, menos de 1in de agrietamiento a través de</p>  <p><b>TIPO 2</b><br/>Cono bien formado en un extremo, grietas verticales que atraviesan las tapas, no presenta cono bien definido en el otro extremo.</p>  <p><b>TIPO 3</b><br/>Agrietamiento vertical columnar en ambos extremos, sin conos bien formados.</p> |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Edad de la muestra (*)</b>  | días   | -   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Masa</b>  | g  | 1025,90   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Diámetro</b>  | mm   | D1 = 74,82  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  | mm   | D2 = 74,78  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Altura</b>  | mm   | H1 = 112,15   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  | mm   | H2 = 112,32   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
|  | mm   | H3 = 112,25   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>RESULTADOS DE ENSAYO</b>  |  |  <p><b>TIPO 4</b><br/>Fractura diagonal sin agrietamiento en los extremos; golpee con un martillo para distinguir del Tipo 1.</p>  <p><b>TIPO 5</b><br/>Fracturas laterales en la parte superior o inferior (ocurren comúnmente con tapas no adheridas)</p>  <p><b>TIPO 6</b><br/>Similar al tipo 5 pero el extremo del cilindro es puntiagudo.</p> |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Diámetro promedio</b>   | mm   | 74,80   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Altura promedio</b>   | mm   | 122,24  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Área de la sección transversal</b>  | mm <sup>2</sup>  | 4394,33   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Relación L/D</b>  | --   | 1,50  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Factor</b>  | --   | 0,96  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Carga Máxima Registrada</b>   | kN   | 75,23   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Resistencia a la compresión</b>   | Mpa  | 16,43   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Resistencia a la compresión</b>   | kg/cm <sup>2</sup>   | 167,59  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Porcentaje obtenido</b>   | %  | -   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Tipo de fractura</b>  | --   | Tipo 2  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Peso Unitario</b>   | g/cm <sup>3</sup>  | 2,08  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>Defectos del Cilindro Ensayado:</b>   | -  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>OBSERVACIONES</b>   |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| (*) Los datos indicados han sido proporcionados por el Cliente.  |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>IDENTIFICACIÓN DE EQUIPAMIENTO EMPLEADO</b>   |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>ID Máquina de Ensayo :</b>  | PERUTEST, Modelo: STYE-2000, Serie: 210530   | <b>ID Termómetro :</b>  | VCF-EQ-TD-001  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>ID Bernier:</b>   | VCF-EQ-VER-002   | <b>ID Termohigrómetro:</b>  | VCF-EQ-TMG-001   |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>ID Balanza:</b>   | VCF-EQ-BAL-003   |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>EJECUTADO POR:</b>  |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>REVISADO POR:</b>   |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <b>APROBADO POR:</b>   |  |   |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |
| <br>Frank Junior Gonzáles Vasquez<br>Ingeniero Civil<br>Reg. CIP N° 211190<br>TÉCNICO LABORATORIO   | <br>GRUPO VICAF S.A.C<br>Jessica Raquel Riojas Ortiz<br>JEFE DE LABORATORIO<br>JEFE LABORATORIO   | <br>Villy Nuñez Mejía<br>SUPERVISOR LABORATORIO  |  |                   |  |  |  |         |       |    |          |          |    |         |         |

## B.4 Promedio de ensayos de diamantina en calles

Tabla N° 53: Promedio de resistencias a la compresión de concreto de origen de agregados reciclados, obtenido mediante trituración de fragmento de concreto demolido

| Calle                         | $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Jr. Del Batán Cdra. 1         | 118.81                      |
| Jr. Silva Santisteban Cdra. 8 | 183.66                      |
| Jr. Junín Cdr. 7              | 167.59                      |
| Promedio                      | 156.69                      |

## C. Tablas utilizadas para el diseño de mezclas de concreto autocompactante

Tabla N° 54: Objetivos de Flujo de Asentamiento. Adaptado de Tabla 2.5 de ACI 237

|                                 |                                      |       | Flujo de Asentamiento |                |           |
|---------------------------------|--------------------------------------|-------|-----------------------|----------------|-----------|
|                                 |                                      |       | <22 in.               | 22 to 26 in.   | >26 in.   |
|                                 |                                      |       | (<550 mm)             | (550 – 650 mm) | (>650 mm) |
| Características de los Miembros | Nivel de Reforzamiento               | Bajo  |                       |                |           |
|                                 |                                      | Medio |                       |                |           |
|                                 |                                      | Alto  |                       |                |           |
|                                 | Complejidad de la Forma del Elemento | Bajo  |                       |                |           |
|                                 |                                      | Medio |                       |                |           |
|                                 |                                      | Alto  |                       |                |           |
|                                 | Profundidad del elemento             | Bajo  |                       |                |           |
|                                 |                                      | Medio |                       |                |           |
|                                 |                                      | Alto  |                       |                |           |
|                                 | Importancia del Acabado Superficial  | Bajo  |                       |                |           |
|                                 |                                      | Medio |                       |                |           |
|                                 |                                      | Alto  |                       |                |           |
|                                 | Longitud del elemento                | Bajo  |                       |                |           |
|                                 |                                      | Medio |                       |                |           |
|                                 |                                      | Alto  |                       |                |           |
|                                 | Espesor de pared                     | Bajo  |                       |                |           |
|                                 |                                      | Medio |                       |                |           |
|                                 |                                      | Alto  |                       |                |           |
|                                 | Contenido de Agregado Grueso         | Bajo  |                       |                |           |
|                                 |                                      | Medio |                       |                |           |
|                                 |                                      | Alto  |                       |                |           |
|                                 | Energía de Colocación                | Bajo  |                       |                |           |
|                                 |                                      | Medio |                       |                |           |
|                                 |                                      | Alto  |                       |                |           |

\* Las mezclas de SCC con flujos de asentamiento inferiores a 22 pulg. (550 mm) pueden requerir una vibración menor.

Tabla N° 55: Volumen absoluto de agregado grueso - ACI 211

| TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO | Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza de agregado fino. |      |      |      |
|-----------------------------------|--|------|------|------|
|                                   | MÓDULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO   |      |      |      |
|                                   | 2.4  | 2.6  | 2.8  | 3    |
| 3/8"                              | 0.50   | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 1/2"                              | 0.59   | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 3/4"                              | 0.66   | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 1"                                | 0.71   | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 1 1/2"                            | 0.76   | 0.74 | 0.72 | 0.70 |
| 2"                                | 0.78   | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 3"                                | 0.81   | 0.79 | 0.77 | 0.75 |
| 6"                                | 0.87   | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

Tabla N° 56: Rango de contenidos de polvo para concreto autocompactante. Adaptado de tabla 4.1 de ACI 237

|   | Flujo de Asentamiento (mm) |                          |             |
|---|----------------------------|--------------------------|-------------|
|   | < 550                      | 550 - 600                | >650        |
| Contenido de Polvo lb/yd <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )* | 600 - 650<br>(355 - 385)   | 650 - 750<br>(385 - 445) | +750 (+458) |

\* o según sea necesario para la fuerza.

Tabla N° 57: Parámetros para mezcla de prueba de concreto autocompactante. Adaptado de Tabla 4.2 de ACI 237

| Característica                   | Rango   |
|----------------------------------|---|
| Vol. Absoluto de A.G (*)         | 28% - 32% (1/2" de TMN o más)                                 |
| Proporción de pasta en volumen   | 34% - 40% (Vol. Total de Mezcla)                              |
| Proporción de mortero en volumen | 60% - 70% (Vol. Total de la Mezcla)                           |
| Relación típica a/c              | 0.32- 0.45  |
| Cemento (contenido de polvo)     | 386 - 475 (kg/m <sup>3</sup> ) - valores más bajos con un VMA |

\* Hasta un 50% (TMN = 3/8")

Tabla N° 58: Cantidades de agua y aire por  $m^3$  - ACI 211

| Asentamiento o Slump  | Agua en $lt/m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados |      |      |     |        |     |     |     |
|---|---|------|------|-----|--------|-----|-----|-----|
|   | 3/8"  | 1/2" | 3/4" | 1"  | 1 1/2" | 2"  | 3"  | 6"  |
|   | Concretos sin Aire Incorporado  |      |      |     |        |     |     |     |
| 1" a 2"   | 205   | 200  | 185  | 180 | 160    | 155 | 145 | 125 |
| 3" a 4"   | 225   | 215  | 200  | 195 | 175    | 170 | 160 | 140 |
| 6" a 7"   | 240   | 230  | 210  | 205 | 185    | 180 | 170 | --- |
| Cantidad aproximada de aire atrapado, en porcentaje                 | 3   | 2.5  | 2    | 1.5 | 1      | 0.5 | 0.3 | 0.2 |
|   | Concretos con Aire Incorporado  |      |      |     |        |     |     |     |
| 1" a 2"   | 180   | 175  | 165  | 160 | 145    | 140 | 135 | 120 |
| 3" a 4"   | 200   | 190  | 180  | 175 | 160    | 155 | 150 | 135 |
| 6" a 7"   | 215   | 205  | 190  | 185 | 170    | 165 | 160 | --- |
| Promedio recomendado para el contenido total de aire, en porcentaje | 8   | 7    | 6    | 5   | 4.5    | 4   | 3.5 | 3   |

\* Estas cantidades de agua de mezclado se utilizarán en el cálculo del factor cemento en mezclas de prueba. Son valores máximos para agregado grueso angular y bien formado, y cuya granulometría está dentro de las especificaciones aceptadas (ASTM C33) o NTP 400.037. Los valores del asentamiento en concretos que contienen agregados con tamaño máximo mayor de 1 1/2", están basados en ensayos de asentamientos hechos después de retirar, por cernido húmedo las partículas mayores de 1 1/2"



## D. Diseño de mezclas de concreto autocompactante

### D.1 Muestra PATRON

#### DISEÑO DE MEZCLA CONCRETO AUTOCOMPACTANTE

|               |   |
|---------------|---|
| <b>TESIS:</b> | Influencia de la Sustitución de Agregado Grueso por Agregado Grueso Reciclado en la Resistencia a Compresión de un Concreto Autocompactante $f'c$ 420 kg/cm <sup>2</sup> en la ciudad de Cajamarca 2022 |
|---------------|---|

**MÉTODO:** ACI 237

**DISEÑO:** Concreto Patrón  $f'c$  : **420 kg/cm<sup>2</sup>**

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Cemento: TIPO I - PACASMAYO P.e : **3.08 gr/cm<sup>3</sup>**

Aditivo: Z FLUIDIZANTE SR 1000 P.e : **1.09 gr/cm<sup>3</sup>**

#### Propiedades de Agregados

| Descripción                        | Unidades          | Agregado Fino | Agregado Grueso |
|------------------------------------|-------------------|---------------|-----------------|
| Tamaño Máximo Nominal (TMN)        |                   |               | 1/2"            |
| Peso Específico de Masa            | g/cm <sup>3</sup> | 2.623         | 2.619           |
| Peso Específico SSS                | g/cm <sup>3</sup> | 2.706         | 2.647           |
| Peso Específico de Aparente        | g/cm <sup>3</sup> | 2.654         | 2.696           |
| Peso Unitario Suelto Seco          | kg/m <sup>3</sup> | 1602          | 1367            |
| Peso Unitario Compactado Seco      | kg/m <sup>3</sup> | 1735          | 1478            |
| Contenido de Humedad               | %                 | 5.39          | 1.57            |
| Absorción                          | %                 | 1.17          | 1.09            |
| Módulo de finura                   |                   | 3.07          | 6.78            |
| Abrasión                           | %                 | ----          | 27.43           |
| Partículas que pasan malla No. 200 | %                 | 2.89          | 0.28            |

#### DISEÑO DE MEZCLA

**PASO 1:** Extensión de flujo en función a la aplicación de la mezcla.

Flujo de Asentamiento buscado : **> 65 cm** (Tabla 2.5 de ACI 237)

**PASO 2:** Seleccione el agregado grueso y la proporción (ACI 211.1 y 301)

**Según ACI 211:**

Factor b/b<sub>o</sub> = **0.53** (Tabla 6.3.6 \_ ACI 211)

