

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**Evaluación técnico – económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**Miguel Alonso Piscocoya Velasquez**

**ASESOR**

**Jorge Enrique Alvarez Ruffran**

<https://orcid.org/0000-0002-5321-8500>

**Chiclayo, 2024**

**Evaluación técnico – económica de la incorporación de microesferas  
de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto  
autocompactante**

PRESENTADA POR  
**Miguel Alonso Piscoya Velasquez**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

APROBADA POR

Justo David Pedraza Franco  
PRESIDENTE

Jose Alberto Acero Martinez  
SECRETARIO

Jorge Enrique Alvarez Ruffran  
VOCAL

## **Dedicatoria**

Dedico la elaboración de mi tesis a mis padres Miguel y Ana por brindarme todo su apoyo y respaldo para cumplir con todos mis objetivos, además de su gran motivación a lo largo de mi carrera profesional.

## **Agradecimientos**

A Dios, por brindarme salud y acompañarme a lo largo de mi vida superando todas las dificultades.

A mi madre Ana, por darme su apoyo incondicional para cumplir con todas mis metas.

A mi padre Miguel, por siempre transmitirme confianza para seguir adelante ante las adversidades.

A mi asesor y docentes que gracias a sus enseñanzas se pudo concluir la presente investigación.

## TESIS

### INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](http://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

8%

2

[tesis.usat.edu.pe](http://tesis.usat.edu.pe)

Fuente de Internet

4%

3

[repositorio.uss.edu.pe](http://repositorio.uss.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

4

[docplayer.es](http://docplayer.es)

Fuente de Internet

1%

5

[repositorio.ucv.edu.pe](http://repositorio.ucv.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

6

[bdigital.unal.edu.co](http://bdigital.unal.edu.co)

Fuente de Internet

1%

7

Submitted to Universidad Andina del Cusco

Trabajo del estudiante

<1%

8

[ri.ues.edu.sv](http://ri.ues.edu.sv)

Fuente de Internet

<1%

9

Submitted to Universidad Ricardo Palma

Trabajo del estudiante

<1%



# Índice

Resumen .....	17
Abstract.....	18
Introducción.....	19
Revisión de literatura.....	22
Antecedentes .....	22
Efectos de la adición de microesferas huecas de vidrio en concreto hidraulico .....	22
Concretos ligeros estructurales a base de microesferas de vidrio .....	22
Propiedades de concretos ligeros con adición de microesferas de vidrio hueca.....	23
Potencial de las microesferas de vidrio hueca como reemplazo del cemento para concretos ligeros .....	23
Bases teóricas .....	24
Concreto autocompactante .....	24
Definición CAC .....	24
Ventajas de usar CAC.....	24
Composición del CAC.....	24
Propiedades del CAC .....	29
Concreto en estado fresco .....	29
Trabajabilidad y manejabilidad.....	32
Concreto en estado endurecido .....	32
Resistencia del concreto.....	33
Aditivos.....	34
Composición de la mezcla de CAC .....	35
Diseño de mezcla para un CAC .....	36
Ajuste de la mezcla .....	37
Especificaciones generales del CAC.....	38

Normas aplicadas .....	39
Norma de ensayo de agregados.....	39
Norma ACI 237-R.....	41
Descripción de ensayos .....	42
Ensayos concreto en estado fresco.....	42
Ensayo del concreto en estado endurecido .....	48
Microesferas de vidrio.....	52
Composición química de las microesferas de vidrio .....	53
Método de elaboración de microesferas de vidrio .....	53
Aplicaciones.....	53
<b>Materiales y métodos.....</b>	<b>55</b>
Tipo de investigación .....	55
Con respecto al fin que se persigue.....	55
Con respecto a los datos analizados.....	55
Con respecto a la metodología para comprobar la hipótesis.....	55
Nivel de investigación.....	55
Medición del efecto de la variable independiente.....	55
Población, muestra y muestreo .....	55
Población .....	55
Muestra .....	56
Muestreo .....	56
Diseño de la investigación .....	58
Variables dependiente e independiente.....	58
Operacionalización de variables .....	59
Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	60
Procedimiento para la recolección de datos .....	61
Técnicas de investigación .....	61

Técnicas de recolección de información.....	62
Procedimiento para la recolección de datos.....	62
Consideraciones éticas .....	96
<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>97</b>
Ensayo a agregados .....	97
Granulometría del Agregado Fino .....	97
Granulometria del agregado grueso .....	98
Ensayo de porcentaje de humedad al agregado fino y grueso .....	99
Ensayo de peso unitario suelto seco y compactado seco del agregado fino .....	99
Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso .....	100
Ensayo de peso específico y de absorción del agregado fino y grueso.....	100
Cuadro resumen de los datos obtenidos de los ensayos.....	101
Diseño de mezcla según la norma ACI 237 – R .....	101
Ensayo al CAC en estado fresco .....	102
Ensayo de asentamiento.....	102
Ensayo de la caja de paso L .....	103
Ensayo del embudo V .....	104
Ensayo del anillo Japones “J” .....	105
Peso unitario del concreto.....	105
Ensayo de temperatura del concreto en estado fresco.....	106
Ensayo al CAC en estado endurecido .....	106
Ensayo de resistencia a la compresión.....	106
Ensayo de resistencia a la tracción indirecta.....	109
Ensayo de módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson .....	109
Discusiones .....	119
Propiedades de las Microesferas de vidrio.....	119
Propiedades del agregado grueso y fino .....	119
Ensayo de asentamiento.....	120
Ensayo de Caja de Paso L.....	122
Ensayo del Embudo V .....	123
Ensayo del Anillo Japones “J”.....	124

Peso unitario del concreto.....	126
Temperatura del concreto en estado fresco.....	127
Ensayo de resistencia a la compresión.....	128
Ensayo de resistencia a la traccion indirecta.....	133
Ensayo de módulo de elasticidad del concreto .....	133
Ensayo del coeficiente de Poisson .....	135
Analisis de evaluación económica.....	135
<b>Conclusiones .....</b>	<b>141</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>144</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>145</b>

## Lista de tablas

Tabla 1: Parámetros máximos admisibles - Niño Hernández. J. Tecnología del concreto .....	26
Tabla 2: División del agregado según su tamaño - Parámetros máximos admisibles - Fuente - Tecnología del concreto .....	28
Tabla 3: Clasificación según densidad - Fuente - Niño Hernández. J. Tecnología del concreto .....	29
Tabla 4: Pasta con diferente concentración de cemento - Manual de Tecnología del Concreto Tomo II.....	31
Tabla 5: Requisitos CAC - (European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems).....	38
Tabla 6: Criterios según la Norma ACI 237-R .....	41
Tabla 7: Composición química de Microesferas de vidrio Ballotini M 247 - Tipo I.....	53
Tabla 8: Especificaciones de Microesferas Ballotini M 247 - Tipo I .....	54
Tabla 9: Granulometría de Microesferas Ballotini M247 - Tipo I.....	54
Tabla 10: N° de muestras de los ensayos aplicados al concreto .....	56
Tabla 11: Antecedentes científicos .....	57
Tabla 12: Operacionalización de las variables y sus ensayos correspondientes .....	59
Tabla 13: Instrumentos necesarios en cada ensayo.....	60
Tabla 14: Contenido de aire de acuerdo con el $f'_{cr}$ - Norma N.T.P E.060.....	73
Tabla 15: Slump elegido - ACI 237-R .....	74
Tabla 16: Volumen de la pasta .....	76
Tabla 17: Volumen de la pasta + agregados .....	76
Tabla 18: Corrección por humedad.....	77
Tabla 19: Aporte de agua en la mezcla .....	77
Tabla 20: Valores corregidos .....	77
Tabla 21: Dosificación de materiales .....	78
Tabla 22: Comparación de los parámetros de la norma y los diseños .....	78
Tabla 23: Dosificación para probeta de D=15cm y H=30cm.....	79
Tabla 24: Dosificación para probetas de D=15cm y H=30cm .....	79

Tabla 25: Slump obtenido en laboratorio para la dosificación de aditivo.....	79
Tabla 26: Resultados - Granulometría A.F .....	97
Tabla 27: Resultados - Granulometría A.G.....	98
Tabla 28: Porcentaje del contenido de humedad - A.F .....	99
Tabla 29: Porcentaje del contenido de humedad - A.G.....	99
Tabla 30: Resultado del peso unitario suelto seco de A.F .....	99
Tabla 31: Resultado del peso unitario compactado seco de A.F.....	99
Tabla 32: Resultado del peso unitario suelto seco de A.G.....	100
Tabla 33: Resultado del peso unitario compactado seco de A.G .....	100
Tabla 34: Peso específico y de absorción del A.F.....	100
Tabla 35: Peso específico y de absorción del A.G .....	100
Tabla 36: Resumen de ensayos a agregados .....	101
Tabla 37: Dosificación por m <sup>3</sup> de concreto - Muestra patrón.....	101
Tabla 38: Dosificación por m <sup>3</sup> de concreto - Muestra al 2% de microesferas de vidrio .....	101
Tabla 39: Dosificación por m <sup>3</sup> de concreto - Muestra al 5% de microesferas de vidrio .....	101
Tabla 40: Dosificación por m <sup>3</sup> de concreto - Muestra al 7% de microesferas de vidrio .....	102
Tabla 41: Relación agua cemento de las muestras en estudio.....	102
Tabla 42: Slump obtenido en laboratorio .....	102
Tabla 43: Tiempo T50 obtenido en laboratorio .....	103
Tabla 44: Resultado de fluidez Caja L - M. Patrón.....	103
Tabla 45: Resultado de fluidez Caja L - 2% Microesferas de vidrio .....	103
Tabla 46: Resultado de fluidez Caja L - 5% Microesferas de vidrio .....	104
Tabla 47: Resultado de fluidez Caja L - 7% Microesferas de vidrio .....	104
Tabla 48: Resultado de ensayo del embudo V - Muestras de CAC .....	104
Tabla 49: Resultados de diámetros - Anillo J .....	105
Tabla 50: Resultados de relación de alturas externas e internas - Anillo J .....	105
Tabla 51: Resultados del ensayo de peso unitario en estado fresco para las muestras de CAC .....	106

Tabla 52: Resultados ensayo de temperatura .....	106
Tabla 53: Resistencia a la compresión de Muestra Patrón.....	107
Tabla 54: Resistencia a la compresión muestra al 2% de microesferas de vidrio como reemplazo del cemento.....	107
Tabla 55: Resistencia a la compresión muestra al 5% de microesferas de vidrio como reemplazo del cemento.....	108
Tabla 56: Resistencia a la compresión muestra al 7% de microesferas de vidrio como reemplazo del cemento.....	108
Tabla 57: Resultados de ensayo de tracción indirecta.....	109
Tabla 58: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra Patrón .....	110
Tabla 59: Módulo de elasticidad - Muestra Patrón .....	110
Tabla 60: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra Patrón .....	111
Tabla 61: Módulo de elasticidad - Muestra Patrón .....	111
Tabla 62: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra con 2% HGM .....	112
Tabla 63: Módulo de elasticidad - Muestra 2% HGM.....	112
Tabla 64: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra con 2% HGM .....	113
Tabla 65: Módulo de elasticidad - Muestra 2% HGM.....	113
Tabla 66: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra con 5% HGM .....	114
Tabla 67: Módulo de elasticidad - Muestra 5% HGM.....	114
Tabla 68: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra con 5% HGM .....	115
Tabla 69: Módulo de elasticidad - Muestra 5% HGM.....	115
Tabla 70: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra con 7% HGM .....	116
Tabla 71: Módulo de elasticidad - Muestra 7% HGM.....	116
Tabla 72: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra con 7% HGM .....	117
Tabla 73: Módulo de elasticidad - Muestra 7% HGM.....	117
Tabla 74: Coeficiente de Poisson - Muestra Patrón .....	118
Tabla 75: Coeficiente de Poisson - 2% de HGM .....	118
Tabla 76: Coeficiente de Poisson - 5% de HGM .....	118