Peso de Agregado Grueso 783.34 kg

Volumen de Agregado Grueso 0.30 m<sup>3</sup>

**Según ACI 237**

Categoría I : **≥ 1/2" de TMN**

Vol. Absoluto de partida para A.G = 28 % - 32 % (V concreto)

**Volumen Absoluto de Partida 30%**

Haciendo una equivalencia:

783.34 kg ==> 0.30 m<sup>3</sup>

**783.34 kg ==> 0.30 m<sup>3</sup>**

**PASO 3:** Estime el contenido de cemento y agua requeridos:

El cemento dependerá del Flujo de Asentamiento elegido: (Tabla 4.1 de Norma ACI 237)

**Cemento = 445 kg/m<sup>3</sup>**

Relación agua/cemento:

**\*) Valor típico para agua/cemento :** 0.32 - 0.45 (Tabla 4.2 de ACI 237)

**a/c = 0.45**



|  |                     |
|--|---------------------|
| <b>Agua =</b>  | <b>200.25 lt/m3</b> |
| Aditivo Superplastificante (forma parte de pasta)            |                     |
| Dosificación de Aditivo (% por peso de cemento) =            | <b>0.75%</b>        |
| <b>P. Aditivo =</b>  | <b>3.3375 kg</b>    |
| Aire atrapado en la mezcla (también forma parte de la pasta) |                     |
| <b>Según ACI 211</b>   |                     |
| <b>Aire Atrapado</b>   | <b>2.50%</b>        |

**PASO 4: Calcular el volumen de pasta y mortero**

**Comprobación del Volumen de Pasta:**

|                         |         |               |
|-------------------------|---------|---------------|
| Cemento                 | 0.1445  | 14.45%        |
| Agua                    | 0.20025 | 20.03%        |
| Aire                    | 0.0250  | 2.50%         |
| Vol. Aditivo            | 0.0031  | 0.31%         |
| <b>Total de Volumen</b> |         | <b>37.28%</b> |

*Recomendación de porcentaje de pasta:* **34 % - 40 % (ACI 237, ítem 4.4.3)**

**Comprobación del Volumen de Mortero:**

Determinamos la cantidad de Agregado Fino

$$VOL_{A.Fino} = 1m^3 - VOL_{Pasta} + VOL_{A.Grueso}$$

|                                 |        |                    |
|---------------------------------|--------|--------------------|
| Vol. Agregado Fino              | 0.3272 | 32.72%             |
| Peso de Agregado Fino           |        | 858.31 kg          |
| Volumen de Pasta                |        | 37.28%             |
| Volumen de Agregado Fino        |        | 32.72%             |
| <b>Total Volumen de Mortero</b> |        | <b>70.00% (OK)</b> |

*Recomendación para porcentaje de mortero:* **60 % - 70 % (ACI 237, ítem 4.4.3)**

**PASO 5: Seleccione la mezcla**

**Materiales por m3:**

|                            |   |            |
|----------------------------|---|------------|
| Cemento                    | = | 445.00 kg  |
| Agua                       | = | 200.25 lts |
| Agregado Grueso            | = | 783.34 kg  |
| Agregado Fino              | = | 858.31 kg  |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg    |
| a / c                      | = | 0.45       |

**Aporte de agua de agregados:**

|                 |   |                  |
|-----------------|---|------------------|
| Agregado Fino   | = | 36.19 lts        |
| Agregado Grueso | = | 3.75 lts         |
|                 |   | <b>39.94 lts</b> |

**Materiales Corregidos por Humedad:**

|               |   |            |
|---------------|---|------------|
| Cemento       | = | 445.00 kg  |
| Agua Efectiva | = | 160.31 lts |

|                            |   |           |
|----------------------------|---|-----------|
| Agregado Grueso            | = | 795.64 kg |
| Agregado Fino              | = | 904.58 kg |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg   |
| a / c efectiva             | = | 0.36      |

**PASO 6: Mezcla de prueba por lotes**

|                                    |         |              |
|------------------------------------|---------|--------------|
| <b>Tanda para Bolsa de Cemento</b> | Factor: | <b>0.096</b> |
| Cemento                            |         | 42.50 kg     |
| Agua                               |         | 15,310.91 g  |
| A. Grueso                          |         | 75,987.94 g  |
| A. Fino                            |         | 86,392.13 g  |
| Aditivo                            |         | 318.75 g     |

|                        |         |              |
|------------------------|---------|--------------|
| <b>Tanda de Prueba</b> | Factor: | <b>0.025</b> |
| Cemento                |         | 11,125 g     |
| Agua                   |         | 4,008 g      |
| A. Grueso              |         | 19,891 g     |
| A. Fino                |         | 22,614 g     |
| Aditivo                |         | 83 g         |

## D.2 Muestra MP-25

### DISEÑO DE MEZCLA CONCRETO AUTOCOMPACTANTE

|               |   |
|---------------|---|
| <b>TESIS:</b> | Influencia de la Sustitución de Agregado Grueso por Agregado Grueso Reciclado en la Resistencia a Compresión de un Concreto Autocompactante $f'c$ 420 kg/cm <sup>2</sup> en la ciudad de Cajamarca 2022 |
|---------------|---|

**MÉTODO:** ACI 237

**DISEÑO:** 25 % de sustitución de AGR  $f'c$ : **420 kg/cm<sup>2</sup>**

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Cemento: TIPO I - PACASMAYO P.e : **3.08 gr/cm<sup>3</sup>**  
 Aditivo: Z FLUIDIZANTE SR 1000 P.e : **1.09 gr/cm<sup>3</sup>**

#### Propiedades de Agregados

|                                    | Unidades          | Agregado Fino | Agregado Grueso | Agregado Reciclado |
|------------------------------------|-------------------|---------------|-----------------|--------------------|
| Tamaño Máximo Nominal (TMN)        |                   |               | 1/2"            | 1/2"               |
| Peso Específico de Masa            | g/cm <sup>3</sup> | 2.623         | 2.619           | 2.314              |
| Peso Específico SSS                | g/cm <sup>3</sup> | 2.706         | 2.647           | 2.443              |
| Peso Específico de Aparente        | g/cm <sup>3</sup> | 2.654         | 2.696           | 2.657              |
| Peso Unitario Suelto Seco          | kg/m <sup>3</sup> | 1602          | 1367            | 1267               |
| Peso Unitario Compactado Seco      | kg/m <sup>3</sup> | 1735          | 1478            | 1377               |
| Contenido de Humedad               | %                 | 5.39          | 1.57            | 2.15               |
| Absorción                          | %                 | 1.17          | 1.09            | 5.58               |
| Módulo de finura                   |                   | 3.07          | 6.78            | 6.73               |
| Abrasión                           | %                 | ----          | 27.43           | 34.53              |
| Partículas que pasan malla No. 200 | %                 | 2.89          | 0.28            | 0.72               |

#### DISEÑO DE MEZCLA

##### PASO 1: Extensión de flujo en función a la aplicación de la mezcla.

Flujo de Asentamiento buscado : **> 65 cm** (Tabla 2.5 de ACI 237)

##### PASO 2: Seleccione el agregado grueso y la proporción (ACI 211.1 y 301)

###### Según ACI 211:

Factor b/b<sub>o</sub> = **0.53** (Tabla 6.3.6 \_ ACI 211)  
 Peso de Agregado Grueso 783.34 kg  
 Volumen de Agregado Grueso 0.30 m<sup>3</sup>

###### Según ACI 237

Categoría I : **≥ 1/2" de TMN**  
 Vol. Absoluto de partida para A.G = 28 % - 32 % (V concreto)  
**Volumen Absoluto de Partida 30%**

Haciendo una equivalencia:

|                  |               |                           |
|------------------|---------------|---------------------------|
| 783.34 kg        | ==>           | 0.30 m <sup>3</sup>       |
| <b>783.34 kg</b> | <b>==&gt;</b> | <b>0.30 m<sup>3</sup></b> |

##### PASO 3: Estime el contenido de cemento y agua requeridos:

El cemento dependerá del Flujo de Asentamiento elegido: (Tabla 4.1 de Norma ACI 237)

**Cemento = 445 kg/m<sup>3</sup>**

Relación agua/cemento:

**\*) Valor típico para agua/cemento :** 0.32 - 0.45 (Tabla 4.2 de ACI 237)  
**a/c = 0.45**

|  |                     |
|--|---------------------|
| <b>Agua =</b>  | <b>200.25 lt/m3</b> |
| Aditivo Superplastificante (forma parte de pasta)            |                     |
| Dosificación de Aditivo (% por peso de cemento) =            | <b>0.75%</b>        |
| <b>P. Aditivo =</b>  | <b>3.34 kg</b>      |
| Aire atrapado en la mezcla (también forma parte de la pasta) |                     |
| <b>Según ACI 211</b>   |                     |
| <b>Aire Atrapado</b>   | <b>2.50%</b>        |

**PASO 4: Calcular el volumen de pasta y mortero**

**Comprobación del Volumen de Pasta:**

|                         |         |               |
|-------------------------|---------|---------------|
| Cemento                 | 0.1445  | 14.45%        |
| Agua                    | 0.20025 | 20.03%        |
| Aire                    | 0.0250  | 2.50%         |
| Vol. Aditivo            | 0.0031  | 0.31%         |
| <b>Total de Volumen</b> |         | <b>37.28%</b> |

*Recomendación de porcentaje de pasta:* **34 % - 40 %** (ACI 237, ítem 4.4.3)

**Comprobación del Volumen de Mortero:**

Determinamos la cantidad de Agregado Fino

$$VOL_{A.Fino} = 1m^3 - VOL_{Pasta} + VOL_{A.Grueso}$$

|                                 |        |                    |
|---------------------------------|--------|--------------------|
| Vol. Agregado Fino              | 0.3272 | 32.72%             |
| Peso de Agregado Fino           |        | 858.31 kg          |
| Volumen de Pasta                |        | 37.28%             |
| Volumen de Agregado Fino        |        | 32.72%             |
| <b>Total Volumen de Mortero</b> |        | <b>70.00% (OK)</b> |

*Recomendación para porcentaje de mortero:* **60 % - 70 %** (ACI 237, ítem 4.4.3)

**PASO 5: Seleccione la mezcla**

**Materiales por m3:**

|                            |   |            |
|----------------------------|---|------------|
| Cemento                    | = | 445.00 kg  |
| Agua                       | = | 200.25 lts |
| Agregado Grueso Natural    | = | 587.51 kg  |
| Agregado Grueso Reciclado  | = | 173.02 kg  |
| Agregado Fino              | = | 858.31 kg  |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg    |
| a / c                      | = | 0.45       |

**Aporte de agua de agregados:**

|                           |   |                  |
|---------------------------|---|------------------|
| Agregado Fino             | = | 36.19 lts        |
| Agregado Grueso           | = | 2.81 lts         |
| Agregado Grueso Reciclado | = | 5.93 lts         |
|                           |   | <b>33.07 lts</b> |

**Materiales Corregidos por Humedad:**

|                            |   |            |
|----------------------------|---|------------|
| Cemento                    | = | 445.00 kg  |
| Agua Efectiva              | = | 167.18 lts |
| Agregado Grueso Natural    | = | 596.73 kg  |
| Agregado Grueso Reciclado  | = | 176.74 kg  |
| Agregado Fino              | = | 904.58 kg  |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg    |
| a / c efectiva             | = | 0.38       |

**PASO 6: Mezcla de prueba por lotes**

|                                    |         |              |
|------------------------------------|---------|--------------|
| <b>Tanda para Bolsa de Cemento</b> | Factor: | <b>0.096</b> |
| Cemento                            |         | 42.50 kg     |
| Agua                               |         | 15,966.77 g  |
| Agregado Grueso Natural            |         | 56,990.96 g  |
| Agregado Grueso Reciclado          |         | 16,879.57 g  |
| A. Fino                            |         | 86,392.13 g  |
| Aditivo                            |         | 318.75 g     |
| <b>Tanda de Prueba</b>             | Factor: | <b>0.025</b> |
| Cemento                            |         | 11,125.00 g  |
| Agua                               |         | 4,179.54 g   |
| Agregado Grueso Natural            |         | 14,918.22 g  |
| Agregado Grueso Reciclado          |         | 4,418.47 g   |
| A. Fino                            |         | 22,614.41 g  |
| Aditivo                            |         | 83.44 g      |

### D.3 Muestra MP-50

#### DISEÑO DE MEZCLA CONCRETO AUTOCOMPACTANTE

|               |   |
|---------------|---|
| <b>TESIS:</b> | Influencia de la Sustitución de Agregado Grueso por Agregado Grueso Reciclado en la Resistencia a Compresión de un Concreto Autocompactante $f'c$ 420 kg/cm <sup>2</sup> en la ciudad de Cajamarca 2022 |
|---------------|---|

**MÉTODO:** ACI 237

**DISEÑO:** 50 % de sustitución de AGR  $f'c$  : **420 kg/cm<sup>2</sup>**

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Cemento: TIPO I - PACASMAYO P.e : **3.08 gr/cm<sup>3</sup>**  
 Aditivo: Z FLUIDIZANTE SR 1000 P.e : **1.09 gr/cm<sup>3</sup>**

#### Propiedades de Agregados

|                                    | Unidades          | Agregado Fino | Agregado Grueso | Agregado Reciclado |
|------------------------------------|-------------------|---------------|-----------------|--------------------|
| Tamaño Máximo Nominal (TMN)        |                   |               | 1/2"            | 1/2"               |
| Peso Específico de Masa            | g/cm <sup>3</sup> | 2.623         | 2.619           | 2.314              |
| Peso Específico SSS                | g/cm <sup>3</sup> | 2.706         | 2.647           | 2.443              |
| Peso Específico de Aparente        | g/cm <sup>3</sup> | 2.654         | 2.696           | 2.657              |
| Peso Unitario Suelto Seco          | kg/m <sup>3</sup> | 1602          | 1367            | 1267               |
| Peso Unitario Compactado Seco      | kg/m <sup>3</sup> | 1735          | 1478            | 1377               |
| Contenido de Humedad               | %                 | 5.39          | 1.57            | 2.15               |
| Absorción                          | %                 | 1.17          | 1.09            | 5.58               |
| Módulo de finura                   |                   | 3.07          | 6.78            | 6.73               |
| Abrasión                           | %                 | ----          | 27.43           | 34.53              |
| Partículas que pasan malla No. 200 | %                 | 2.89          | 0.28            | 0.72               |

#### DISEÑO DE MEZCLA

##### PASO 1: Extensión de flujo en función a la aplicación de la mezcla.

Flujo de Asentamiento buscado : **> 65 cm** (Tabla 2.5 de ACI 237)

##### PASO 2: Seleccione el agregado grueso y la proporción (ACI 211.1 y 301)

###### Según ACI 211:

Factor b/b<sub>o</sub> = **0.53** (Tabla 6.3.6 \_ ACI 211)  
 Peso de Agregado Grueso 783.34 kg  
 Volumen de Agregado Grueso 0.30 m<sup>3</sup>

###### Según ACI 237

Categoría I : **≥ 1/2" de TMN**  
 Vol. Absoluto de partida para A.G = 28 % - 32 % (V concreto)  
**Volumen Absoluto de Partida 30%**

Haciendo una equivalencia:

|                  |               |                           |
|------------------|---------------|---------------------------|
| 783.34 kg        | ==>           | 0.30 m <sup>3</sup>       |
| <b>783.34 kg</b> | <b>==&gt;</b> | <b>0.30 m<sup>3</sup></b> |

##### PASO 3: Estime el contenido de cemento y agua requeridos:

El cemento dependerá del Flujo de Asentamiento elegido: (Tabla 4.1 de Norma ACI 237)

**Cemento = 445 kg/m<sup>3</sup>**

Relación agua/cemento:

**\*) Valor típico para agua/cemento :** 0.32 - 0.45 (Tabla 4.2 de ACI 237)  
**a/c = 0.45**

|  |                     |
|--|---------------------|
| <b>Agua =</b>  | <b>200.25 lt/m3</b> |
| Aditivo Superplastificante (forma parte de pasta)            |                     |
| Dosificación de Aditivo (% por peso de cemento) =            | <b>0.75%</b>        |
| <b>P. Aditivo =</b>  | <b>3.34 kg</b>      |
| Aire atrapado en la mezcla (también forma parte de la pasta) |                     |
| <b>Según ACI 211</b>   |                     |
| <b>Aire Atrapado</b>   | <b>2.50%</b>        |

**PASO 4: Calcular el volumen de pasta y mortero**

**Comprobación del Volumen de Pasta:**

|                         |         |               |
|-------------------------|---------|---------------|
| Cemento                 | 0.1445  | 14.45%        |
| Agua                    | 0.20025 | 20.03%        |
| Aire                    | 0.0250  | 2.50%         |
| Vol. Aditivo            | 0.0031  | 0.31%         |
| <b>Total de Volumen</b> |         | <b>37.28%</b> |

*Recomendación de porcentaje de pasta:* **34 % - 40 %** (ACI 237, ítem 4.4.3)

**Comprobación del Volumen de Mortero:**

Determinamos la cantidad de Agregado Fino

$$VOL_{A.Fino} = 1m^3 - VOL_{Pasta} + VOL_{A.Grueso}$$

|                                 |        |                    |
|---------------------------------|--------|--------------------|
| Vol. Agregado Fino              | 0.3272 | 32.72%             |
| Peso de Agregado Fino           |        | 858.31 kg          |
| Volumen de Pasta                |        | 37.28%             |
| Volumen de Agregado Fino        |        | 32.72%             |
| <b>Total Volumen de Mortero</b> |        | <b>70.00% (OK)</b> |

*Recomendación para porcentaje de mortero:* **60 % - 70 %** (ACI 237, ítem 4.4.3)

**PASO 5: Seleccione la mezcla**

**Materiales por m3:**

|                            |   |            |
|----------------------------|---|------------|
| Cemento                    | = | 445.00 kg  |
| Agua                       | = | 200.25 lts |
| Agregado Grueso Natural    | = | 391.67 kg  |
| Agregado Grueso Reciclado  | = | 346.04 kg  |
| Agregado Fino              | = | 858.31 kg  |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg    |
| a / c                      | = | 0.45       |

**Aporte de agua de agregados:**

|                           |     |                  |
|---------------------------|-----|------------------|
| Agregado Fino             | =   | 36.19 lts        |
| Agregado Grueso           | =   | 1.87 lts         |
| Agregado Grueso Reciclado | = - | 11.86 lts        |
|                           |     | <b>26.20 lts</b> |

**Materiales Corregidos por Humedad:**

|                            |   |            |
|----------------------------|---|------------|
| Cemento                    | = | 445.00 kg  |
| Agua Efectiva              | = | 174.05 lts |
| Agregado Grueso Natural    | = | 397.82 kg  |
| Agregado Grueso Reciclado  | = | 353.48 kg  |
| Agregado Fino              | = | 904.58 kg  |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg    |
| a / c efectiva             | = | 0.39       |

**PASO 6: Mezcla de prueba por lotes**

|                                    |         |              |
|------------------------------------|---------|--------------|
| <b>Tanda para Bolsa de Cemento</b> | Factor: | <b>0.096</b> |
| Cemento                            |         | 42.50 kg     |
| Agua                               |         | 16,622.63 g  |
| Agregado Grueso Natural            |         | 37,993.97 g  |
| Agregado Grueso Reciclado          |         | 33,759.13 g  |
| A. Fino                            |         | 86,392.13 g  |
| Aditivo                            |         | 318.75 g     |

|                           |         |              |
|---------------------------|---------|--------------|
| <b>Tanda de Prueba</b>    | Factor: | <b>0.025</b> |
| Cemento                   |         | 11,125.00 g  |
| Agua                      |         | 4,351.22 g   |
| Agregado Grueso Natural   |         | 9,945.48 g   |
| Agregado Grueso Reciclado |         | 8,836.95 g   |
| A. Fino                   |         | 22,614.41 g  |
| Aditivo                   |         | 83.44 g      |

**PASO 7: Corrección por agua restante**

|  |   |          |
|--|---|----------|
| Agua Restante en tanda de 0.025 m <sup>3</sup> | = | 52 g     |
| Agua Restante en 1 m <sup>3</sup>              | = | 2.08 lts |

**Materiales Reales Corregidos por Humedad**

|                            |   |            |
|----------------------------|---|------------|
| Cemento                    | = | 445.00 kg  |
| Agua Efectiva              | = | 171.97 lts |
| Agregado Grueso            | = | 397.82 kg  |
| Agregado Grueso Reciclado  | = | 353.48 kg  |
| Agregado Fino              | = | 904.58 kg  |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg    |
| a / c efectiva             | = | 0.39       |

**Materiales Secos por m3**

|                            |   |                                 |
|----------------------------|---|---------------------------------|
| Cemento                    | = | 445.00 kg                       |
| Agua                       | = | 198.17 lts                      |
| Agregado Grueso            | = | 391.67 kg                       |
| Agregado Grueso Reciclado  | = | 346.04 kg                       |
| Agregado Fino              | = | 858.31 kg                       |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg                         |
| <b>a / c</b>               | = | <b>0.45 (Relación real a/c)</b> |



## D.4 Muestra MP-75

### DISEÑO DE MEZCLA CONCRETO AUTOCOMPACTANTE

|               |   |
|---------------|---|
| <b>TESIS:</b> | Influencia de la Sustitución de Agregado Grueso por Agregado Grueso Reciclado en la Resistencia a Compresión de un Concreto Autocompactante $f'c$ 420 kg/cm <sup>2</sup> en la ciudad de Cajamarca 2022 |
|---------------|---|

**MÉTODO:** ACI 237

**DISEÑO:** 75 % de sustitución de AGR  $f'c$  : **420 kg/cm<sup>2</sup>**

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Cemento: TIPO I - PACASMAYO P.e : **3.08 gr/cm<sup>3</sup>**  
 Aditivo: Z FLUIDIZANTE SR 1000 P.e : **1.09 gr/cm<sup>3</sup>**

#### Propiedades de Agregados

|                                    | Unidades          | Agregado Fino | Agregado Grueso | Agregado Reciclado |
|------------------------------------|-------------------|---------------|-----------------|--------------------|
| Tamaño Máximo Nominal (TMN)        |                   |               | 1/2"            | 1/2"               |
| Peso Específico de Masa            | g/cm <sup>3</sup> | 2.623         | 2.619           | 2.314              |
| Peso Específico SSS                | g/cm <sup>3</sup> | 2.706         | 2.647           | 2.443              |
| Peso Específico de Aparente        | g/cm <sup>3</sup> | 2.654         | 2.696           | 2.657              |
| Peso Unitario Suelto Seco          | kg/m <sup>3</sup> | 1602          | 1367            | 1267               |
| Peso Unitario Compactado Seco      | kg/m <sup>3</sup> | 1735          | 1478            | 1377               |
| Contenido de Humedad               | %                 | 5.39          | 1.57            | 2.15               |
| Absorción                          | %                 | 1.17          | 1.09            | 5.58               |
| Módulo de finura                   |                   | 3.07          | 6.78            | 6.73               |
| Abrasión                           | %                 | ----          | 27.43           | 34.53              |
| Partículas que pasan malla No. 200 | %                 | 2.89          | 0.28            | 0.72               |

#### DISEÑO DE MEZCLA

##### PASO 1: Extensión de flujo en función a la aplicación de la mezcla.

Flujo de Asentamiento buscado : **> 65 cm** (Tabla 2.5 de ACI 237)

##### PASO 2: Seleccione el agregado grueso y la proporción (ACI 211.1 y 301)

###### Según ACI 211:

Factor b/b<sub>o</sub> = **0.53** (Tabla 6.3.6 \_ ACI 211)  
 Peso de Agregado Grueso 783.34 kg  
 Volumen de Agregado Grueso 0.30 m<sup>3</sup>

###### Según ACI 237

Categoría I : **≥ 1/2" de TMN**  
 Vol. Absoluto de partida para A.G = 28 % - 32 % (V concreto)  
**Volumen Absoluto de Partida 30%**

Haciendo una equivalencia:

|                  |               |                           |
|------------------|---------------|---------------------------|
| 783.34 kg        | ==>           | 0.30 m <sup>3</sup>       |
| <b>783.34 kg</b> | <b>==&gt;</b> | <b>0.30 m<sup>3</sup></b> |