Tabla 77: Coeficiente de Poisson - 7% de HGM .....	118
Tabla 78: Comparación de resultados de ensayo a al agregado grueso .....	119
Tabla 79: Comparación de resultados de ensayo a al agregado fino .....	119
Tabla 80: Análisis de costos unitarios para 1 m <sup>3</sup> de CAC.....	136
Tabla 81: Costos de mano de obra – Datos obtenidos de Vivienda e Interés Social .....	137
Tabla 82: Factores de rendimiento para concreto premezclado - Datos obtenidos de Vivienda e Interés Social .....	137
Tabla 83: Análisis de costos unitarios - CAC patrón.....	137
Tabla 84: Análisis de costos unitarios - CAC 2% HMG.....	138
Tabla 85: Análisis de costos unitarios - CAC 5% HGM.....	138
Tabla 86: Análisis de costos unitarios - CAC 7% HGM.....	139
Tabla 87: Costo de producción de 45 m <sup>3</sup> de CAC.....	139
Tabla 88: Reducción de precios de CAC con dosificación de HGM.....	140



## Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Calor de hidratación - Fuente - Niño Hernández. J. Tecnología del concreto Tomo 1. ....	25
Ilustración 2: Manual de Tecnología del Concreto Tomo II. CFE.....	34
Ilustración 3: Procedimiento para el diseño de mezcla. LACER. Self-Compacting Concrete (SCC).....	36
Ilustración 4: Procedimiento para el ajuste de mezcla - (European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems) .....	37
Ilustración 5: Usos granulométricos según N.T.P 400.037 .....	40
Ilustración 6: Selección de escurrimiento - ACI 237-R .....	41
Ilustración 7: Selección de cantidad de cemento - ACI 237-R .....	42
Ilustración 8: Dimensiones del cono de Abrams -Niño Hernández. J. Tecnología del concreto Tomo 1. ....	42
Ilustración 9: Procedimiento ensayo de escurrimiento – F. Bardisa - Consistencia del hormigón .....	43
Ilustración 10: Embudo V cilíndrico - M. Bravo Sobrino, Caracterización y utilización del hormigón autocompactable .....	44
Ilustración 11: Embudo V triangular - M. Bravo Sobrino, Caracterización y utilización del hormigón autocompactable .....	44
Ilustración 12: Caja L - M. Bravo Sobrino, Caracterización y utilización del hormigón autocompactable.....	45
Ilustración 13: Dimensiones caja L - M. Bravo Sobrino, Caracterización y utilización del hormigón autocompactable .....	45
Ilustración 14: Ensayo Anillo J - M. Bravo Sobrino, Caracterización y utilización del hormigón autocompactable .....	46
Ilustración 15: Dimensiones anillo J - M. Bravo Sobrino, Caracterización y utilización del hormigón autocompactable .....	46
Ilustración 16: Peso unitario del concreto - Laboratorio N°3 - Universidad Ricaldo Palma ...	47
Ilustración 17: Temperatura del concreto en estado fresco – Ensayo practicado por Edgard Saldaña .....	47
Ilustración 18: Proceso del ensayo de resistencia a la compresión - Niño J - Tecnología del concreto: materiales, propiedades y diseño de mezclas .....	48
Ilustración 19: Configuración de carga (a), ruptura de probeta por tracción indirecta .....	49

Ilustración 20: Criterios que definen el módulo de elasticidad del concreto sometido a fuerzas de compresión (ASTM C-469).....	50
Ilustración 21: Criterio para definir la relación de Poisson cuando está sometido a una fuerza de compresión (ASTM C469).....	52
Ilustración 22: Foto de Microesferas de Vidrio Ballotini M247 - Tipo I.....	52
Ilustración 23: Proceso de zarandeo para el tamizado .....	65
Ilustración 24: Muestras retenidas en los diversos tamices.....	65
Ilustración 25: Peso compactado de muestra de agregado grueso .....	66
Ilustración 26: Peso compactado de muestra de agregado fino .....	67
Ilustración 27: Varillado de muestra de agregado fino .....	67
Ilustración 28: Tamizado de muestra de agregado fino - Malla N°4 .....	68
Ilustración 29: Comprobación de la muestra superficialmente seca .....	69
Ilustración 30: Apisonamiento de muestra en el cono .....	69
Ilustración 31: Eliminación de aire manualmente.....	69
Ilustración 32: Muestra + fiola + agua.....	69
Ilustración 33: Secado superficial de la muestra.....	70
Ilustración 34: Muestra superficialmente seca .....	71
Ilustración 35: Muestra sumergida en la canastilla bajo agua.....	71
Ilustración 36: Peso seco del agregado grueso.....	72
Ilustración 37: Peso seco del agregado fino .....	72
Ilustración 38: Fuente - N.T.P. E060 .....	73
Ilustración 39: Ensayo del Cono de Abrams .....	80
Ilustración 40: Escurrimiento de muestra de CAC – 2% aditivo .....	80
Ilustración 41: Slump 2 - Aditivo al 2% .....	80
Ilustración 42: Slump 1 - Aditivo al 2% .....	80
Ilustración 43: Slump 2 - Aditivo al 1% .....	81
Ilustración 44: Slump 1 - Aditivo al 1% .....	81
Ilustración 45: Verificación de resistencia a la compresión del diseño de mezcla .....	81

Ilustración 46: Ruptura de la muestra piloto .....	82
Ilustración 47: Slump de muestra patrón.....	83
Ilustración 48: Slump de muestra al 2% de microesferas de vidrio .....	83
Ilustración 49: Slump de muestra al 5% de microesferas de vidrio .....	83
Ilustración 50: Slump al 7% de microesferas de vidrio .....	84
Ilustración 51: Proceso de llenado de la caja vertical- Caja de paso L .....	85
Ilustración 52: Proceso de abertura de la compuerta - Caja de paso L .....	85
Ilustración 53: Toma de medidas - Caja de paso L .....	86
Ilustración 54: Proceso de llenado Embudo V .....	87
Ilustración 55: Registro de tiempo de paso por el Embudo V .....	88
Ilustración 56: Elevación del cono de Abrams y flujo de la muestra de CAC por el anillo J..	89
Ilustración 57: Medida del diámetro de flujo del CAC por el anillo J.....	90
Ilustración 58: Medidas de H1 de muestra retenida por el anillo J .....	90
Ilustración 59: Llenado del molde con muestra de CAC .....	91
Ilustración 60: Peso de muestra de CAC + molde .....	91
Ilustración 61: Vaciado de CAC .....	92
Ilustración 62: Medición de temperatura en estado fresco del concreto .....	92
Ilustración 63: Ubicación de la probeta en la prensa hidráulica .....	93
Ilustración 64: Resultado de prensa hidráulica .....	94
Ilustración 65: Falla de probeta.....	94
Ilustración 66: Ubicación de probeta en la presa hidráulica para ensayo de tracción indirecta	94
Ilustración 67: Falla por tracción de probeta cilíndrica.....	95
Ilustración 68: Deformaciones al momento de falla de la muestra de concreto .....	96
Ilustración 69: Lectura de deformaciones longitudinales y diametrales .....	96
Ilustración 70: Curva granulométrica A-F .....	97
Ilustración 71: Curva granulométrica A-G.....	98

## Lista de gráficos

Gráfico 1: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra Patrón .....	110
Gráfico 2: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra Patrón .....	111
Gráfico 3: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra con 2% HGM .....	112
Gráfico 4: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra con 2% HGM .....	113
Gráfico 5: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra con 5% HGM .....	114
Gráfico 6: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra con 5% HGM .....	115
Gráfico 7: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra con 7% HGM .....	116
Gráfico 8: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra con 7% HGM .....	117
Gráfico 9: Comparación de resultados de ensayo de asentamiento - Slump .....	120
Gráfico 10: Comparación de resultados ensayo de asentamiento - Tiempo T50.....	121
Gráfico 11: Comparación de resultados ensayo de Caja de Paso L - Relación H2/H1.....	122
Gráfico 12: Comparación de resultados ensayo de Embudo V - Tiempo de fluidez.....	123
Gráfico 13: Comparación resultados del Anillo J - Asentamiento obtenido.....	124
Gráfico 14: Comparación de resultados ensayo del Anillo J - Relación H2/H1 .....	125
Gráfico 15: % de tendencia de uniformidad - Anillo J .....	126
Gráfico 16: Comparación de resultados ensayo de peso unitario del concreto.....	127
Gráfico 17: Comparación de resultados de temperatura del concreto en estado fresco.....	128
Gráfico 18: Resultados de resistencia a la compresión - Muestra Patrón vs F'c Teórico .....	129
Gráfico 19: Resistencia a la compresión - Muestra 2% de HGM vs Muestra Patrón .....	130
Gráfico 20: Resultados de resistencia a la compresión - Muestra 5% de HGM vs Muestra Patrón .....	131
Gráfico 21: Gráfico 13: Resultados de resistencia a la compresión - Muestra 7% de HGM vs Muestra Patrón .....	132
Gráfico 22: Curva de resistencia - Muestra Patrón vs Muestras con HGM.....	132
Gráfico 23: Comparación de muestra patrón vs Combinaciones de HGM.....	133
Gráfico 24: Resultados - Módulo de elasticidad del concreto .....	134
Gráfico 25: Resultados Coeficiente de Poisson .....	135

## Resumen

El presente artículo está enfocado en analizar las propiedades del concreto con dosificación de microesferas de vidrio en 2%, 5% y 7% como reemplazo parcial del cemento. Según los lineamientos de la norma ACI 237 – R, se conservó la relación a/c en todas las combinaciones. A partir de ello se realizó ensayos de asentamiento, caja de paso L, embudo V, anillo J, temperatura, peso unitario, compresión, tracción, módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson. Observándose que, con las diversas combinaciones, se mejora notablemente las propiedades del concreto en estado fresco. Reduce la viscosidad, aumenta la velocidad de flujo, el asentamiento, uniformidad y capacidad de paso, siendo la combinación más incidente el del 7% de HGM. Sin embargo, las combinaciones de HGM en el concreto en estado endurecido se nota una reducción de resistencia de tracción y compresión respecto a la muestra patrón, pero cumpliendo con la resistencia solicitada de 350 kg/cm<sup>2</sup>. A pesar de eso, la dosificación del 5% tuvo una disminución casi despreciable. Siendo este último la dosificación óptima para elaborar concreto autocompactante.

**Palabras clave:** Microesferas de vidrio (HGM), Concreto autocompactante (CAC), Trabajabilidad, Fluidez.

### **Abstract**

This paper is focused on analyzing the properties of concrete with glass microspheres dosed at 2%, 5% and 7% as a partial replacement of cement. According to the guidelines of the ACI 237 - R standard, the w/c ratio was preserved in all combinations. Based on this, slump, L-box, V-funnel, J-ring, temperature, unit weight, compression, tensile, modulus of elasticity and Poisson's coefficient tests were carried out. It was observed that, with the different combinations, the properties of the concrete in its fresh state are significantly improved. It reduces viscosity, increases flow velocity, slump, uniformity and flow capacity, with the most common combination being 7% HGM. However, the combinations of HGM in the hardened concrete show a reduction in tensile and compressive strength with respect to the standard sample, but comply with the requested strength of 350 kg/cm<sup>2</sup>. In spite of this, the 5% dosage had an almost negligible decrease. The latter being the optimum dosage for making self-compacting concrete.