##### PASO 3: Estime el contenido de cemento y agua requeridos:

El cemento dependerá del Flujo de Asentamiento elegido: (Tabla 4.1 de Norma ACI 237)

**Cemento = 445 kg/m<sup>3</sup>**

Relación agua/cemento:

**\*) Valor típico para agua/cemento :** 0.32 - 0.45 (Tabla 4.2 de ACI 237)  
**a/c = 0.45**

**Agua = 200.25 lt/m<sup>3</sup>**

Aditivo Superplastificante (forma parte de pasta)

Dosificación de Aditivo (% por peso de cemento) = **0.75%**

**P. Aditivo = 3.34 kg**

Aire atrapado en la mezcla (también forma parte de la pasta)

**Según ACI 211**

**Aire Atrapado 2.50%**

#### PASO 4: Calcular el volumen de pasta y mortero

##### Comprobación del Volumen de Pasta:

|                         |         |               |
|-------------------------|---------|---------------|
| Cemento                 | 0.1445  | 14.45%        |
| Agua                    | 0.20025 | 20.03%        |
| Aire                    | 0.0250  | 2.50%         |
| Vol. Aditivo            | 0.0031  | 0.31%         |
| <b>Total de Volumen</b> |         | <b>37.28%</b> |

**Recomendación de porcentaje de pasta: 34 % - 40 % (ACI 237, ítem 4.4.3)**

##### Comprobación del Volumen de Mortero:

Determinamos la cantidad de Agregado Fino

$$VOL_{A.Fino} = 1m^3 - VOL_{Pasta} + VOL_{A.Grueso}$$

|                                 |        |                    |
|---------------------------------|--------|--------------------|
| Vol. Agregado Fino              | 0.3272 | 32.72%             |
| Peso de Agregado Fino           |        | 858.31 kg          |
| Volumen de Pasta                |        | 37.28%             |
| Volumen de Agregado Fino        |        | 32.72%             |
| <b>Total Volumen de Mortero</b> |        | <b>70.00% (OK)</b> |

**Recomendación para porcentaje de mortero: 60 % - 70 % (ACI 237, ítem 4.4.3)**

#### PASO 5: Seleccione la mezcla

##### Materiales por m<sup>3</sup>:

|                            |   |            |
|----------------------------|---|------------|
| Cemento                    | = | 445.00 kg  |
| Agua                       | = | 200.25 lts |
| Agregado Grueso Natural    | = | 195.84 kg  |
| Agregado Grueso Reciclado  | = | 519.06 kg  |
| Agregado Fino              | = | 858.31 kg  |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg    |
| a / c                      | = | 0.45       |

##### Aporte de agua de agregados:

|                           |     |                  |
|---------------------------|-----|------------------|
| Agregado Fino             | =   | 36.19 lts        |
| Agregado Grueso           | =   | 0.94 lts         |
| Agregado Grueso Reciclado | = - | 17.79 lts        |
|                           |     | <b>19.33 lts</b> |

##### Materiales Corregidos por Humedad:

|                            |   |            |
|----------------------------|---|------------|
| Cemento                    | = | 445.00 kg  |
| Agua Efectiva              | = | 180.92 lts |
| Agregado Grueso Natural    | = | 198.91 kg  |
| Agregado Grueso Reciclado  | = | 530.22 kg  |
| Agregado Fino              | = | 904.58 kg  |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg    |
| a / c efectiva             | = | 0.41       |

**PASO 6: Mezcla de prueba por lotes**

|                                    |         |              |
|------------------------------------|---------|--------------|
| <b>Tanda para Bolsa de Cemento</b> | Factor: | <b>0.096</b> |
| Cemento                            |         | 42.50 kg     |
| Agua                               |         | 17,278.49 g  |
| Agregado Grueso Natural            |         | 18,996.99 g  |
| Agregado Grueso Reciclado          |         | 50,638.70 g  |
| A. Fino                            |         | 86,392.13 g  |
| Aditivo                            |         | 318.75 g     |
| <b>Tanda de Prueba</b>             | Factor: | <b>0.025</b> |
| Cemento                            |         | 11,125.00 g  |
| Agua                               |         | 4,522.90 g   |
| Agregado Grueso Natural            |         | 4,972.74 g   |
| Agregado Grueso Reciclado          |         | 13,255.42 g  |
| A. Fino                            |         | 22,614.41 g  |
| Aditivo                            |         | 83.44 g      |

**PASO 7: Corrección por agua restante**

|  |   |          |
|--|---|----------|
| Agua Restante en tanda de 0.025 m <sup>3</sup> | = | 115 g    |
| Agua Restante en 1 m <sup>3</sup>              | = | 4.60 lts |

**Materiales Reales Corregidos por Humedad**

|                            |   |            |
|----------------------------|---|------------|
| Cemento                    | = | 445.00 kg  |
| Agua Efectiva              | = | 176.32 lts |
| Agregado Grueso            | = | 198.91 kg  |
| Agregado Grueso Reciclado  | = | 530.22 kg  |
| Agregado Fino              | = | 904.58 kg  |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg    |
| a / c efectiva             | = | 0.40       |

**Materiales Secos por m3**

|                            |   |                                 |
|----------------------------|---|---------------------------------|
| Cemento                    | = | 445.00 kg                       |
| Agua                       | = | 195.65 lts                      |
| Agregado Grueso            | = | 195.84 kg                       |
| Agregado Grueso Reciclado  | = | 519.06 kg                       |
| Agregado Fino              | = | 858.31 kg                       |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg                         |
| <b>a / c</b>               | = | <b>0.44 (Relación real a/c)</b> |

## D.5 Muestra MP-100

### DISEÑO DE MEZCLA CONCRETO AUTOCOMPACTANTE

|               |   |
|---------------|---|
| <b>TESIS:</b> | Influencia de la Sustitución de Agregado Grueso por Agregado Grueso Reciclado en la Resistencia a Compresión de un Concreto Autocompactante $f'c$ 420 kg/cm <sup>2</sup> en la ciudad de Cajamarca 2022 |
|---------------|---|

**MÉTODO:** ACI 237

**DISEÑO:** 100 % de sustitución de AGR  $f'c$  : **420 kg/cm<sup>2</sup>**

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Cemento: TIPO I - PACASMAYO P.e : **3.08 gr/cm<sup>3</sup>**  
 Aditivo: Z FLUIDIZANTE SR 1000 P.e : **1.09 gr/cm<sup>3</sup>**

#### Propiedades de Agregados

|                                    | Unidades          | Agregado Fino | Agregado Grueso | Agregado Reciclado |
|------------------------------------|-------------------|---------------|-----------------|--------------------|
| Tamaño Máximo Nominal (TMN)        |                   |               | 1/2"            | 1/2"               |
| Peso Específico de Masa            | g/cm <sup>3</sup> | 2.623         | 2.619           | 2.314              |
| Peso Específico SSS                | g/cm <sup>3</sup> | 2.706         | 2.647           | 2.443              |
| Peso Específico de Aparente        | g/cm <sup>3</sup> | 2.654         | 2.696           | 2.657              |
| Peso Unitario Suelto Seco          | kg/m <sup>3</sup> | 1602          | 1367            | 1267               |
| Peso Unitario Compactado Seco      | kg/m <sup>3</sup> | 1735          | 1478            | 1377               |
| Contenido de Humedad               | %                 | 5.39          | 1.57            | 2.15               |
| Absorción                          | %                 | 1.17          | 1.09            | 5.58               |
| Módulo de finura                   |                   | 3.07          | 6.78            | 6.73               |
| Abrasión                           | %                 | ----          | 27.43           | 34.53              |
| Partículas que pasan malla No. 200 | %                 | 2.89          | 0.28            | 0.72               |

#### DISEÑO DE MEZCLA

##### PASO 1: Extensión de flujo en función a la aplicación de la mezcla.

Flujo de Asentamiento buscado : **> 65 cm** (Tabla 2.5 de ACI 237)

##### PASO 2: Seleccione el agregado grueso y la proporción (ACI 211.1 y 301)

###### Según ACI 211:

Factor b/b<sub>o</sub> = **0.53** (Tabla 6.3.6 \_ ACI 211)  
 Peso de Agregado Grueso 783.34 kg  
 Volumen de Agregado Grueso 0.30 m<sup>3</sup>

###### Según ACI 237

Categoría I : **≥ 1/2" de TMN**  
 Vol. Absoluto de partida para A.G = 28 % - 32 % (V concreto)  
**Volumen Absoluto de Partida 30%**

Haciendo una equivalencia:

|                  |               |                           |
|------------------|---------------|---------------------------|
| 783.34 kg        | ==>           | 0.30 m <sup>3</sup>       |
| <b>783.34 kg</b> | <b>==&gt;</b> | <b>0.30 m<sup>3</sup></b> |

##### PASO 3: Estime el contenido de cemento y agua requeridos:

El cemento dependerá del Flujo de Asentamiento elegido: (Tabla 4.1 de Norma ACI 237)

**Cemento = 445 kg/m<sup>3</sup>**

Relación agua/cemento:

**\*) Valor típico para agua/cemento :** 0.32 - 0.45 (Tabla 4.2 de ACI 237)  
**a/c = 0.45**

**Agua = 200.25 lt/m<sup>3</sup>**

Aditivo Superplastificante (forma parte de pasta)

Dosificación de Aditivo (% por peso de cemento) = **0.75%**

**P. Aditivo = 3.34 kg**

Aire atrapado en la mezcla (también forma parte de la pasta)

**Según ACI 211**

**Aire Atrapado 2.50%**

#### PASO 4: Calcular el volumen de pasta y mortero

##### Comprobación del Volumen de Pasta:

|                         |         |               |
|-------------------------|---------|---------------|
| Cemento                 | 0.1445  | 14.45%        |
| Agua                    | 0.20025 | 20.03%        |
| Aire                    | 0.0250  | 2.50%         |
| Vol. Aditivo            | 0.0031  | 0.31%         |
| <b>Total de Volumen</b> |         | <b>37.28%</b> |

**Recomendación de porcentaje de pasta: 34 % - 40 % (ACI 237, ítem 4.4.3)**

##### Comprobación del Volumen de Mortero:

Determinamos la cantidad de Agregado Fino

$$VOL_{A.Fino} = 1m^3 - VOL_{Pasta} + VOL_{A.Grueso}$$

|                                 |        |                    |
|---------------------------------|--------|--------------------|
| Vol. Agregado Fino              | 0.3272 | 32.72%             |
| Peso de Agregado Fino           |        | 858.31 kg          |
| Volumen de Pasta                |        | 37.28%             |
| Volumen de Agregado Fino        |        | 32.72%             |
| <b>Total Volumen de Mortero</b> |        | <b>70.00% (OK)</b> |

**Recomendación para porcentaje de mortero: 60 % - 70 % (ACI 237, ítem 4.4.3)**

#### PASO 5: Seleccione la mezcla

##### Materiales por m<sup>3</sup>:

|                            |   |            |
|----------------------------|---|------------|
| Cemento                    | = | 445.00 kg  |
| Agua                       | = | 200.25 lts |
| Agregado Grueso Natural    | = | - kg       |
| Agregado Grueso Reciclado  | = | 692.08 kg  |
| Agregado Fino              | = | 858.31 kg  |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg    |
| a / c                      | = | 0.45       |

##### Aporte de agua de agregados:

|                           |     |           |
|---------------------------|-----|-----------|
| Agregado Fino             | =   | 36.19 lts |
| Agregado Grueso           | =   | - lts     |
| Agregado Grueso Reciclado | = - | 23.72 lts |
|                           |     | 12.47 lts |

##### Materiales Corregidos por Humedad:

|                            |   |            |
|----------------------------|---|------------|
| Cemento                    | = | 445.00 kg  |
| Agua Efectiva              | = | 187.78 lts |
| Agregado Grueso Natural    | = | - kg       |
| Agregado Grueso Reciclado  | = | 706.96 kg  |
| Agregado Fino              | = | 904.58 kg  |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg    |
| a / c efectiva             | = | 0.42       |

**PASO 6: Mezcla de prueba por lotes**

|                                    |         |              |
|------------------------------------|---------|--------------|
| <b>Tanda para Bolsa de Cemento</b> | Factor: | <b>0.096</b> |
| Cemento                            |         | 42.50 kg     |
| Agua                               |         | 17,934.36 g  |
| Agregado Grueso Natural            |         | - g          |
| Agregado Grueso Reciclado          |         | 67,518.27 g  |
| A. Fino                            |         | 86,392.13 g  |
| Aditivo                            |         | 318.75 g     |
| <b>Tanda de Prueba</b>             | Factor: | <b>0.025</b> |
| Cemento                            |         | 11,125 g     |
| Agua                               |         | 4,695 g      |
| Agregado Grueso Natural            |         | - g          |
| Agregado Grueso Reciclado          |         | 17,674 g     |
| A. Fino                            |         | 22,614 g     |
| Aditivo                            |         | 83 g         |

**PASO 7: Corrección por agua restante**

|  |   |          |
|--|---|----------|
| Agua Restante en tanda de 0.025 m <sup>3</sup> | = | 188 g    |
| Agua Restante en 1 m <sup>3</sup>              | = | 7.52 lts |

**Materiales Reales Corregidos por Humedad**

|                            |   |            |
|----------------------------|---|------------|
| Cemento                    | = | 445.00 kg  |
| Agua Efectiva              | = | 180.26 lts |
| Agregado Grueso            | = | - kg       |
| Agregado Grueso Reciclado  | = | 706.96 kg  |
| Agregado Fino              | = | 904.58 kg  |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg    |
| a / c efectiva             | = | 0.41       |

**Materiales Secos por m3**

|                            |   |                                 |
|----------------------------|---|---------------------------------|
| Cemento                    | = | 445.00 kg                       |
| Agua                       | = | 192.73 lts                      |
| Agregado Grueso            | = | - kg                            |
| Agregado Grueso Reciclado  | = | 692.08 kg                       |
| Agregado Fino              | = | 858.31 kg                       |
| Aditivo Superplastificante | = | 3.34 kg                         |
| <b>a / c</b>               | = | <b>0.43 (Relación real a/c)</b> |

## E. Ensayos de Resistencia a Compresión

### E.1 Muestra PATRON

Tabla N° 59: Resultados de ensayos a compresión de probetas PATRON a edades de 7, 14 y 28 días

| ENSAYO A COMPRESIÓN UNIAXIAL                  |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
|---|---------------|-------------|-----------|-------------------------|------------------------------|----------------------|---------------------------|----------|---------------|
| MUESTRA PATRON (7 DÍAS)                       |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
| Tipo de Concreto                              |               |             |           |                         | Patron                       |                      |                           |          |               |
| Porcentaje de Sustitución con A. G. Reciclado |               |             |           |                         | 0%                           |                      |                           |          |               |
| Tipo de Cemento                               |               |             |           |                         | Pacasmayo Tipo I (ASTM C150) |                      |                           |          |               |
| Tipo de Aditivo                               |               |             |           |                         | Z Fluidizante SR 1000        |                      |                           |          |               |
| Edad  |               |             |           |                         | 7 días                       |                      |                           |          |               |
| Código  | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Peso (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga de Rotura (KN)         | Carga de Rotura (kg) | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | % de f'c | Tipo de Falla |
| PATRON (1)                                    | 153.2         | 302.2       | 12.864    | 184.33                  | 635.88                       | 64841.96             | 351.76                    | 83.8%    | 5             |
| PATRON (2)                                    | 151.5         | 301.3       | 12.821    | 180.27                  | 645.93                       | 65866.77             | 365.39                    | 87.0%    | 2             |
| PATRON (3)                                    | 152.0         | 300.9       | 12.755    | 181.46                  | 646.47                       | 65921.84             | 363.29                    | 86.5%    | 2             |
| PATRON (4)                                    | 153.3         | 301.5       | 12.661    | 184.58                  | 646.88                       | 65963.65             | 357.38                    | 85.1%    | 3             |
| PATRON (5)                                    | 151.1         | 298.4       | 12.693    | 179.32                  | 647.51                       | 66027.89             | 368.22                    | 87.7%    | 3             |
| PATRON (6)                                    | 153.4         | 300.3       | 12.684    | 184.82                  | 637.41                       | 64997.97             | 351.69                    | 83.7%    | 2             |
| MUESTRA PATRON (14 DÍAS)                      |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
| Tipo de Concreto                              |               |             |           |                         | Patron                       |                      |                           |          |               |
| Porcentaje de Sustitución con A. G. Reciclado |               |             |           |                         | 0%                           |                      |                           |          |               |
| Tipo de Cemento                               |               |             |           |                         | Pacasmayo Tipo I (ASTM C150) |                      |                           |          |               |
| Tipo de Aditivo                               |               |             |           |                         | Z Fluidizante SR 1000        |                      |                           |          |               |
| Edad  |               |             |           |                         | 14 días                      |                      |                           |          |               |
| Código  | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Peso (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga de Rotura (KN)         | Carga de Rotura (kg) | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | % de f'c | Tipo de Falla |
| PATRON (1)                                    | 153.1         | 302.7       | 12.705    | 184.09                  | 740.67                       | 75527.60             | 410.27                    | 97.7%    | 5             |
| PATRON (2)                                    | 153.2         | 299.1       | 12.762    | 184.33                  | 751.80                       | 76662.55             | 415.89                    | 99.0%    | 2             |
| PATRON (3)                                    | 154.4         | 301.8       | 12.618    | 187.23                  | 737.46                       | 75200.27             | 401.64                    | 95.6%    | 5             |
| PATRON (4)                                    | 151.6         | 298.3       | 12.811    | 180.50                  | 746.12                       | 76083.35             | 421.50                    | 100.4%   | 3             |
| PATRON (5)                                    | 152.3         | 298.3       | 12.733    | 182.18                  | 755.82                       | 77072.48             | 423.07                    | 100.7%   | 3             |
| PATRON (6)                                    | 151.9         | 299.3       | 12.641    | 181.22                  | 739.35                       | 75393.00             | 416.03                    | 99.1%    | 2             |
| MUESTRA PATRON (28 DÍAS)                      |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
| Tipo de Concreto                              |               |             |           |                         | Patron                       |                      |                           |          |               |
| Porcentaje de Sustitución con A. G. Reciclado |               |             |           |                         | 0%                           |                      |                           |          |               |
| Tipo de Cemento                               |               |             |           |                         | Pacasmayo Tipo I (ASTM C150) |                      |                           |          |               |
| Tipo de Aditivo                               |               |             |           |                         | Z Fluidizante SR 1000        |                      |                           |          |               |
| Edad  |               |             |           |                         | 28 días                      |                      |                           |          |               |
| Código  | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Peso (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga de Rotura (KN)         | Carga de Rotura (kg) | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | % de f'c | Tipo de Falla |
| PATRON (1)                                    | 154.9         | 302.0       | 12.805    | 188.45                  | 830.34                       | 84671.43             | 449.31                    | 107.0%   | 2             |
| PATRON (2)                                    | 154.9         | 302.6       | 12.698    | 188.45                  | 833.64                       | 85007.94             | 451.09                    | 107.4%   | 2             |
| PATRON (3)                                    | 152.5         | 301.4       | 12.737    | 182.65                  | 839.77                       | 85633.03             | 468.83                    | 111.6%   | 2             |
| PATRON (4)                                    | 154.3         | 300.3       | 12.683    | 186.99                  | 841.89                       | 85849.21             | 459.11                    | 109.3%   | 2             |
| PATRON (5)                                    | 152.2         | 298.9       | 12.638    | 181.94                  | 833.30                       | 84973.27             | 467.05                    | 111.2%   | 2             |
| PATRON (6)                                    | 151.0         | 301.1       | 12.602    | 179.08                  | 838.83                       | 85537.17             | 477.65                    | 113.7%   | 3             |



## E.2 Muestra MP-25

Tabla N° 60: Resultados de ensayos a compresión de probetas MP-25 a edades de 7, 14 y 28 días

| ENSAYO A COMPRESIÓN UNIAxIAL                  |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
|---|---------------|-------------|-----------|-------------------------|------------------------------|----------------------|---------------------------|----------|---------------|
| MUESTRA MP-25 (7 DÍAS)                        |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
| Tipo de Concreto                              |               |             |           |                         | Patron                       |                      |                           |          |               |
| Porcentaje de Sustitución con A. G. Reciclado |               |             |           |                         | 25%                          |                      |                           |          |               |
| Tipo de Cemento                               |               |             |           |                         | Pacasmayo Tipo I (ASTM C150) |                      |                           |          |               |
| Tipo de Aditivo                               |               |             |           |                         | Z Fluidizante SR 1000        |                      |                           |          |               |
| Edad  |               |             |           |                         | 7 días                       |                      |                           |          |               |
| Código  | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Peso (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga de Rotura (KN)         | Carga de Rotura (kg) | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | % de f'c | Tipo de Falla |
| MP-25 (1)                                     | 151.2         | 302.7       | 12.482    | 179.55                  | 624.35                       | 63666.22             | 354.58                    | 84.4%    | 2             |
| MP-25 (2)                                     | 154.0         | 299.6       | 12.545    | 186.27                  | 631.18                       | 64362.69             | 345.54                    | 82.3%    | 3             |
| MP-25 (3)                                     | 153.3         | 302.7       | 12.619    | 184.58                  | 620.85                       | 63309.32             | 343.00                    | 81.7%    | 2             |
| MP-25 (4)                                     | 152.3         | 299.7       | 12.616    | 182.18                  | 640.56                       | 65319.18             | 358.55                    | 85.4%    | 2             |
| MP-25 (5)                                     | 150.8         | 298.8       | 12.482    | 178.60                  | 637.43                       | 65000.01             | 363.93                    | 86.7%    | 3             |
| MP-25 (6)                                     | 152.4         | 299.2       | 12.518    | 182.41                  | 626.73                       | 63908.91             | 350.35                    | 83.4%    | 5             |
| MUESTRA MP-25 (14 DÍAS)                       |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
| Tipo de Concreto                              |               |             |           |                         | Patron                       |                      |                           |          |               |
| Porcentaje de Sustitución con A. G. Reciclado |               |             |           |                         | 25%                          |                      |                           |          |               |
| Tipo de Cemento                               |               |             |           |                         | Pacasmayo Tipo I (ASTM C150) |                      |                           |          |               |
| Tipo de Aditivo                               |               |             |           |                         | Z Fluidizante SR 1000        |                      |                           |          |               |
| Edad  |               |             |           |                         | 14 días                      |                      |                           |          |               |
| Código  | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Peso (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga de Rotura (KN)         | Carga de Rotura (kg) | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | % de f'c | Tipo de Falla |
| MP-25 (1)                                     | 152.3         | 300.9       | 12.557    | 182.18                  | 731.00                       | 74541.53             | 409.17                    | 97.4%    | 2             |
| MP-25 (2)                                     | 152.7         | 302.4       | 12.543    | 183.13                  | 735.43                       | 74993.27             | 409.50                    | 97.5%    | 2             |
| MP-25 (3)                                     | 152.5         | 298.8       | 12.479    | 182.65                  | 728.60                       | 74296.80             | 406.76                    | 96.8%    | 2             |
| MP-25 (4)                                     | 151.0         | 302.2       | 12.548    | 179.08                  | 731.53                       | 74595.58             | 416.55                    | 99.2%    | 3             |
| MP-25 (5)                                     | 153.9         | 298.4       | 12.462    | 186.02                  | 720.19                       | 73439.21             | 394.79                    | 94.0%    | 5             |
| MP-25 (6)                                     | 154.8         | 299.5       | 12.556    | 188.21                  | 727.34                       | 74168.31             | 394.08                    | 93.8%    | 6             |
| MUESTRA MP-25 (28 DÍAS)                       |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
| Tipo de Concreto                              |               |             |           |                         | Patron                       |                      |                           |          |               |
| Porcentaje de Sustitución con A. G. Reciclado |               |             |           |                         | 25%                          |                      |                           |          |               |
| Tipo de Cemento                               |               |             |           |                         | Pacasmayo Tipo I (ASTM C150) |                      |                           |          |               |
| Tipo de Aditivo                               |               |             |           |                         | Z Fluidizante SR 1000        |                      |                           |          |               |
| Edad  |               |             |           |                         | 28 días                      |                      |                           |          |               |
| Código  | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Peso (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga de Rotura (KN)         | Carga de Rotura (kg) | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | % de f'c | Tipo de Falla |
| MP-25 (1)                                     | 153.7         | 302.7       | 12.446    | 185.54                  | 799.15                       | 81490.92             | 439.21                    | 104.6%   | 2             |
| MP-25 (2)                                     | 153.4         | 301.4       | 12.529    | 184.82                  | 797.30                       | 81302.28             | 439.91                    | 104.7%   | 2             |
| MP-25 (3)                                     | 151.9         | 300.1       | 12.514    | 181.22                  | 809.11                       | 82506.56             | 455.28                    | 108.4%   | 3             |
| MP-25 (4)                                     | 154.3         | 298.8       | 12.475    | 186.99                  | 791.96                       | 80757.75             | 431.88                    | 102.8%   | 6             |
| MP-25 (5)                                     | 154.1         | 301.9       | 12.489    | 186.51                  | 803.48                       | 81932.46             | 439.30                    | 104.6%   | 5             |
| MP-25 (6)                                     | 152.8         | 298.0       | 12.539    | 183.37                  | 798.30                       | 81404.25             | 443.93                    | 105.7%   | 2             |