**Keywords:** Glass microspheres (HGM), self-compacting concrete (CAC), Workability, Fluidity.

## Introducción

En la sociedad actual, los avances tecnológicos representan un indicador muy importante para desarrollo de una población, estando muy conectados al concepto de desarrollo sostenible, y la preocupación acerca de los cambios ambientales. Esto, llevado al ámbito de la ingeniería civil, conlleva a la búsqueda de nuevas tecnologías que cumpla con los exigentes requisitos para las construcciones residenciales e infraestructuras industriales, y que, al mismo tiempo, se preserven los ecosistemas.[1]

Los concretos autocompactantes (CAC) surgieron como una nueva tecnología a partir de la década de los años 80, cuya propuesta fue realizada por el docente Okumura, de la universidad de Tokio y que nace por la constante preocupación por mejorar los problemas de durabilidad en las infraestructuras. El principal desarrollo de este nuevo tipo de concreto se basa en la mejora de la trabajabilidad, al mismo tiempo de su alta resistencia a la segregación y optimización del tiempo.[2]

Lamentablemente, cuando se fabrica los diferentes tipos de concreto, se hace imprescindible la extracción de agregados (explotación de recursos naturales) y sobre todo la producción del cemento (emisión de gases tóxicos) dejando un impacto negativo considerable en el ambiente. Un informe científico de Robbie Andrew del centro CICERO, indica que en los años del 2015 al 2021, la de emisión de CO<sub>2</sub> a consecuencia de la fabricación del cemento ha duplicado sus valores a 2.900 millones de toneladas, lo que equivale al 7% de dióxido de carbono generado en la tierra.[3]

En el Perú, como consecuencia del crecimiento acelerado y desordenado de las zonas rurales, al mismo tiempo el aumento de construcciones informales, trajeron como producto un mayor requerimiento de cementos y explotación de canteras para agregados. Según investigaciones realizadas por D. Gonzales y M. Saldaña en el año 2019 a la compañía de cementos Pacasmayo S.A.A, en el centro poblado de Pacasmayo, departamento de la Libertad, concluye que en la zona de estudio existe un impacto negativo grave a la salud de la sociedad, afectando prioritariamente la troposfera de la zona. La generación de este problema ocurre principalmente en la etapa final de la producción, a causa de gases tóxicos emitidos por chimeneas al ambiente.[4]

De acuerdo con lo anterior, es requerido la investigación de nuevas alternativas de adición al concreto, que ayuden a reducir la producción y el uso de estos elementos contaminantes, disminuyendo así estos aspectos negativos, sin descuidar las propiedades mecánicas obtenidas en el concreto, su viabilidad económica y disponibilidad. En cuanto a los avances de nuevas

adiciones, se destacan investigaciones destinadas a evaluar y determinar el comportamiento de nuevos materiales para formar parte del concreto, sin perder un óptimo desempeño y reduciendo la dosificación del cemento.[5]

En estos últimos años, las microesferas de vidrio (cuyas siglas en inglés son HGM) han sido motivos de estudio, llamando la atención por su composición y su excelente comportamiento para ser material de fusión de ciertos polímeros. Estos elementos, son partículas de vidrio de pared delgada con un tamaño semejante al polvo, cuyas características están sus dimensiones con un diámetro bastante contenido, la reducida densidad que presenta y su capacidad de resistir fuerzas de compresión y cortantes. Todas estas cualidades son muy llamativas para el área de ingeniería civil.[5]

En las diversas revisiones experimentales donde relacionan el HGM con respecto al concreto, tiene un principal enfoque en realizar ensayos del concreto en estado endurecido, donde se compara una muestra patrón con respecto a una muestra de porcentaje única de reemplazo de cemento o agregado fino. En los estudios se sugieren la búsqueda de una dosificación adecuada de microesferas de vidrio, además de evaluar el impacto en las características del estado fresco del CAC.[5]

A partir de esto surge la siguiente pregunta, ¿cuál es la influencia técnico – económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante? Donde la hipótesis que responde a esto es que la adición de microesferas de vidrio como reemplazo parcial del cemento, incrementa considerablemente las propiedades mecánicas del concreto; además, genera menos gastos de producción de concreto autocompactante por metro cúbico.

En la presente investigación tiene como objetivo principal evaluar la influencia de incorporar microesferas de vidrio como reemplazo parcial del cemento en el concreto autocompactante en porcentajes del 2%, 5% y 7%, en las propiedades mecánicas en estado fresco y endurecido. Para poder cumplir con lo anterior, se tiene los siguientes objetivos específicos: realizar la caracterización de las microesferas de vidrio; diseñar un concreto autocompactante de muestra patrón y muestras de concretos autocompactante con microesferas de vidrio a 2%, 5% y 7% como reemplazo del cemento; determinar las propiedades mecánicas del concreto autocompactante en estado fresco y endurecido adicionado con microesferas de vidrio al 2%, 5% y 7% como reemplazo del cemento; verificar con respecto a la muestra patrón, las propiedades obtenidas del concreto autocompactante en estado fresco y endurecido adicionadas con microesferas de vidrio a 2%, 5% y 7% como reemplazo del cemento; evaluar la factibilidad



económica de incorporar microesferas de vidrio en el diseño de mezcla del concreto autocompactante en relación con una muestra convencional.

De esta manera, la investigación tiene como justificación técnica evaluar la eficiencia de las microesferas de vidrio como nuevo insumo para el concreto autocompactante con un  $f'c = 350$  kg/cm<sup>2</sup>, con la finalidad de que las propiedades en estado fresco del concreto tengan una mejoría y en estado endurecido sigan cumpliendo con las propiedades mecánicas de un concreto autocompactante convencional.

Socialmente, se justifica gracias a la creciente demanda por el tipo de concreto autocompactante en hospitales y edificios, donde el propósito de introducir microesferas de vidrio a un concreto se traduce a que cumpla con los requisitos de un concreto convencional, proporcionando seguridad en los diseños.

Además, analizando la baja densidad que tiene las microesferas de vidrio, existe una tendencia a reducir notablemente el peso de una estructura, esto puede producir una disminuir las dimensiones de una cimentación y de esta forma los costos de construcción. Otros factores, es la propiedad térmica que poseen, lo que puede generar rentabilidad en ciertos edificios o construcciones residenciales.

## **Revisión de literatura**

### **Antecedentes**

Se realizó una investigación referente a la influencia de las HGM en las características del concreto, donde principalmente usaban este material como parte de agregado fino o fracción de pasta.

#### ***Efectos de la adición de microesferas huecas de vidrio en concreto hidráulico***

En esta investigación el ingeniero Sergio Alexander Gómez Nemocón, magister de la Universidad Nacional de Colombia, quien ejecuto el estudio mediante una comparación de una muestra patrón (sin adición de HGM), y otro espécimen con adición de HGM al 5% de reemplazo del cemento. [5]

Como parte de su metodología, realizó una calificación de los agregados usados, para realizar el diseño de mezcla de concreto hidráulico. A partir de esto, realizó pruebas para establecer las características del concreto en estado fresco y endurecido. [5]

En sus conclusiones, destacan para un estado fresco, las propiedades aumentaron de forma óptima, permitiendo que sea más fluido y su asentamiento sea con mayor libertad. Para el estado endurecido, los ensayos de compresión, tracción y flexión que se realizaron determinaron que la variación entre ambas muestras fue mínima con respecto a la muestra patrón, Por lo que se determinó que las HGM es un buen aditivo para considerarse en el concreto hidráulico.[5]

#### ***Concretos ligeros estructurales a base de microesferas de vidrio***

En el siguiente estudio, se evaluó la adición de HGM a concretos hidráulicos y morteros poliméricos, donde resaltan la baja densidad y alta resistencia a la compresión que ofrecen estas microesferas de vidrio.[6]

En la metodología, realizaron una muestra patrón y otra muestra con HGM, tratando de conservar una relación de agua cemento de aproximadamente 0.45 en todas las muestras. [6]

El porcentaje de adición que usa es de 6.7% como reemplazo de los agregados, obteniendo un aumento ligero en los ensayos de resistencia a la compresión y una disminución considerable del peso volumétrico en un porcentaje del 17%. [6]

### ***Propiedades de concretos ligeros con adición de microesferas de vidrio hueca***

En esta investigación, se enfocó principalmente en la influencia reológica que tiene las HGM en el concreto autocompactante, donde se destacan mejoras considerables en la trabajabilidad y estabilidad de los materiales cementicios.[7]

En la formulación de la investigación, se realizó una muestra patrón y otra con un reemplazo del 5% de HGM por cemento. Para el estado fresco se realizaron ensayos de anillo J y la caja L, y el análisis del comportamiento de ambas muestras comparando los modelos Bingham y el de Bingham modificado. [7]

En esta investigación, se enfocó principalmente en la influencia reológica que tiene las HGM en el concreto autocompactante, donde se destacan mejoras considerables en la trabajabilidad y estabilidad de los materiales cementicios. [7]

En la formulación de la investigación, se realizó una muestra patrón y otra con un reemplazo del 5% de HGM por cemento. Para el estado fresco se realizaron ensayos de anillo J y la caja L, y el análisis del comportamiento de ambas muestras comparando los modelos Bingham y el de Bingham modificado.[7]

### ***Potencial de las microesferas de vidrio hueca como reemplazo del cemento para concretos ligeros***

En este artículo de investigación, se centró en concretos livianos donde se sustituyó el cemento Portland por HGM en tanto por ciento de 3%, 6%, 9%. Los ensayos practicados fue el de microscopio electrónico de barrido y fluorescencia de los rayos X, para determinar las características físicas y químicas de las HGM. Para el concreto se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, la prueba de absorción de agua, densidad y aislamiento térmico. [8]

Las conclusiones que se llegaron, fue que al 3% se mejoró la resistencia a la compresión, con menor absorción de agua y aislamiento térmico. [8]

## **Bases teóricas**

### **Concreto autocompactante**

#### ***Definición CAC***

Conocido también con el nombre de concreto autoconsolidante (CAC), cuyas propiedades principales está en su alta fluidez evitando la segregación de sus agregados. Este CAC puede ser aplicado en encofrados con mallas de acero muy saturadas o de difícil acceso, gracias a que no es requerido una compactación mecánica. Lo más importante para este tipo de concretos es la fluidez de su asentamiento, ejecutándose mediante el ensayo de asentamiento modificado según la norma ASTM C143, cuyo rango varía entre los 18 a 32 pulgadas de acuerdo con las especificaciones del proyecto. La gran viscosidad que presenta los CAC es importante porque de esa forma adquieren una mayor adherencia al acero, ofreciendo mayor durabilidad.[9]

#### ***Ventajas de usar CAC***

Las ventajas más importantes de los CAC son los siguientes:

- Es un concreto bombeable lo que facilita su colocación en obra, además de omitir la vibración mecánica, generando ahorro en los costos de colocación.
- Se reducen las cangrejeras manteniendo una uniformidad en la superficie de los acabados.
- Gran aprovechamiento en poca accesibilidad de un vibrador mecánico, o lugares con mayas de acero muy saturadas.
- Aumenta considerablemente la adherencia al acero.
- Reducción de costos por mano de obra.
- Optimiza el tiempo de obra que se traduce con una disminución de costos.

#### ***Composición del CAC***

##### ***Cemento Portland***

El cemento Portland tiene como característica esencial la reacción con el agua, para formar una masa endurecida con el tiempo. Su composición se basa esencialmente en un clinker en estado molido, que se forma a partir de elevadas temperaturas. Entre más elementos de su composición esta la cal, alúmina, fierro y sílice. [10]

A nivel comercial, el cemento Portland es distribuido en bolsas de 45 kg, y con 3.15 como valor de su peso específico. [10]

### *Cemento Portland Tipo I*

Este material tiene como finalidad obras de concreto de uso general, especialmente donde no se indican el uso de un tipo diferente de cemento en las especificaciones técnicas. Su aplicación correcta, está sujeta a casos donde no existan agentes agresivos, principalmente ataques de sulfatos provenientes del suelo o el agua. [11]

Entre sus propiedades químicas, mediante investigaciones y artículos de revisión, se concluye que los compuestos elementales del cemento son silicato tricálcico ( $C_3S$ ), silicato didálcico ( $C_2S$ ), aluminio tricálcico ( $C_3A$ ) y ferroatuminato tetracálcico ( $C_4AF$ ). A partir de esto, se pueden deducir algunas propiedades del cemento, entre las que se tiene la resistencia a la compresión y el calor de hidratación el cual se muestra gráficamente en la Ilustración 1.[11]

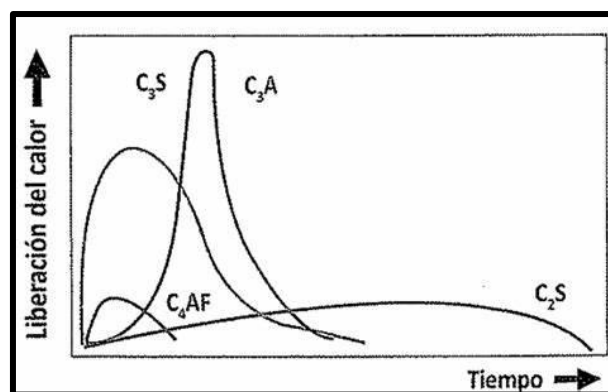


Ilustración 1: Calor de hidratación - Fuente - Niño Hernández. J. Tecnología del concreto Tomo 1.