### E.3 Muestra MP-50

Tabla N° 61: Resultados de ensayos a compresión de probetas MP-50 a edades de 7, 14 y 28 días

| ENSAYO A COMPRESIÓN UNIAXIAL                  |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
|---|---------------|-------------|-----------|-------------------------|------------------------------|----------------------|---------------------------|----------|---------------|
| MUESTRA MP-50 (7 DÍAS)                        |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
| Tipo de Concreto                              |               |             |           |                         | Patron                       |                      |                           |          |               |
| Porcentaje de Sustitución con A. G. Reciclado |               |             |           |                         | 50%                          |                      |                           |          |               |
| Tipo de Cemento                               |               |             |           |                         | Pacasmayo Tipo I (ASTM C150) |                      |                           |          |               |
| Tipo de Aditivo                               |               |             |           |                         | Z Fluidizante SR 1000        |                      |                           |          |               |
| Edad  |               |             |           |                         | 7 días                       |                      |                           |          |               |
| Código  | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Peso (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga de Rotura (KN)         | Carga de Rotura (kg) | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | % de f'c | Tipo de Falla |
| MP-50 (1)                                     | 153.2         | 300.4       | 12.322    | 184.33                  | 611.58                       | 62364.04             | 338.32                    | 80.6%    | 3             |
| MP-50 (2)                                     | 153.4         | 300.3       | 12.416    | 184.82                  | 602.85                       | 61473.82             | 332.62                    | 79.2%    | 5             |
| MP-50 (3)                                     | 152.2         | 300.9       | 12.414    | 181.94                  | 596.13                       | 60788.57             | 334.12                    | 79.6%    | 2             |
| MP-50 (4)                                     | 153.6         | 299.0       | 12.501    | 185.30                  | 612.36                       | 62443.57             | 336.99                    | 80.2%    | 2             |
| MP-50 (5)                                     | 152.8         | 299.3       | 12.328    | 183.37                  | 592.75                       | 60443.90             | 329.62                    | 78.5%    | 5             |
| MP-50 (6)                                     | 152.4         | 302.1       | 12.323    | 182.41                  | 603.95                       | 61585.99             | 337.62                    | 80.4%    | 3             |
| MUESTRA MP-50 (14 DÍAS)                       |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
| Tipo de Concreto                              |               |             |           |                         | Patron                       |                      |                           |          |               |
| Porcentaje de Sustitución con A. G. Reciclado |               |             |           |                         | 50%                          |                      |                           |          |               |
| Tipo de Cemento                               |               |             |           |                         | Pacasmayo Tipo I (ASTM C150) |                      |                           |          |               |
| Tipo de Aditivo                               |               |             |           |                         | Z Fluidizante SR 1000        |                      |                           |          |               |
| Edad  |               |             |           |                         | 14 días                      |                      |                           |          |               |
| Código  | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Peso (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga de Rotura (KN)         | Carga de Rotura (kg) | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | % de f'c | Tipo de Falla |
| MP-50 (1)                                     | 154.7         | 300.8       | 12.405    | 187.96                  | 690.99                       | 70461.63             | 374.87                    | 89.3%    | 5             |
| MP-50 (2)                                     | 153.6         | 300.8       | 12.305    | 185.30                  | 696.20                       | 70992.91             | 383.13                    | 91.2%    | 2             |
| MP-50 (3)                                     | 151.6         | 298.4       | 12.502    | 180.50                  | 685.91                       | 69943.61             | 387.49                    | 92.3%    | 2             |
| MP-50 (4)                                     | 152.5         | 302.4       | 12.397    | 182.65                  | 700.38                       | 71419.15             | 391.01                    | 93.1%    | 3             |
| MP-50 (5)                                     | 151.5         | 300.9       | 12.503    | 180.27                  | 691.25                       | 70488.15             | 391.02                    | 93.1%    | 3             |
| MP-50 (6)                                     | 151.4         | 299.0       | 12.209    | 180.03                  | 691.58                       | 70521.80             | 391.73                    | 93.3%    | 3             |
| MUESTRA MP-50 (28 DÍAS)                       |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
| Tipo de Concreto                              |               |             |           |                         | Patron                       |                      |                           |          |               |
| Porcentaje de Sustitución con A. G. Reciclado |               |             |           |                         | 50%                          |                      |                           |          |               |
| Tipo de Cemento                               |               |             |           |                         | Pacasmayo Tipo I (ASTM C150) |                      |                           |          |               |
| Tipo de Aditivo                               |               |             |           |                         | Z Fluidizante SR 1000        |                      |                           |          |               |
| Edad  |               |             |           |                         | 28 días                      |                      |                           |          |               |
| Código  | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Peso (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga de Rotura (KN)         | Carga de Rotura (kg) | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | % de f'c | Tipo de Falla |
| MP-50 (1)                                     | 152.5         | 298.6       | 12.368    | 182.65                  | 732.14                       | 74657.78             | 408.74                    | 97.3%    | 3             |
| MP-50 (2)                                     | 152.0         | 300.5       | 12.507    | 181.46                  | 750.45                       | 76524.89             | 421.72                    | 100.4%   | 2             |
| MP-50 (3)                                     | 152.2         | 299.9       | 12.413    | 181.94                  | 735.86                       | 75037.12             | 412.44                    | 98.2%    | 3             |
| MP-50 (4)                                     | 153.4         | 302.0       | 12.343    | 184.82                  | 731.89                       | 74632.29             | 403.82                    | 96.1%    | 2             |
| MP-50 (5)                                     | 152.6         | 298.8       | 12.437    | 182.89                  | 732.57                       | 74701.63             | 408.44                    | 97.2%    | 2             |
| MP-50 (6)                                     | 153.5         | 299.7       | 12.401    | 185.06                  | 742.16                       | 75679.54             | 408.95                    | 97.4%    | 2             |

## E.4 Muestra MP-75

Tabla N° 62: Resultados de ensayos a compresión de probetas MP-75 a edades de 7, 14 y 28 días

| ENSAYO A COMPRESIÓN UNIAXIAL                  |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
|---|---------------|-------------|-----------|-------------------------|------------------------------|----------------------|---------------------------|----------|---------------|
| MUESTRA MP-75 (7 DÍAS)                        |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
| Tipo de Concreto                              |               |             |           |                         | Patron                       |                      |                           |          |               |
| Porcentaje de Sustitución con A. G. Reciclado |               |             |           |                         | 75%                          |                      |                           |          |               |
| Tipo de Cemento                               |               |             |           |                         | Pacasmayo Tipo I (ASTM C150) |                      |                           |          |               |
| Tipo de Aditivo                               |               |             |           |                         | Z Fluidizante SR 1000        |                      |                           |          |               |
| Edad  |               |             |           |                         | 7 días                       |                      |                           |          |               |
| Código  | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Peso (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga de Rotura (KN)         | Carga de Rotura (kg) | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | % de f'c | Tipo de Falla |
| MP-75 (1)                                     | 153.9         | 299.7       | 12.196    | 186.02                  | 580.35                       | 59179.45             | 318.13                    | 75.7%    | 2             |
| MP-75 (2)                                     | 152.2         | 299.0       | 12.240    | 181.94                  | 575.13                       | 58647.16             | 322.35                    | 76.8%    | 3             |
| MP-75 (3)                                     | 153.7         | 301.8       | 12.405    | 185.54                  | 568.85                       | 58006.77             | 312.64                    | 74.4%    | 5             |
| MP-75 (4)                                     | 152.3         | 300.4       | 12.345    | 182.18                  | 575.37                       | 58671.63             | 322.06                    | 76.7%    | 3             |
| MP-75 (5)                                     | 153.0         | 302.1       | 12.234    | 183.85                  | 576.92                       | 58829.69             | 319.98                    | 76.2%    | 2             |
| MP-75 (6)                                     | 152.9         | 299.6       | 12.197    | 183.61                  | 576.22                       | 58758.31             | 320.01                    | 76.2%    | 2             |
| MUESTRA MP-75 (14 DÍAS)                       |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
| Tipo de Concreto                              |               |             |           |                         | Patron                       |                      |                           |          |               |
| Porcentaje de Sustitución con A. G. Reciclado |               |             |           |                         | 75%                          |                      |                           |          |               |
| Tipo de Cemento                               |               |             |           |                         | Pacasmayo Tipo I (ASTM C150) |                      |                           |          |               |
| Tipo de Aditivo                               |               |             |           |                         | Z Fluidizante SR 1000        |                      |                           |          |               |
| Edad  |               |             |           |                         | 14 días                      |                      |                           |          |               |
| Código  | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Peso (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga de Rotura (KN)         | Carga de Rotura (kg) | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | % de f'c | Tipo de Falla |
| MP-75 (1)                                     | 151.5         | 298.1       | 12.168    | 180.27                  | 676.12                       | 68945.31             | 382.46                    | 91.1%    | 3             |
| MP-75 (2)                                     | 153.5         | 301.2       | 12.208    | 185.06                  | 676.65                       | 68999.35             | 372.85                    | 88.8%    | 5             |
| MP-75 (3)                                     | 154.6         | 300.1       | 12.385    | 187.72                  | 681.96                       | 69540.83             | 370.45                    | 88.2%    | 6             |
| MP-75 (4)                                     | 152.9         | 300.6       | 12.188    | 183.61                  | 675.74                       | 68906.56             | 375.28                    | 89.4%    | 2             |
| MP-75 (5)                                     | 151.7         | 302.3       | 12.378    | 180.74                  | 679.86                       | 69326.68             | 383.57                    | 91.3%    | 3             |
| MP-75 (6)                                     | 154.0         | 300.0       | 12.408    | 186.27                  | 688.37                       | 70194.47             | 376.85                    | 89.7%    | 2             |
| MUESTRA MP-75 (28 DÍAS)                       |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
| Tipo de Concreto                              |               |             |           |                         | Patron                       |                      |                           |          |               |
| Porcentaje de Sustitución con A. G. Reciclado |               |             |           |                         | 75%                          |                      |                           |          |               |
| Tipo de Cemento                               |               |             |           |                         | Pacasmayo Tipo I (ASTM C150) |                      |                           |          |               |
| Tipo de Aditivo                               |               |             |           |                         | Z Fluidizante SR 1000        |                      |                           |          |               |
| Edad  |               |             |           |                         | 28 días                      |                      |                           |          |               |
| Código  | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Peso (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga de Rotura (KN)         | Carga de Rotura (kg) | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | % de f'c | Tipo de Falla |
| MP-75 (1)                                     | 152.8         | 301.6       | 12.209    | 183.37                  | 704.24                       | 71812.76             | 391.62                    | 93.2%    | 2             |
| MP-75 (2)                                     | 151.9         | 302.2       | 12.157    | 181.22                  | 710.96                       | 72498.01             | 400.06                    | 95.3%    | 3             |
| MP-75 (3)                                     | 152.4         | 298.1       | 12.277    | 182.41                  | 693.80                       | 70748.17             | 387.84                    | 92.3%    | 5             |
| MP-75 (4)                                     | 153.8         | 301.4       | 12.385    | 185.78                  | 713.73                       | 72780.48             | 391.75                    | 93.3%    | 2             |
| MP-75 (5)                                     | 153.1         | 302.2       | 12.407    | 184.09                  | 698.92                       | 71270.27             | 387.14                    | 92.2%    | 6             |
| MP-75 (6)                                     | 154.8         | 302.3       | 12.246    | 188.21                  | 716.55                       | 73068.04             | 388.24                    | 92.4%    | 2             |

## E.5 Muestra MP-100

Tabla N° 63: Resultados de ensayos a compresión de probetas MP-100 a edades de 7, 14 y 28 días

| ENSAYO A COMPRESIÓN UNIAXIAL                  |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
|---|---------------|-------------|-----------|-------------------------|------------------------------|----------------------|---------------------------|----------|---------------|
| MUESTRA MP-100 (7 DÍAS)                       |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
| Tipo de Concreto                              |               |             |           |                         | Patron                       |                      |                           |          |               |
| Porcentaje de Sustitución con A. G. Reciclado |               |             |           |                         | 100%                         |                      |                           |          |               |
| Tipo de Cemento                               |               |             |           |                         | Pacasmayo Tipo I (ASTM C150) |                      |                           |          |               |
| Tipo de Aditivo                               |               |             |           |                         | Z Fluidizante SR 1000        |                      |                           |          |               |
| Edad  |               |             |           |                         | 7 días                       |                      |                           |          |               |
| Código  | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Peso (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga de Rotura (KN)         | Carga de Rotura (kg) | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | % de f'c | Tipo de Falla |
| MP-100 (1)                                    | 153.5         | 302.9       | 12.073    | 185.06                  | 544.86                       | 55560.46             | 300.23                    | 71.5%    | 5             |
| MP-100 (2)                                    | 152.8         | 298.4       | 12.009    | 183.37                  | 537.82                       | 54842.58             | 299.08                    | 71.2%    | 5             |
| MP-100 (3)                                    | 152.8         | 302.6       | 12.183    | 183.37                  | 558.88                       | 56990.11             | 310.79                    | 74.0%    | 3             |
| MP-100 (4)                                    | 153.7         | 301.7       | 12.093    | 185.54                  | 553.70                       | 56461.90             | 304.31                    | 72.5%    | 2             |
| MP-100 (5)                                    | 151.8         | 298.0       | 12.101    | 180.98                  | 555.48                       | 56643.41             | 312.98                    | 74.5%    | 3             |
| MP-100 (6)                                    | 152.2         | 300.2       | 12.103    | 181.94                  | 553.71                       | 56462.92             | 310.34                    | 73.9%    | 2             |
| MUESTRA MP-100 (14 DÍAS)                      |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
| Tipo de Concreto                              |               |             |           |                         | Patron                       |                      |                           |          |               |
| Porcentaje de Sustitución con A. G. Reciclado |               |             |           |                         | 100%                         |                      |                           |          |               |
| Tipo de Cemento                               |               |             |           |                         | Pacasmayo Tipo I (ASTM C150) |                      |                           |          |               |
| Tipo de Aditivo                               |               |             |           |                         | Z Fluidizante SR 1000        |                      |                           |          |               |
| Edad  |               |             |           |                         | 14 días                      |                      |                           |          |               |
| Código  | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Peso (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga de Rotura (KN)         | Carga de Rotura (kg) | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | % de f'c | Tipo de Falla |
| MP-100 (1)                                    | 153.8         | 302.1       | 12.058    | 185.78                  | 627.37                       | 63974.17             | 344.35                    | 82.0%    | 5             |
| MP-100 (2)                                    | 151.4         | 301.7       | 12.094    | 180.03                  | 628.20                       | 64058.81             | 355.83                    | 84.7%    | 2             |
| MP-100 (3)                                    | 152.1         | 300.6       | 12.012    | 181.70                  | 634.74                       | 64725.71             | 356.23                    | 84.8%    | 2             |
| MP-100 (4)                                    | 154.8         | 299.9       | 12.157    | 188.21                  | 647.22                       | 65998.32             | 350.67                    | 83.5%    | 5             |
| MP-100 (5)                                    | 152.3         | 300.3       | 12.163    | 182.18                  | 649.68                       | 66249.17             | 363.66                    | 86.6%    | 3             |
| MP-100 (6)                                    | 151.9         | 302.9       | 12.100    | 181.22                  | 625.14                       | 63746.78             | 351.77                    | 83.8%    | 3             |
| MUESTRA MP-100 (28 DÍAS)                      |               |             |           |                         |                              |                      |                           |          |               |
| Tipo de Concreto                              |               |             |           |                         | Patron                       |                      |                           |          |               |
| Porcentaje de Sustitución con A. G. Reciclado |               |             |           |                         | 100%                         |                      |                           |          |               |
| Tipo de Cemento                               |               |             |           |                         | Pacasmayo Tipo I (ASTM C150) |                      |                           |          |               |
| Tipo de Aditivo                               |               |             |           |                         | Z Fluidizante SR 1000        |                      |                           |          |               |
| Edad  |               |             |           |                         | 28 días                      |                      |                           |          |               |
| Código  | Diámetro (mm) | Altura (mm) | Peso (kg) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Carga de Rotura (KN)         | Carga de Rotura (kg) | f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) | % de f'c | Tipo de Falla |
| MP-100 (1)                                    | 153.7         | 300.1       | 12.122    | 185.54                  | 673.38                       | 68665.91             | 370.09                    | 88.1%    | 2             |
| MP-100 (2)                                    | 153.9         | 299.8       | 12.108    | 186.02                  | 668.44                       | 68162.16             | 366.42                    | 87.2%    | 2             |
| MP-100 (3)                                    | 153.6         | 300.6       | 12.032    | 185.30                  | 662.64                       | 67570.73             | 364.66                    | 86.8%    | 5             |
| MP-100 (4)                                    | 153.8         | 298.7       | 12.129    | 185.78                  | 660.67                       | 67369.84             | 362.63                    | 86.3%    | 6             |
| MP-100 (5)                                    | 153.5         | 299.5       | 12.094    | 185.06                  | 672.21                       | 68546.60             | 370.41                    | 88.2%    | 2             |
| MP-100 (6)                                    | 151.1         | 300.2       | 12.011    | 179.32                  | 663.65                       | 67673.72             | 377.40                    | 89.9%    | 2             |

## F. Constancia de Laboratorio



**GUERSAN INGENIEROS S.R.L.**  
SUPERVISION Y EJECUCIÓN DE OBRAS DE INGENIERÍA.  
ELABORACIÓN DE PERFILES Y EXPEDIENTES TÉCNICOS.  
ENSAYO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
CEL. 939291809 – 976925133 RUC: 20602101488  
CORREO : guersaningenieros@gmail.com

El gerente general de la empresa GUERSAN INGENIEROS S.R.L deja:

### **CONSTANCIA:**

Que el señor **BILER ESMITH BUSTAMANTE MEDINA**, bachiller de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ha realizado ensayos de laboratorio en agregados y concreto para complementar su trabajo de investigación de la tesis titulada: “**INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO POR AGREGADO GRUESO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE DE F’C 420 KG/CM<sup>2</sup> EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA 2022**”. Dichos ensayos se realizaron entre el 01 de mayo al 20 de agosto del año 2022.

Los ensayos efectuados por el señor tesista fueron los siguientes

- Ensayos de propiedades físicas y mecánicas de agregado grueso, fino y grueso reciclado.
- Ensayos de concreto autocompactante en estado fresco.
- Elaboración y ensayos a la compresión de 90 especímenes de concreto (probetas cilíndricas de 6"x12").

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Cajamarca 30 de agosto del 2022

  
GUERSAN INGENIEROS S.R.L.  
Leiner Guerrero Gonzales  
GERENTE GENERAL



## G. Hoja Técnica de Cemento



### Cemento Portland tipo I Requisitos Normalizados

NTP 334.009 / ASTM C150

#### REQUERIMIENTOS QUÍMICOS

| ENSAYOS              | TIPO   | VALOR | UNIDAD | NORMAS DE ENSAYO | RESULTADO (2) |
|----------------------|--------|-------|--------|------------------|---------------|
| MgO                  | Máximo | 6.0   | %      | NTP 334.086      | 2.1           |
| SO <sub>3</sub>      | Máximo | 3.0   | %      | NTP 334.086      | 2.8           |
| Pérdida por ignición | Máximo | 3.5   | %      | NTP 334.086      | 3.1           |
| Residuo insoluble    | Máximo | 1.5   | %      | NTP 334.086      | 0.6           |

#### REQUERIMIENTOS FÍSICOS

| ENSAYOS                            | TIPO   | VALOR          | UNIDAD             | NORMAS DE ENSAYO | RESULTADO (2)  |
|------------------------------------|--------|----------------|--------------------|------------------|----------------|
| Contenido de aire                  | Máximo | 12             | %                  | NTP 334.048      | 8              |
| Finura, Superficie específica      | Mínimo | 2,600          | cm <sup>2</sup> /g | NTP 334.002      | 4000           |
| Expansión en autoclave             | Máximo | 0.80           | %                  | NTP 334.004      | 0.07           |
| <b>Resistencia a la compresión</b> |        |                |                    |                  |                |
| 3 días                             | Mínimo | 12.0<br>(1740) | MPa<br>(psi)       | NTP 334.051      | 29.4<br>(4260) |
| 7 días                             | Mínimo | 19.0<br>(2760) | MPa<br>(psi)       | NTP 334.051      | 36.6<br>(5310) |
| 28 días <sup>(1)</sup>             | Mínimo | 28.0<br>(4060) | MPa<br>(psi)       | NTP 334.051      | 45.3<br>(6570) |
| <b>Tiempo de Fraguado Vicat</b>    |        |                |                    |                  |                |
| Fraguado inicial                   | Mínimo | 45             | Minutos            | NTP 334.006      | 139            |
| Fraguado final                     | Máximo | 375            | Minutos            | NTP 334.006      | 250            |

(1) Requisito opcional

(2) Valores Promedios Referenciales

#### VENTAJAS



Presentaciones: Bolsas de 42.5 kg, granel y big bag de 1TM.



Fecha y hora de envasado: para que utilices el cemento más fresco



Fecha de vencimiento: para aprovechar de mejor manera sus propiedades

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

**Pacasmayo**

## H. Hoja Técnica de Aditivo Superplastificante



EL MEJOR AMIGO DEL CONCRETO

Lima: Av. Los faisanes N° 675 Urb. La Campiña - Chorrillos.  
Telf.: (01) 2523058 Cel.: 998 128 514/ 996 330 130

Hoja Técnica - Edición 20 - Versión 03.20

Plastificantes / Superplastificantes / Reductores de agua

### Z Fluidizante SR-1000

**Descripción:** Aditivo súperplastificante a base de policarboxilatos de última generación especialmente diseñado para la producción de concreto que requiere de un rápido desarrollo de resistencia inicial, alta reducción de agua y excelente trabajabilidad. Cumple con las normas ASTM C 494, Tipo A, F. No contiene cloruro, no es tóxico y no es inflamable.

#### Ventajas

- Extremadamente alta reducción de agua, generando una alta resistencia, densidad e impermeabilidad del concreto
- Incremento del desarrollo de resistencia inicial
- No necesita aumentar el contenido de agua y cemento por m<sup>3</sup>.
- Disminuye la formación de cangrejeras.
- Permite que el concreto obtenga la consistencia necesaria para que sea bombeable.
- Permite que el concreto se acomode mejor a la armadura de acero.
- Disminuye la energía de compactación para la eliminación de vacíos (menor vibrado para compactación).
- Dependiendo de la dosificación y diseño de mezclas se puede obtener mezclas fluidas (slump entre 6" a 9").
- Optimiza la cohesividad durante el mezclado del concreto.

#### Rentabilidad

- Al utilizarlo con la finalidad de reducir agua en el diseño de mezcla se puede ahorrar costos de cemento sin alterar la resistencia de diseño.
- Las propiedades plastificantes que aporta a la mezcla permiten disminución de costos en manipuleo, colocación.
- Evita cangrejeras y con ello gastos adicionales en reparación de concreto luego de desencofrado.
- Permite una menor compactación permitiendo ahorro en costos de vibrado.