### *Cemento Portland Tipo II*

Caracterizado por su media defensa a los sulfatos y calor de hidratación. Su uso principal es para elementos estructurales que están expuestos a ambientes intensos o cuando se practican vaciado masivos. [12]

### *Cemento Portland Tipo III*

Muestra un acelerado incremento de resistencia y gran cantidad de calor de hidratación. Son muy convenientes en el caso de estructuras donde sea necesario acelerar su puesta en servicio, además de uso en climas fríos.[12]

### *Cemento Portland Tipo IV*

Tiene como principal característica su poco calor de hidratación, lo que lo hace útil para concretos masivos.[12]

### *Cemento Portland Tipo V*

Utilizado específicamente para situaciones de sulfatos agresivos.[12]

### *Cemento Portland Cemex Tipo I*

Se tiene las siguientes propiedades del cemento Cemex Tipo I, uso general.[13]

- Para obras con elementos estructurales como columnas, vigas, losas, muros y cimentaciones en diversos tipos de edificaciones o infraestructura.
- Actúa excelentemente en la elaboración de prefabricados (postes de concreto, vigas pretensadas y postensadas, pisos, adoquines, blocks, etc.).

### *Agua del concreto*

Este elemento es un componente esencial para la elaboración de la mezcla de concreto, teniendo influencia directa a la resistencia, trabajabilidad y más características del CAC en su forma endurecida.[10]

El agua que se usará debe ser limpia, que no tengan sustancias dañinas como aceites, ácidos, sales, material orgánico, entre otros. En situaciones donde se desconozca la calidad del agua, se hace necesario practicar un análisis químico, con el propósito de que se cumplan los parámetros máximos admisibles. Algunos rangos permisibles se muestran en la Tabla 1.[10]

*Tabla 1: Parámetros máximos admisibles - Niño Hernández. J. Tecnología del concreto*

<b>Sustrato Disuelto</b>	<b>Parámetro límite permitido</b>
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles	1500 ppm
P.H	Más de 7
Solidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

### *Agua de mezclado o amasado*

Se emplea en relación con todos los componentes del concreto. De esta forma se genera una pasta de gran fluidez que brindará lubricación al CAC en fase de estado fresco. El concreto cuando está en su forma endurecida mantiene una cantidad de agua fija que pasa a ser parte de la estructura, mientras que otra continuará siendo agua libre. De esta forma se determina que el agua tiene gran importancia con la fluidez; sin embargo, a medida que la relación agua/cemento aumenta, lo hará también el agua libre, trayendo como consecuencia mayor porosidad debido a la evaporación de esta. Lo anterior tiene gran importancia, porque a mayor índice de porosidad, la resistencia a la compresión disminuye, volviéndose más permeable, por estas razones es importante tener un control de agua sobre la mezcla. [11]

### *Agua de curado*

Cuando el concreto se encuentra ya fraguado, se requiere el uso del agua, con la finalidad de proporcionar la hidratación completa del cemento. Los factores más importantes que se consideran son la temperatura y la humedad, donde se dice que los concretos que se encuentran a una humedad relativamente baja, el mismo ambiente tiende a generar mayor evaporación; a consecuencia de esto, se tiene que buscar la saturación adecuada del concreto, hasta desaparecer los espacios de agua por la hidratación del cemento.[11]

### *Agregados finos y gruesos*

Conocidos con el término de “áridos”, que consisten en materiales de partículas sólidas que, con ayuda de un aglomerante y el agua, forman los concretos y morteros. Son de gran importancia por que conforman un 75% del volumen total de la mezcla, de allí de que los agregados deban brindar una excelente resistencia y durabilidad, además de estar libre de impurezas, especialmente de materia orgánica. [10]

De acuerdo con las propiedades de los agregados se puede clasificar de las siguientes maneras:

#### *Según su procedencia*

Estos al mismo tiempo se clasifican en naturales y artificiales. El primero, es obtenido a partir explotación de canteras, glaciares o depósitos de arrastre fluvial, mientras que los agregados artificiales son elaborados mediante procesos industriales, algunos ejemplos son, arcillas expandidas, escorias de alto horno, limaduras de hierro, etc.[11]

*Según su tamaño*

Para este apartado, también existe otra clasificación, las cuales son material fino y grueso. El material fino se encuentra conformados basicamente por arenas o piedra natural que son finamente triturados, estos materiales tienen la capacidad de pasar el tamiz de 3/8" (9.5 mm). Los agregados gruesos, por su parte son aquellos que quedan retenidos a partir de la malla N°4 (4.75 mm), y su procedencia es de la trituración natural o industrial de las rocas; para ambos tipos de agregados, sus parámetros se establecen de acuerdo con norma INTINTEC 400.037.[10]

Para un mayor detalle en la clasificación de los agregados, se tiene la **Tabla 2**:

*Tabla 2: División del agregado según su tamaño - Parámetros máximos admisibles - Fuente - Tecnología del concreto*

Tamaño de las partículas en mm	Denominación corriente	Clasificación	Clasificación como agregado para concreto
<0.002	Arcillas	Fracción muy fina	No recomendable
0.002 – 0.074 (N°200)	Limo		
0.075 – 4.76 (N°200)-(N°4)	Arena	Agregado fino	Material apto para producir concreto
4.76 – 19.10 (N°4)-(3/4")	Gravilla	Agregado grueso	
19.10 – 50.80 (3/4")-(2")	Grava		
50.80 – 152.4 (2")-(6")	Piedra		
>152.4 (6")	Rajón Piedra bola		

*Según su densidad*

Definido como masa entre volumen, de acuerdo con el tipo de agregado se puede clasificar en tres grupos mostrados en la Tabla 3:



Tabla 3: Clasificación según densidad - Fuente - Niño Hernández. J. Tecnología del concreto

Clasificación del agregado	Rango del peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )		Tipos más abundantes del agregado	Aplicación
	Agregado	Concreto		
Liviano	480 - 1300	13 – 100 500 - 1350	Pizarras expandidas, esquistos, escoria, arcillas.	Concretos livianos estructurales
Normal	1300 - 2000	2000 - 2500	Arena, grava, piedra triturada, Clinker.	Obras en concreto general
Pesado	2000 – 5600	> 2500	Barrita, limonita, magnetita.	Concretos para macizos de anclaje

### Propiedades del CAC

Las propiedades del concreto autocompactante son muy diversas y van de acuerdo con el estado en el que se encuentren, este cambio se evidencia con el tiempo cuando se reduce gradualmente la fluidez. De esta forma se determinan tres etapas por la que pasa el concreto, la primera etapa en donde se elabora el mismo siendo un material flexible y moldeable, la segunda fase consiste en el fraguado y endurecimiento, y la tercera etapa consiste en la adquisición completa de sus características mecánicas en su forma endurecida, generalmente eso se evidencia en las gráficas de resistencia a la compresión.[12]

### Concreto en estado fresco

Estas propiedades están relacionadas a cuan eficiente es el vaciado del concreto en los encofrados y alrededor de la malla de acero, sin dejar espacios vacíos de aire o agua. La medición de la eficiencia del concreto también se puede notar en su fase fresca, no de forma directa en obra, debido a que estas características afectan directamente a los elementos estructurales. Lo más adecuado es realizar un correcto control de calidad del concreto y de esa manera asegurar su eficiencia. [11]

### Características reológicas de la pasta cemento

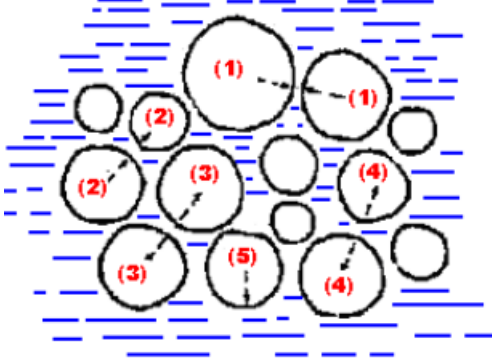
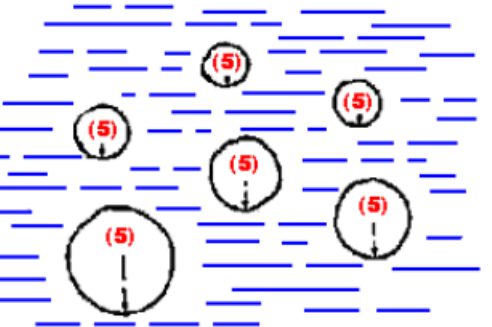
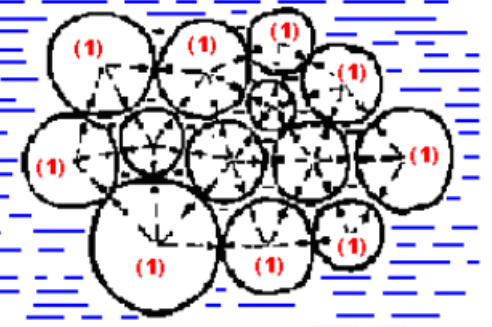
Es notable resaltar que una de las dosificaciones más importantes para la elaboración de CAC es la del agua con el cemento, esto debido a que determina en gran medida las características iniciales de toda mezcla en su forma fresca y endurecida.

A partir de esto; a medida que la mezcla contenga más proporción de agua, llegará a reducir su plasticidad producido por su excesiva fluidez; al contrario, si la proporción de agua es menor, la mezcla tiende a ser dura comportándose como material rígido que no son fluidos ni deformables. Esto define la correcta dosificación a tener en cuenta del agua / cemento, los cuales van de acuerdo a las especificaciones requeridas y consistencia plástica convencional. Al hablar de forma cuantitativa, los valores usuales para un concreto sin aditivo esta entre 0.4 y 0.8, en cambio para concretos especiales con aditivos, esta entre 0.30 y 0.45.

Al hablar de aditivos, cuyo propósito principal se basa brindar más trabajabilidad a las mezclas de CAC, también tienen un efecto directo en los esfuerzos intervinientes como por ejemplo: la disminución de la fuerza de tensión superficial del agua, ocasionando la reducción de fuerzas de unión capilar; la succión de moléculas de aditivo por las partículas del cemento, que generan el aumento de fuerzas de separación electrostática produciendo la separación, y la presencia de una capa lubricante encima de las partículas de cemento, que disminuye las fuerzas de fricción entre éstos. Los factores mencionados anteriormente desembocan en la reducción de fuerzas cohesivas de la pasta y el aumento de las fuerzas de separación de las partículas de cemento, en otras palabras, se reduce la fuerza de cedencia y la viscosidad plástica de la pasta de cemento generando que ésta adquiera más capacidad para deformarse y fluir.

En la Tabla 4, se ve de forma detallada las diferentes consistencias de la pasta de cemento.