La rentabilidad dependerá del buen uso del producto realizando los respectivos reajustes según su diseño y requerimientos del producto final.

#### Usos

Aditivo súperplastificante y reductor de agua en toda mezcla de concreto. De fácil colocación donde se desee reducir un 10% a 30% de agua (opcional), trae a su vez el aumento de resistencia y durabilidad.

Correo: [cotizacion@zaditivos.com.pe](mailto:cotizacion@zaditivos.com.pe) | [ventas@zaditivos.com.pe](mailto:ventas@zaditivos.com.pe) | Página web : [www.zaditivos.com.pe](http://www.zaditivos.com.pe)  
Av. San Luis 3051 - San Borja Tel. (01) 715 5745 - 998 288 456 | Av. Elmer Faucett 1631 - Callao Tel. (01) 715 5770 - 998 128 493  
Chiclayo: Calle Los Tumbos 505 Urb. San Eduardo Tel. (074) 223 718 - 994 278 778 | Pucallpa: Jr. Coronel Portillo 744 Tel. (061) 573 591 - 998 128 495  
Piura: Av. Bolognesi 311 Int.3 Tel. (073) 321 480 - 972 001 351 | Sullana: Av. José de Lama 344 Tel. (073) 509 408 - 923 055 398  
Cuzco: Av. Tomasa Titto Condemayta 1032 - Wanchaq Tel. (084) 257 111 - 994 086 746  
Arequipa: Calle Paucarpata 323A - Cercado Telf. (054) 203 388 - 994 044 894 | Trujillo: Av. América Sur 818 Urb. Palermo Tel. (044) 425 548 - 998 127 657



#### Aplicación

- Se recomienda diluirlo con la última parte del agua de la mezcla para optimizar su dispersión durante el mezclado.
- Agítese antes de usar.

---

#### Cuidados

- Utilizar buenos agregados y un diseño adecuado.
- De acuerdo a las condiciones climatológicas la dosificación del producto puede variar, así como también el slump.
- Para determinar el slump deseado, hacer pruebas en el campo.

#### Densidad

1.09 ± 0.02 Kg. / L

---

#### Rendimiento

De 0.2% a 1.5% sobre el peso del cemento.

Estas dosificaciones dependerán del tipo de diseño del concreto a emplear en cada proyecto específico como también de las condiciones climáticas.

---

#### Envases

- 1 Galón; 5 Galones, 55 Galones, 1000 litros.
- Peso x galón: 4.126Kg = 3.785 L
- Tiempo de Almacenamiento: 1 año en su envase original, bajo sombra.

---

#### Seguridad

- Al momento de utilizar el producto, utilizar guantes de nitrilo, gafas protectoras y mascarilla bucal por precaución.
- Evite en contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias.
- En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico



## I. Panel Fotográfico



Figura N° 27: Obtención de agregados de Cantera Aguilar (Tartar Chico)



Figura N° 28: Obtención de fragmentos de concreto reciclado





Figura N° 29: Obtención de núcleos de diamantina



Figura N° 30: Tamizado de agregados para análisis granulométrico





Figura N° 31: Análisis granulométrico de agregado grueso



Figura N° 32: Peso unitario suelto seco de agregado grueso



Figura N° 33: Peso unitario compactado de agregado grueso



Figura N° 34: Peso unitario suelto seco de agregado fino





Figura N° 35: Peso específico de agregado fino



Figura N° 36: Peso específico de agregado grueso





Figura N° 37: Fragmentos triturados de concreto demolido en condición saturado superficialmente seco (SSS)



Figura N° 38: Muestras de agregado fino, grueso y grueso reciclado obtenido mediante trituración de fragmento de concreto demolido



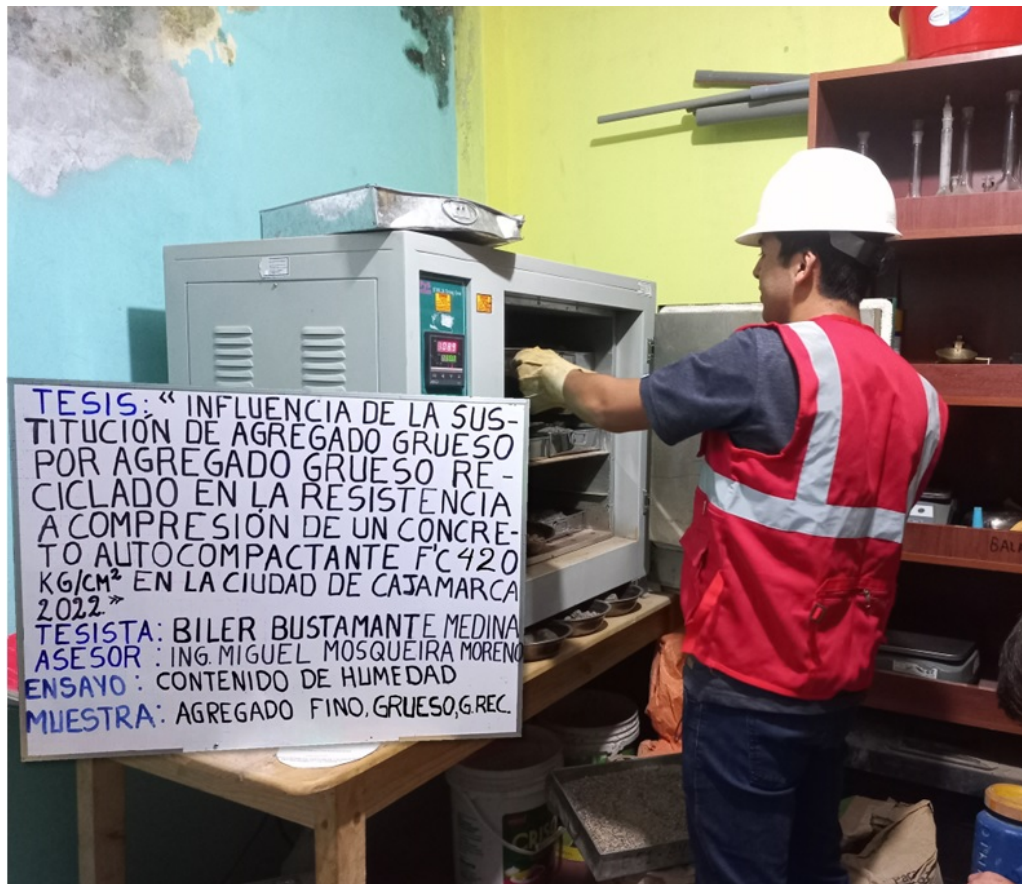


Figura N° 39: Colocación de muestras de agregados en horno



Figura N° 40: Preparación de materiales para tanda de prueba

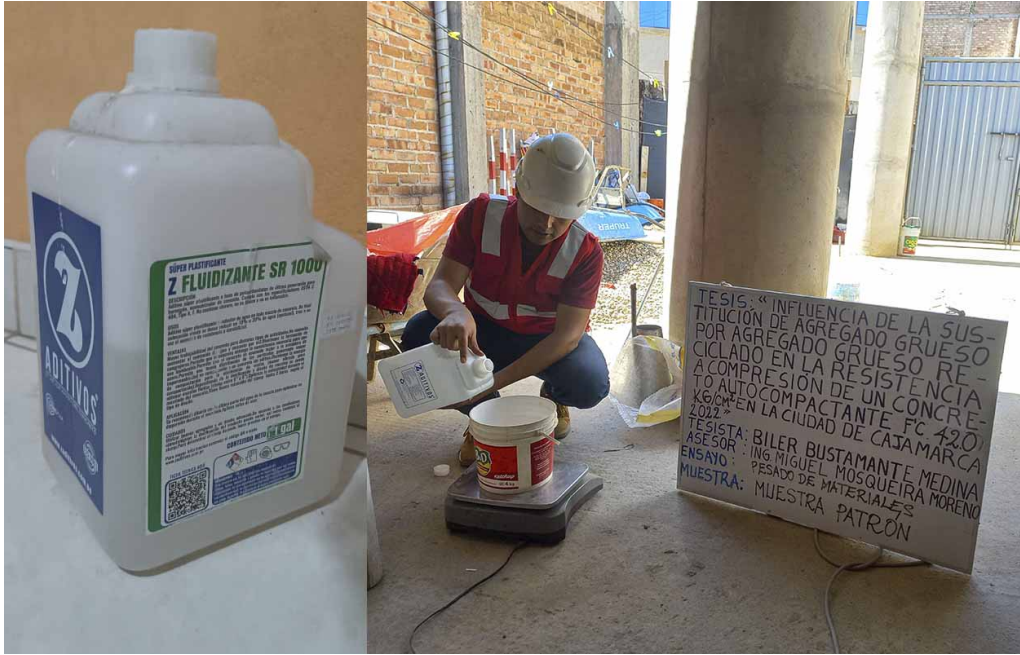


Figura N° 41: Aditivo superplastificante Z-Fluidizante SR 1000

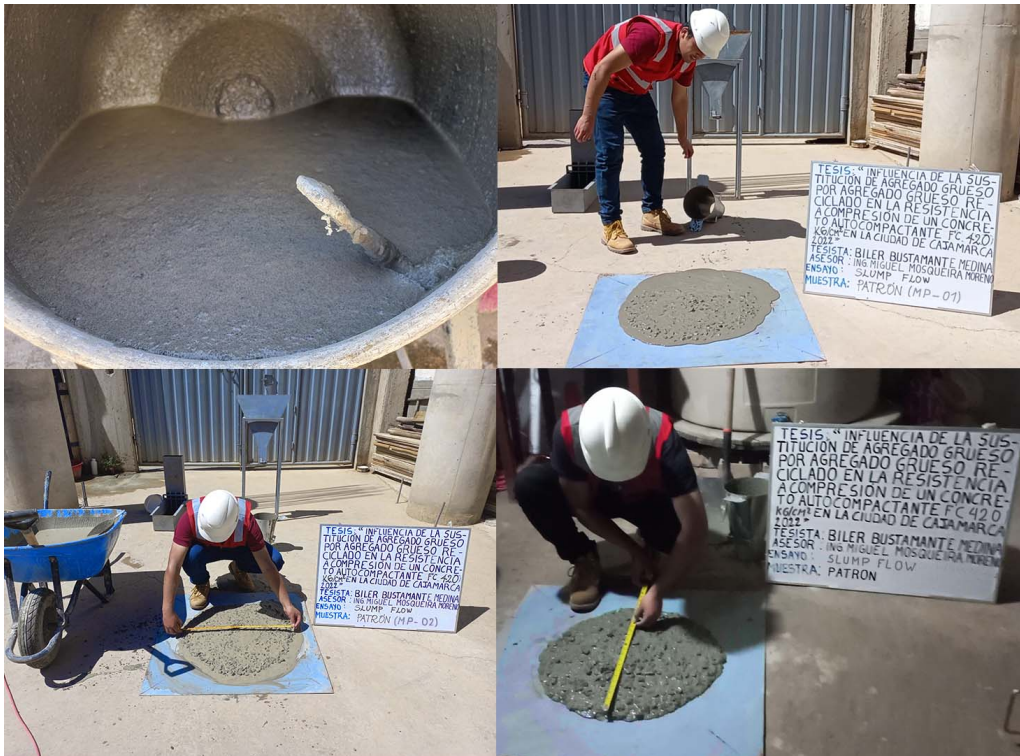


Figura N° 42: Dosificaciones fallidos en busca de una adecuada mezcla de concreto autocompactante





Figura N° 43: Ensayo de extensión de flujo (muestra PATRON)



Figura N° 44: Ensayo de extensión de flujo (muestra MP-25)





Figura N° 45: Ensayo de extensión de flujo (muestra MP-50)



Figura N° 46: Ensayo de extensión de flujo (muestra MP-75)



Figura N° 47: Ensayo de extensión de flujo (muestra MP-100)



Figura N° 48: Realización de ensayo de embudo en V





Figura N° 49: Realización de ensayo de caja en L



Figura N° 50: Rotura de probetas a 7 días de edad



Figura N° 51: Rotura de probetas a 14 días de edad con supervisión de asesor



Figura N° 52: Rotura de probetas a 28 días de edad con supervisión de asesor