Tabla 4: Pasta con diferente concentración de cemento - Manual de Tecnología del Concreto Tomo II

	<p>a) Pasta de consistencia plástica.</p> <p>Los gramos del material se quedan separados y encima de la solución acuosa, en conformidad con el alcance de los esfuerzos que intervienen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) Atracción molecular (Van der Waals)</li> <li>(2) Atracción capilar</li> <li>(3) Separación electrostática</li> <li>(4) Separación por la "presión de separación"</li> <li>(5) Fuerza de gravedad</li> </ul>
	<p>b) Pasta de consistencia fluida.</p> <p>Reduce las fuerzas de (1) a (4) y únicamente permanece estando con igual magnitud la fuerza de gravedad (5). Las partículas de cemento acondicionan más independencia para moverse, mostrando sedimentación en el seno de la solución acuosa. La pasta o lechada prácticamente no tiene plasticidad.</p>
	<p>c) Pasta de consistencia seca.</p> <p>Existe un aumento de los esfuerzos (1) a (4) sin embargo, en igualdad domina la unión molecular (1) entonces las partículas tienden a unificarse y a mantenerse unidos. A consecuencia de la carencia de movilidad de las partículas, la pasta resulta endurecida y difícil de trabajar.</p>

### ***Aspectos que definen la trababilidad del concreto en estado fresco***

#### ***Estabilidad:***

Característica relacionada con la resistencia que las mezclas tienen para reducir la segregación, es decir, puede existir una desunión entre el agregado grueso y la fracción para mortero, y exudar agua “sangrado”; en otras palabras, estas fuerzas resistentes son las que permiten que la mezcla se mantenga homogénea.[14]

#### ***Compactabilidad:***

Es la capacidad que puede tener el concreto en estado fresco para poder eliminar las partículas de aire que queden atrapados durante el vaciado, con el propósito de lograr un alto nivel de compacidad en su estado endurecido.[14]

#### ***Movilidad:***

Simboliza la capacidad de las mezclas de CAC para deformarse y fluir; con la propiedad de depender de la cohesión, viscosidad y ángulo de fricción interna del concreto fresco.[14]

### ***Trabajabilidad y manejabilidad***

Esta característica hace referencia a cuan trabajosos es el concreto para vencer la fricción, permitiendo un correcto vaciado en el encofrado al igual que su compactación, todo esto sin que ocurra la segregación de los agregados. [11]

Los factores más importantes que interviene en esta propiedad es el contenido de agua del mezclado, quien le otorga la mayoría de la fluidez al concreto; contenido de aire, que produce una menor demanda de agua y un mayor aumento de cohesión; al igual que el tiempo, debido a que con el paso de este se hace más difícil la trabajabilidad y el manejo del concreto. Algunos factores adicionales son, la temperatura, el ambiente y el estado de humedad de los agregados.[11]

### ***Concreto en estado endurecido***

Características principales del CAC es soportar grandes esfuerzos a la compresión, a partir de sus características físicas, químicas, mecánicas, etc. A partir de esto, se dice que las cualidades mecánicas del CAC se rigen por la resistencia que otorga la mezcla endurecida.[11]

### ***Resistencia del concreto***

Este término está relacionado con la capacidad de resistir esfuerzos, de los cuales se tiene, compresión, tracción, flexión y corte. Para la práctica, se conoce bien que el concreto soporta muy satisfactoriamente esfuerzos a compresión, pero se ve limitado por su resistencia ante esfuerzos de tracción. [11]

Los concretos normales se consideran a las muestras de concreto que son sometidos a fuerzas de compresión no superiores a los 42 MPa, mientras que los concretos de alta resistencia son aquellos cuyos valores están entre los 42 MPa y 100MPa, y, por último, aquellos que superan los 100 MPa son considerados como concretos de ultra alta resistencia.[11]

### ***Evolución del fraguado***

Refiriéndonos en terminología de su representación física, el fraguado es una situación que es obtenida progresivamente por la fracción de cemento, en presencia de una reducción de su plasticidad, descrito comúnmente en relación de su resistencia a la penetración o de su deformación. También con la reunión, que es considerada como habitual, existen otras maneras de fraguado que son anómalos e despreciable: como es el caso del denominado falso fraguado que se surge de una repentina disminución de plasticidad, donde no existe un desarrollo de calor, sin embargo esto puede ser corregido con un remezclado sin adición de agua; y el fraguado instantáneo que aparece también por una súbita reducción de su plasticidad, pero a diferencia del primero aquí contiene un gran desarrollo de calor, además de que la plasticidad no se puede recomponer con un remezclado, a excepción de adicionar agua la mezcla. En la secuencia de rigidización del CAC para sus dos etapas iniciales por el método de las agujas de penetración (ASTM C 403) se registra el progreso que se representa en la Ilustración 2.[14]

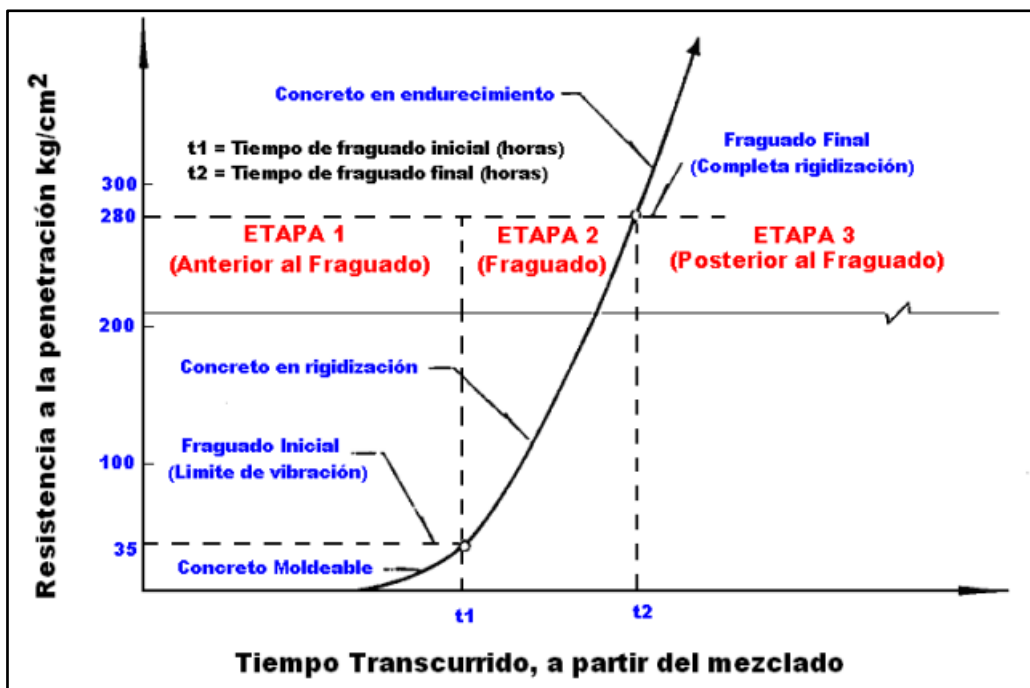


Ilustración 2: Manual de Tecnología del Concreto Tomo II. CFE

### Aditivos

La elaboración de CAC requiere aditivos específicos para poder lograr el asentamiento y fluidez requeridos. Estos aditivos deben de ser poderosos reductores de agua y superplastificantes que permitan trabajar el concreto con relaciones a/c relativamente bajas. La composición principal de estos aditivos es el policarboxilatos que trabajan directamente en las partículas de cemento. La intervención de aditivos modificadores de la viscosidad es para evitar en menor medida el sangrado y segregación del concreto. [9]

#### *El Z Fluidizante SR – 1000*

Es un aditivo superplastificante conformado principalmente por policarboxilatos de última generación, con el propósito de elaborar concretos que necesiten un rápido desarrollo, alta reducción de agua y una gran trabajabilidad. [15]

#### *Ventajas*

- Ofrece una extremada reducción de agua.
- Incremento del desarrollo inicial de la resistencia.
- No es necesario el incremento de agua ni de cemento en la mezcla.
- Permite la consistencia bombeable del concreto autocompactante.
- Mejora notablemente la adherencia del concreto al acero.

- Ideal para concretos autocompactantes de Slump entre 6 a 9 pulgadas.
- Ideal para mezclas con diseños a/c relativamente bajos.

#### *Uso*

Como aditivo superplastificante y reductor de alto rango de agua, que puede reducir hasta en un 30% el agua.

#### *Dosificación*

Puede variar entre los 0.2% hasta 1.5% del peso del cemento.

#### *Densidad*

Posee una densidad de 1.09 kg/L.

### **Composición de la mezcla de CAC**

Cuando se diseña un CAC es importante considerar las dosificaciones de sus insumos en función al volumen y no a la masa. Los parámetros recomendados frecuentemente según las dosificaciones del EFNARC, y la porción que logra la autocompactación se exponen en los siguientes puntos. Las experiencias en laboratorio pueden generar modificaciones con el fin de efectuar algunos criterios de resistencia y rendimiento.[14]

- Relación agua/finos en volumen de 0.80 a 1.10.
- La suma de cavidad total de finos de 160 a 240 litros (400 kg - 600 kg) m<sup>3</sup> de CAC.
- En la relación agua/finos, generalmente el peso del agua no sea mayor a la cantidad de 200 litros/m<sup>3</sup>
- La dosificación de arena sea más que el de la grava manteniendo la armonía con los demás componentes.

Es decir, partiendo de las recomendaciones anteriores, sería de ayuda manejar un procedimiento continuista de diseño que asegure que el CAC mantenga las características requeridas en estado fresco a pesar de los distintos tipos y calidades de materia prima que pueda existir. Además, siempre ocurre una variación del contenido de humedad de las arenas y gravas después de realizado el diseño de mezcla. Usualmente, los aditivos que cumplen la función de modificar la viscosidad representan una forma práctica de poder compensar las fluctuaciones debidas a cualquier modificación en la granulometría de la arena y el contenido de humedad de los agregados.[14]

## Diseño de mezcla para un CAC

Para lograr una gran fluidez, además de una gran viscosidad en el CAC, se hace imprescindible el uso de un aditivo químico de última generación con el requisito de reducir fuertemente el agua (hasta 40 %). El CAC puede estar delimitado por las cualidades de los insumos y por la dosificación de sus agregados. La dosificación de cemento, que en asociación con el agregado fino y el aditivo intervienen considerablemente las características del concreto. Por consiguiente, en el instante que ha determinado las proporciones de la mezcla, deben ejecutarse los ensayos requeridos para verificar su estado bombeable. Existen diversas técnicas para probar y evaluar la idoneidad de autocompactación del concreto, aquí resalta el flujo de asentamiento, la caja L, la caja en U y el embudo V, siendo el primero el más común de usar en campo y que brinda un vistazo más próximo de las características del CAC.[14] En la Ilustración 3 representa un ejemplo de procedimiento para verificar las especificaciones solicitadas para un CAC.

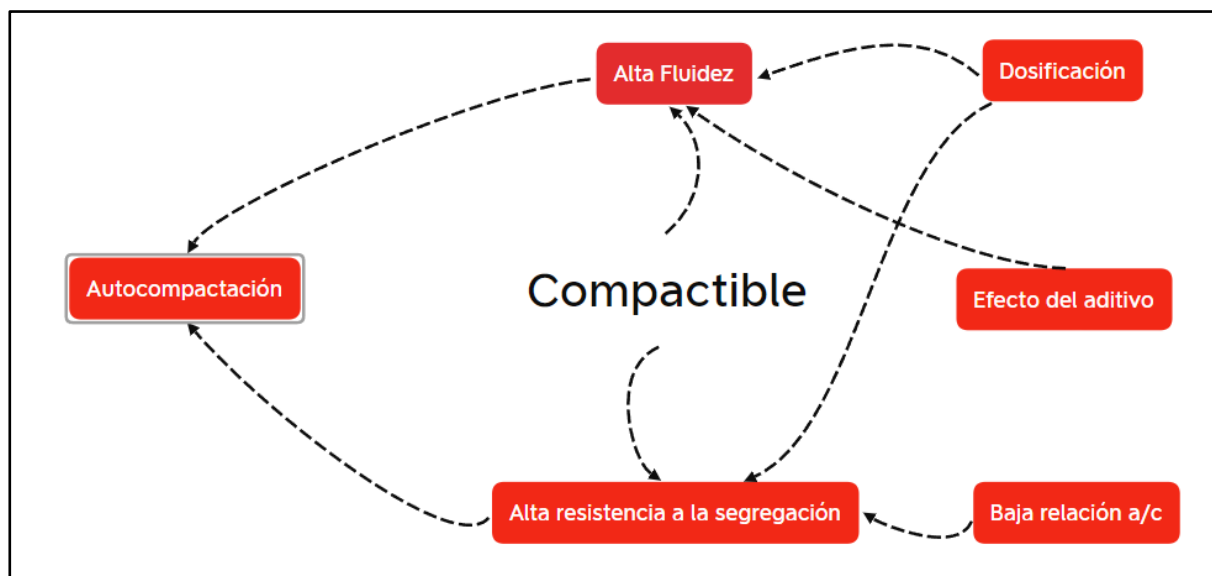
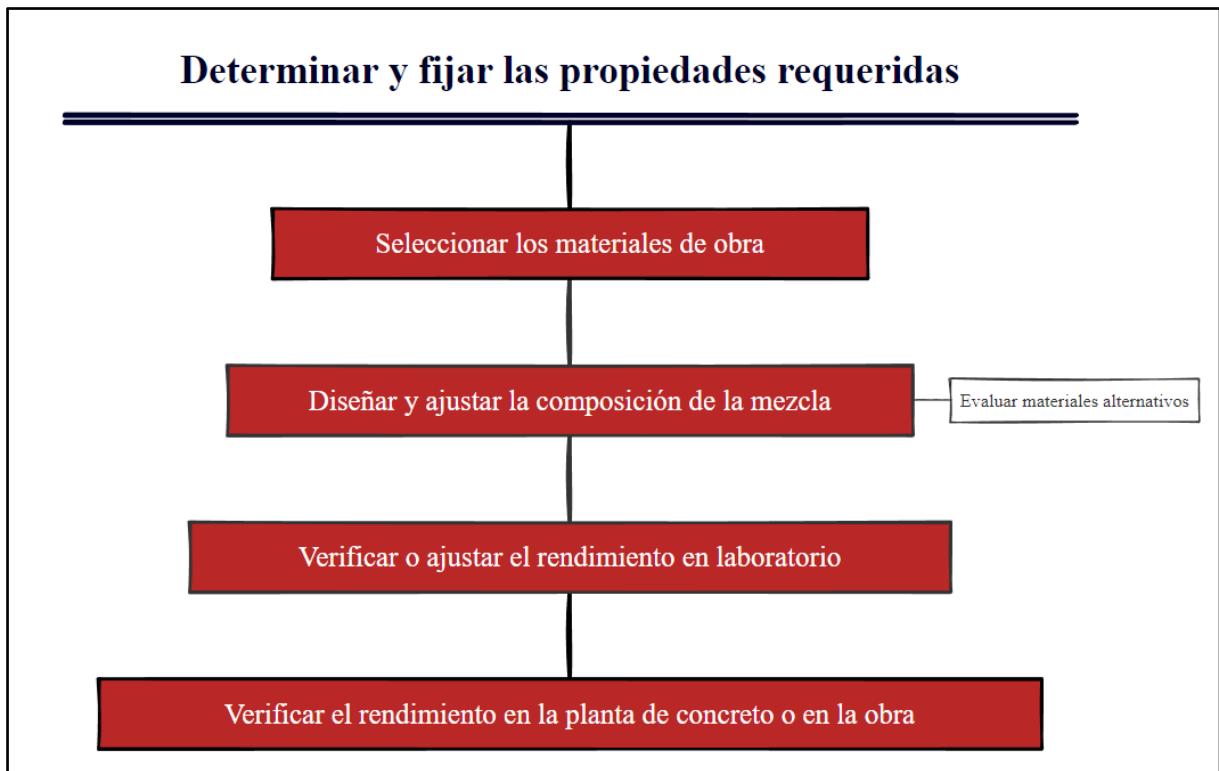


Ilustración 3: Procedimiento para el diseño de mezcla. LACER. Self-Compacting Concrete (SCC).



## Ajuste de la mezcla

Con la ejecución las diferentes pruebas de laboratorio, podemos validar las cualidades que forman parte inicial de la mezcla. En caso contrario, se hace necesario aplicar acomodar dicha distribución de materiales. Cuando se han cumplido todos los lineamientos, la mezcla esta lista para producir grandes escalas y ser puesto en obra.[14]



*Ilustración 4: Procedimiento para el ajuste de mezcla - (European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems)*

## Especificaciones generales del CAC

Tabla 5: Requisitos CAC - (European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems)

PROPIEDAD	REQUISITO
<b>COMPONENTES DE LA MEZCLA</b>	
CEMENTO	Verificar la norma ASTM C 187, C 188, C 191, C 150, C 595
	Control del tipo de Cemento
	Cantidad recomendada de cemento: 350 - 450 kg
AGREGADOS	Cumplimiento de la norma ASTM C 33
	Control de las partículas menores que la malla N° 100 (0.150 mm)
	Control del contenido de humedad
	Determinación de la curva granulométrica ASTM C 136
	Compatibilidad con el espacio entre armaduras
AGUA DE MEZCLADO	Cumplimiento de la norma ASTM C 94
	Cumplimiento de la norma ASTM C 494
ADICIONES	Determinación de la combinación necesaria
	Determinación de la dosificación esperada
	Cumplimiento de las especificaciones y control de calidad para cada adición
	Determinación de la granulometría
	Definición de la adición que va a utilizarse
	Determinación del aumento en la demanda de agua
<b>COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA</b>	
DISEÑO DE MEZCLA	Ejecutar la mezcla diseñada
	Agregado grueso < 50%
	Relación agua/finos = 0.80 – 1.1
	Contenido total de finos de 400 kg - 600 kg, para un metro cúbico
	Contenido de arena > 40 % del mortero (volumen)
	Arena 50 % del volumen de la pasta
	Arena > 50 % por peso del agregado total
	Agua de mezclado > 200 l
Pasta > 40 % del volumen de la mezcla	
<b>TRABAJABILIDAD</b>	
Flujo de Asentamiento (Abrams)	650 mm - 800 mm
Flujo de Asentamiento T60cm	2 s - 5 s
Anillo J	0 mm - 11 mm
Embudo V	Mas de 3 s
Caja en L	H2/H1 = 0.75 - 1.0
Caja en U	H1 – H2 = 30 mm máximo
Caja de relleno	90 % - 100%

## **Normas aplicadas**

Se tiene la siguiente normativa:

### ***Norma de ensayo de agregados***

#### ***Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012***

Norma técnica que tiene como objetivo establecer el correcto procedimiento para la determinación de la distribución por tamaño de los agregados finos, gruesos y global mediante tamizado. [16]

#### ***Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017***

Norma técnica cuya finalidad es establecer el correcto procedimiento para la obtención de la densidad en masa (Peso unitario) en condiciones tanto sueltas como compactadas, además de determinar los vacíos entre partículas de los agregados. La metodología de esta normativa se aplica solo para agregados cuyo tamaño máximo nominal no sobrepase los 125 mm.[17]

#### ***Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185***

Norma técnica cuya finalidad es establecer el correcto procedimiento para la obtención del porcentaje de humedad en agregados finos y gruesos. En esta metodología se considera la humedad superficial y la contenida mediante los poros de los agregados, pero excluye aquella humedad guardada por impurezas que presente el agregado.[18]

#### ***Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022***

Norma técnica cuya finalidad es establecer el correcto procedimiento para la obtención del peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y de absorción del agregado fino. [19]

#### ***Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021***

Norma técnica cuya finalidad es establecer el correcto procedimiento para la obtención del peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y de absorción del agregado grueso. [20]

*Norma N.T.P 400.037*

Norma técnica donde se establecen los requisitos de granulometría y calidad de los agregados finos y gruesos para el uso de concreto. [21]

Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
	100 mm (4 pulg)	90 mm (3 ½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 ½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37,5 mm (1 ½ pulg)	25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (¾ pulg)	12,5 mm (½ pulg)	9,5 mm (3/8 pulg)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
90 mm a 37,5mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
63 mm a 37,5 mm (2 ½ pulg a 1 ½ pulg)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
50 mm a 25,0 mm (2 pulg a 1 pulg)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
50 mm a 4,75 mm (2 pulg a No. 4)	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	...
37,5 mm a 19,0 mm (1 ½ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...	...
37,5 mm a 4,75 mm (1 ½ pulg a No. 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	...
25,0 mm a 12,5mm (1 pulg a ½ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	...
25,0 mm a 9,5 mm (1 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	...
25,0 mm a 4,75mm (1 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	...
19,0 mm a 9,5 mm (¾ pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...	...
19,0 mm a 4 mm (¾ pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...
12,5 mm a 4,75 mm (½ pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	...
9,5 mm a 2,36 mm (3/8 pulg a No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	...
12,5 mm a 9,5 mm (½ pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
4,75 mm a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

*Ilustración 5: Usos granulométricos según N.T.P 400.037*

### Norma ACI 237-R

Es la norma propuesta por el American Concrete Institute, con la finalidad de establecer los parámetros para el diseño de concretos autocompactantes.[22]

Entre los más importantes parámetros tenemos:

Tabla 6: Criterios según la Norma ACI 237-R

CRITERIOS	ACI 237-R
- Relación w/finos (Volumen)	-
- Relación a/c (peso)	0.32 - 0.45
- Contenido total de finos (kg/m <sup>3</sup> )	386 - 485
- Agregado grueso (% de volumen)	28 - 32
- Agua	-
- Fracción en pasta (% en volumen)	34 - 40
- Fracción en mortero (% en volumen)	68 - 72
- Cantidad de cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	386 - 475

**Table 2.5—Slump flow targets  
(Daczko and Constantiner 2001)**

		Slump flow		
		<22 in. (<550 mm)	22 to 26 in. (550 to 650 mm)	>26 in. (>650 mm)
Member characteristics	Reinforcement level	Low		
		Medium		
		High		
	Element shape intricacy	Low		
		Medium		
		High		
	Element depth	Low		
		Medium		
		High		
	Surface finish importance	Low		
		Medium		
		High		
	Element length	Low		
		Medium		
		High		
	Wall thickness	Low		
		Medium		
		High		
Coarse aggregate content	Low			
	Medium			
	High			
Placement energy	Low			
	Medium			
	High			

Ilustración 6: Selección de escurrimiento - ACI 237-R

	Slump flow of < 22 in. (<550 mm)	Slump flow of 22 to 26 in. (550 to 600 mm)	Slump flow of >26 in. (>650 mm)
Powder content, lb/yd <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	600 to 650 (355 to 385)	650 to 750 (385 to 445)	750+ (458+)

Ilustración 7: Selección de cantidad de cemento - ACI 237-R

## Descripción de ensayos

### Ensayos concreto en estado fresco

#### Ensayo de asentamiento

Mediante este ensayo, se mide los valores de estabilidad del concreto; los parámetros analizados son el grado de fluidez, el cual muestra que tan seco o fluido se encuentra el concreto en estado fresco. Algunos parámetros como la cohesividad, facilidad de aplicación en el encofrado y terminación, no son abarcadas por este ensayo, por el contrario, son medidas que indican el posible comportamiento que tendrá el concreto con respecto a lo anterior mencionado. El equipo empleado es el Cono de Abrams, y las normativas que lo rige es la ASTM C143 específicamente la versión modificada del cono de Abrams que es para caso de CAC. [11]

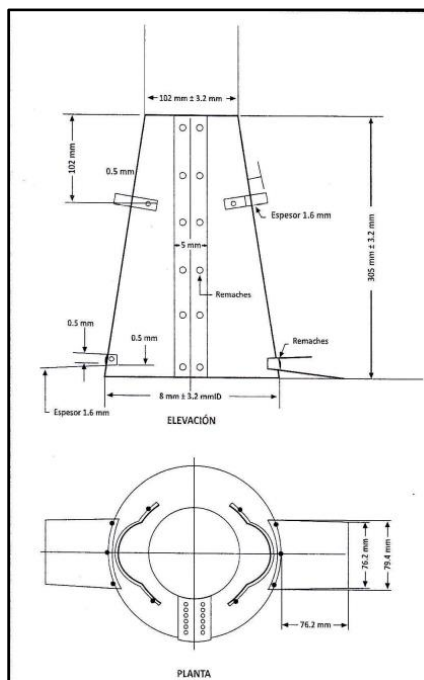
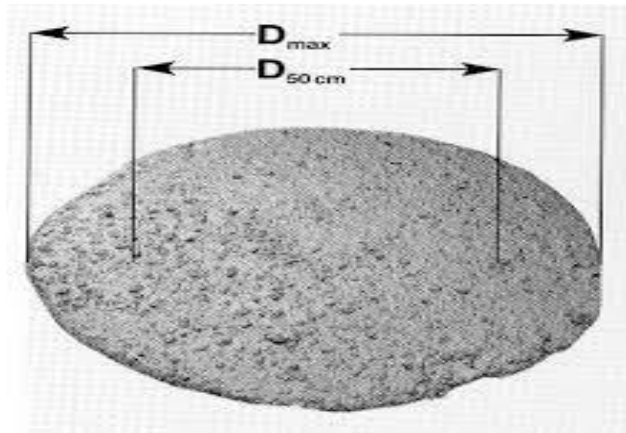


Ilustración 8: Dimensiones del cono de Abrams -Niño Hernández. J. Tecnología del concreto Tomo 1.



*Ilustración 9: Procedimiento ensayo de escurrimiento – F.  
Bardisa - Consistencia del hormigón*

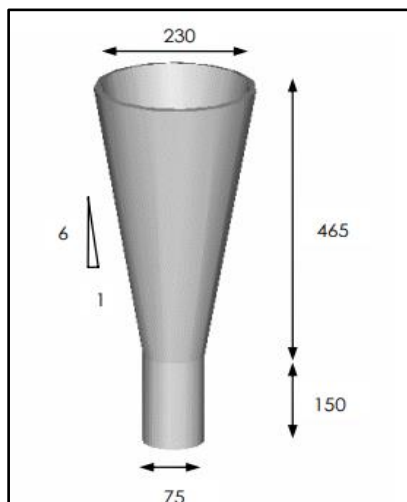
De acuerdo con este ensayo, podemos determinar el flujo de asentamiento referido a concretos autocompactantes. El indicador de velocidad nos muestra el parámetro de la viscosidad medido a partir del tiempo T50. Cabe destacar que la norma ASTM1611M – 18, abarca para diseños de mezclas que tengan un tamaño máximo de agregado grueso de 1", destacando el tema de segregación que presentaría concretos con ese tipo de granulometría. [11]

### ***Ensayo del embudo V***

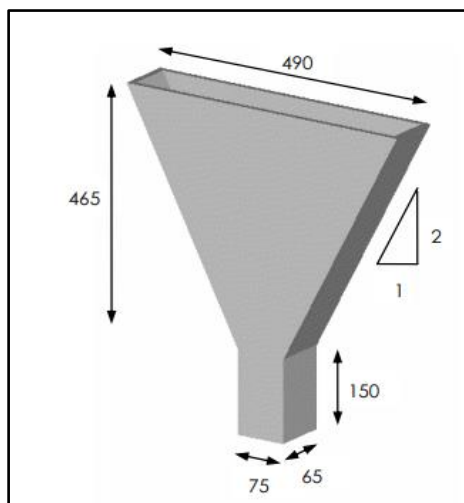
En este ensayo, nos permite observar el flujo que tiene el concreto mediante una sección tubular, en donde a medida que esta sección va disminuyendo sus dimensiones, aumenta la posibilidad de generar obstrucción, a causa del contacto del agregado grueso con el recipiente, y como consecuencia nos indica la necesidad de mejorar la propiedad de viscosidad. En pocas palabras, el propósito fundamental de esta prueba es medir la capacidad que tiene a muestra de concreto para fluir en áreas limitadas por acciones gravitatorias.

Para esta prueba se usa un embudo en forma de V, cuya composición es a base de acero. Para realizar este método, se necesita una compuerta, de fácil abertura con el propósito de no alterar los resultados de fluidez. La forma del embudo varía entre cilíndrica o triangular. [23]

Algunas de sus medidas estándar se muestran a continuación:



*Ilustración 10: Embudo V cilíndrico - M. Bravo Sobrino, Caracterización y utilización del hormigón autocompactable*



*Ilustración 11: Embudo V triangular - M. Bravo Sobrino, Caracterización y utilización del hormigón autocompactable*

### ***Ensayo de la caja L***

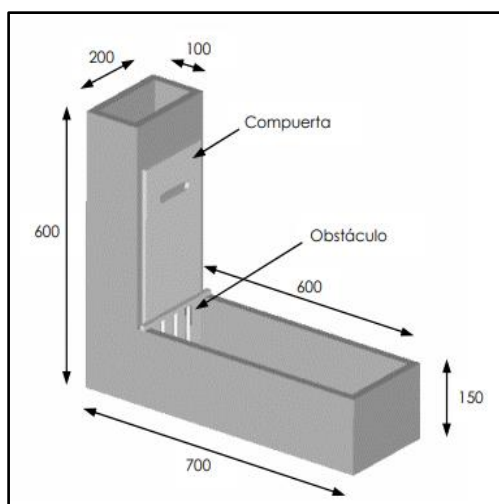
Este equipo consiste en un depósito vertical que tiene una conexión por una sección horizontal que mantiene una compuerta abierta donde se ubican barras de armadura. El ensayo se resume en agregar concreto en un depósito definido, y después simplemente dejar que, por acciones gravitatorias, el concreto fluya por el canal, teniendo como obstáculo la armadura de acero. Los valores que se obtienen en este ensayo son los tiempos que demora el concreto en recorrer una distancia de 200 mm (T20) y la distancia de 400 mm (T40), y las alturas H1 y H2 que logra superar a los extremos de la caja, cuando ya se haya alcanzado el reposo. A partir de este ensayo, se puede determinar la capacidad que tiene el concreto de fluir por una sección



teniendo obstáculos, además de brindar una estimación aproximada de la resistencia a la segregación. [23]



*Ilustración 12: Caja L - M. Bravo Sobrino, Caracterización y utilización del hormigón autocompactable*



*Ilustración 13: Dimensiones caja L - M. Bravo Sobrino, Caracterización y utilización del hormigón autocompactable*

### ***Ensayo del anillo J***

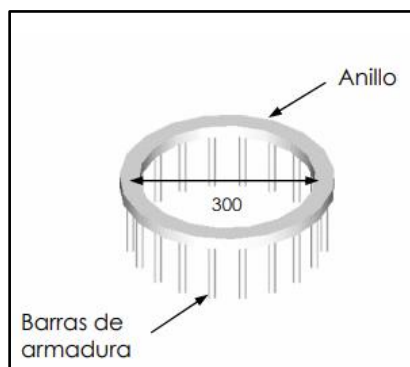
El artefacto consiste en un anillo de aproximadamente 300 mm de diámetro, alrededor de su perímetro se ubican barras de acero cuya altura varía entre 100 a 200 mm de altura, el espacio entre cada barra puede tener una distancia aproximada de la tercera parte de la altura de la barra.

La ejecución del ensayo consiste en dejar libre al concreto de fluir por el anillo, y que las barras sean el único obstáculo que tenga para su paso. Las mediciones que se realizan, cuando la muestra deje de fluir, y los valores [23]

recogidos son las alturas que tiene el concreto, tanto afuera como adentro del concreto. Es recomendable, tomar de dos diámetros que deja la muestra del anillo, uno debe ser perpendicular a la otra distancia. [23]



*Ilustración 14: Ensayo Anillo J - M. Bravo Sobrino, Caracterización y utilización del hormigón autocompactable*



*Ilustración 15: Dimensiones anillo J - M. Bravo Sobrino, Caracterización y utilización del hormigón autocompactable*

### ***Peso Unitario del concreto***

Este ensayo estará referido a la densidad del CAC (peso unitario) con el propósito principal sacar el peso en m<sup>3</sup> del concreto, de esta forma se puede verificar el rendimiento del concreto diseñado.[24]

Según la norma N.T.P. 339.046, que normaliza las pruebas de peso unitario y contenido de aire, proporcionando las fórmulas adecuadas para obtener el contenido de aire del concreto, el rendimiento y contenido de cemento. De esta manera el rendimiento se conceptualiza como el

volumen de concreto producido a partir de una mezcla de cantidades conocidas a partir de agregados normalizados. [24]



*Ilustración 16: Peso unitario del concreto - Laboratorio N°3 - Universidad Ricaldo Palma*

### ***Ensayo de temperatura para concreto en estado fresco***

Este ensayo determina la temperatura del concreto cuando la mezcla se encuentra en estado fresco. Con la finalidad de verificar los parámetros requeridos de esta temperatura para un concreto puesto en obra. (Norma ASTM C-1064)[25]

Este ensayo está restringido hasta un agregado grueso con tamaño máximo nominal de 3" y debe de realizarse como máximo 20 minutos después de realizar el vaciado del concreto. Es importante recalcar que el termómetro utilizado debe de contar con una precisión de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . [25]



*Ilustración 17: Temperatura del concreto en estado fresco – Ensayo practicado por Edgard Saldaña*

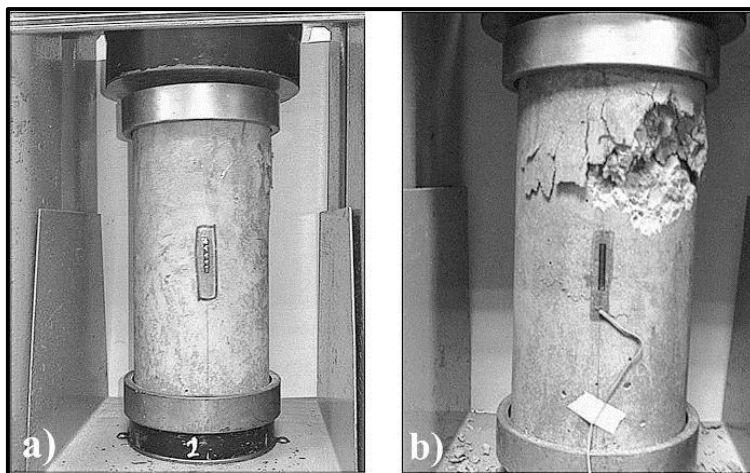
## ***Ensayo del concreto en estado endurecido***

### ***Ensayo de resistencia a la compresión***

Este ensayo se rige por la norma ASTM C39 y ASTM C31, aquí se detalla el proceso de elaboración y ensayo de los especímenes.

Para este ensayo, se necesita una presa, la cual aplicará una fuerza distribuida sobre la superficie de las probetas, hasta que ocurra la falla. Se toma como datos, la carga a la que la probeta cesa. Como es una fuerza distribuida por el área de la superficie de contacto, se tiene que dividir. [11]

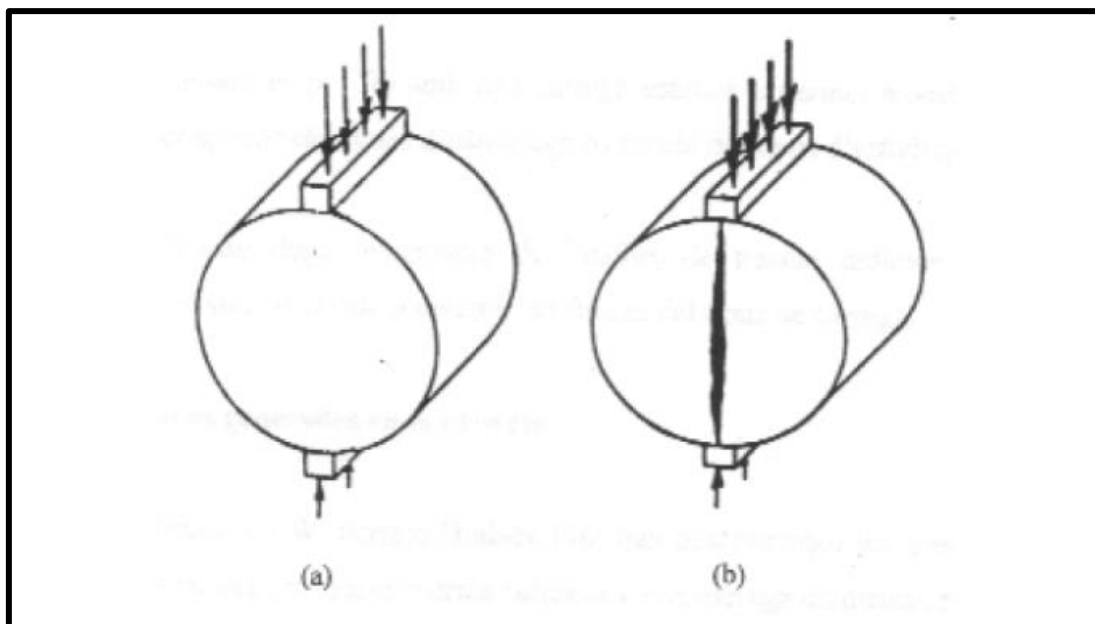
Los días que se toman para aplicar el ensayo, son a los 7 y 28 días de fraguado el concreto. Los resultados más comunes son entre 14 a 42 MPa, siendo estos usados de forma más convencional en la construcción de estructuras. [11]



*Ilustración 18: Proceso del ensayo de resistencia a la compresión - Niño J - Tecnología del concreto: materiales, propiedades y diseño de mezclas*

### ***Ensayo de resistencia a la tracción indirecta***

La ejecución de esta prueba consiste en aplicar una fuerza axial de forma diametral a una muestra cilíndrica, similar a las experiencias realizadas por Mashall, para la cual, se aplicó una fuerza que se distribuyó de forma equitativa a lo largo de la altura de las líneas opuestas hasta lograr la fase de ruptura. La forma en que se aplica esta carga es un método que genera un esfuerzo de tracción muy cercanamente uniforme en todo el diámetro de la superficie de la cara vertical, la tracción generada es la que produce el punto de ruptura en la cara diametral.[26]



*Ilustración 19: Configuración de carga (a), ruptura de probeta por tracción indirecta*

En la Ilustración 19, se puede apreciar como una muestra cilíndrica es sometida a una fuerza de compresión de acuerdo con la cara diametral vertical de esta misma. Lo anterior mencionado se logra con un dispositivo de sujeción para la muestra cilíndrica con el propósito de que pueda ejecutarse correctamente la distribución de la carga. En la composición de este dispositivo, cuando esta rozando estas dos generatrices diametrales, aparece dos piezas que tienen como finalidad impedir la ruptura local de la muestra durante la ejecución de la prueba. Además se emplea placas curvas, con un diámetro similar al nominal de la probeta, que oscila entre 12.7 y 25.4 mm, con el fin de que no exista modificaciones importantes en la repartición de tensiones, generando mayor comodidad para el cálculo del módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson gracias a que se mantiene constante el ancho de carga, a comparación de una variación en esta medida por utilizar placas rectas.[26]

### ***Ensayo para determinar el modulo de elasticidad del concreto***

El concreto tiene la capacidad de tener un comportamiento elástico en su estado endurecido cuando sea sometido a una carga moderada, lo que se representa con una curva llama esfuerzo – deformación, el cual puede ser considerada como una función lineal definido por la siguiente ecuación:

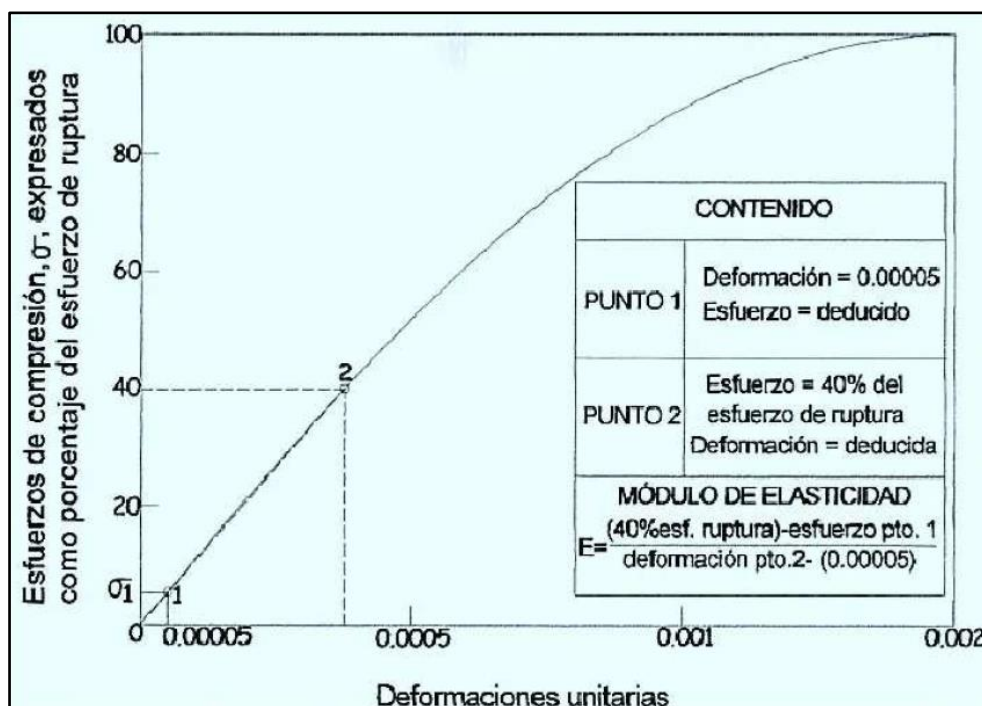
$$E = \frac{\text{esfuerzo unitario}}{\text{deformación unitaria}}$$

Lo que simboliza la ecuación anterior es la resistencia que tiene el concreto para deformarse cuando está sometido a una carga.[27]

Es necesario saber que los factores más importantes que determinan el módulo de elasticidad de un concreto es la relación agua / cemento, edad, modulo elástico de los agregados, etc. Características que están relacionadas directamente con la resistencia a la compresión del concreto. De esta forma se puede deducir que cuanto más resistente sea la muestra de concreto, el módulo de elasticidad incrementará. [27]

Para materiales elásticos donde su representación esfuerzo - deformación unitaria es una línea recta, se dice que el módulo de elasticidad es una proporcionalidad directa que existe entre las variables anteriormente mencionadas, donde el cálculo de este valor es hallando la pendiente de esta función. [27]

La mayoría de los casos la función óptima para determinar el módulo de elasticidad es como una función secante a la cuerda, de esta manera se considera un intervalo inicial de esfuerzos de acuerdo con los valores de diseño, y que este trabaja moderadamente elástico dentro del intervalo en estudio.[27]



*Ilustración 20: Criterios que definen el módulo de elasticidad del concreto sometido a fuerzas de compresión (ASTM C-469)*

Con lo expuesto anteriormente en la Ilustración 20, se puede hallar el módulo de elasticidad siguiendo los parámetros de la norma ASTM C – 469, mediante el cálculo de la tangente de la cuerda que forma con el eje horizontal.

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0.00005}$$

Donde:

- $\sigma_2$  es el esfuerzo equivalente al 40% del esfuerzo ultimo.
- $\sigma_1$  es el esfuerzo equivalente a la deformación igual a 0.00005
- $\varepsilon_2$  es la deformación que surge del esfuerzo  $\sigma_2$

### ***Ensayo para determinar el coeficiente de poisson***

Cuando se tiene una muestra de concreto en estado endurecido sometida a una fuerza de compresión, se genera una deformación longitudinal, además paralelamente a esto comienza a surgir una dilatación transversal, donde al relacionar estas deformaciones surge el concepto de “Relación de Poisson”. [27]

Es decir, el concreto sometido a una carga axial que se distribuye uniformemente, comienzan a manifestarse deformaciones longitudinales y transversales, donde su tendencia es similar cuando se relaciona con los esfuerzos, lo que significa que tiene un comportamiento elástico cuando el esfuerzo es inferior al 40% del esfuerzo último, incrementando su función hasta que la muestra llegue a fallar. A partir de esto se puede relacionar la función de deformación longitudinal con la transversal en función del esfuerzo aplicado. [27]

La norma ASTM C-469 indica la forma de calcular el coeficiente de Poisson teniendo la siguiente expresión:

$$\nu = \frac{\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1}}{\varepsilon_2 - 0.00005}$$

Donde

- $\varepsilon_{t2}$  es la deformación transversal cuando el esfuerzo es igual al 40% del esfuerzo ultimo.
- $\varepsilon_{t1}$  es la deformación transversal equivalente a la deformación longitudinal igual a 0.00005
- $\varepsilon_2$  es la deformación longitudinal que surge cuando el esfuerzo es igual al 40% del esfuerzo ultimo.



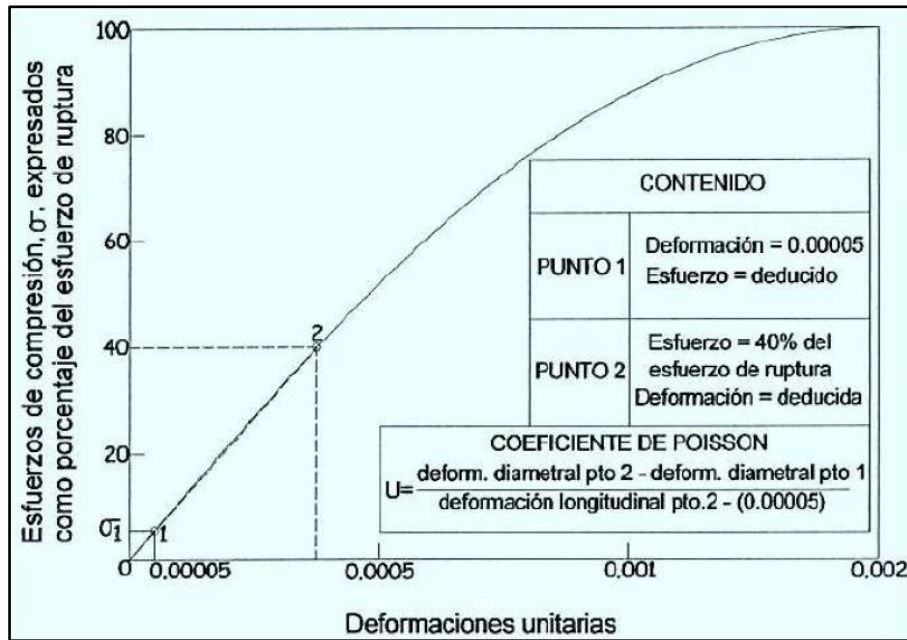


Ilustración 21: Criterio para definir la relación de Poisson cuando está sometido a una fuerza de compresión (ASTM C469)

### Microesferas de vidrio

Este material fue usado en un principio por la American Standard Oil, y su uso fue de como medida de protección aislante para evitar evaporar los productos que son fácilmente volátiles (aquellos que se mantienen en depósitos abiertos). [28]

Entre las características más destacables tenemos la forma esférica, además de ser un material inorgánico de baja densidad. Consta de paredes delgadas cuyo grosor va de 0.5 a 0.2  $\mu\text{m}$ , y el diámetro más común va de 10 a 500  $\mu\text{m}$ . Una de las propiedades por la que podría ser un material perfecto como adición al concreto es su alta resistencia a la compresión, manteniendo su característica como aislante térmico. [28]



Ilustración 22: Foto de Microesferas de Vidrio Ballotini M247 - Tipo I



### ***Composición química de las microesferas de vidrio***

Para este apartado, si se desea tener datos exactos de la composición química de las microesferas de vidrio, es necesario realizar un análisis químico al producto. Esto es porque, a pesar de tener las mismas dimensiones, cada fabricante difiere en los componentes con los que los elaboran. Un ejemplo claro, son las empresas americanas, que tienen un contenido de azufre menores al resto de fabricantes. [28]

### ***Método de elaboración de microesferas de vidrio***

En la actualidad, hay varios métodos que sintetizan las microesferas de vidrio, pero son dos métodos en específico los que resaltan. El primero es por medio de sol-gel que pasa por un secado de hidrosol y de la cual se construye una solución de ácido bórico, y el segundo método es por medio de un polvo de vidrio el cual es de igual forma hidratado y pasado por una flama para dar una forma esférica. [28]

### ***Aplicaciones***

La aplicación más común de las microesferas de vidrio son como un material para adquirir una retroreflectividad deseada en las pinturas de señalización vial. En el Perú existen hasta siete tipos de microesferas de vidrio para esta aplicación, en donde varía de acuerdo a su densidad y apariencia. Los más usados son del tipo II en el Perú. [29]

### ***Microesferas de vidrio Potters Ballotini – Panamericana, S. De R.L M247 Tipo I***

Esferas de vidrio transparente, plenamente visibles a luz del día, para la guía de los conductores en las calles y carreteras durante la oscuridad gracias a la reflexión de la luz, evitando accidentes. La marca Ballotini ofrece Microesferas Premium, con la mejor relación calidad-precio, aportando una alta calidad de aplicación y resultados, tanto en retroreflectividad y durabilidad.[30]

*Tabla 7: Composición química de Microesferas de vidrio Ballotini M 247 - Tipo I*

<b>COMPUESTO</b>	<b>FÓRMULA QUÍMICA</b>	<b>CONTENIDO TÍPICO %</b>
Dióxido de Silicio	SiO <sub>2</sub>	73%
Óxido de Sodio	Na <sub>2</sub> O	15%
Óxido de Calcio	CaO	7%
Óxido de Magnesio	MgO	4%
Óxido de Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1%

*Tabla 8: Especificaciones de Microesferas Ballotini M 247 - Tipo I*

<b>REQUISITO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>MÉTODO DE PRUEBA</b>
Color	Claro - Transparente	AASHTO M-247
Esfericidad (%)	70% mínimo	MT-AC-05
Contenido de Plomo	200 ppm máximo	MT-AC-06
Contenido de Antimonio	200 ppm máximo	AASHTO M-247
Contenido de Arsénico	75 ppm máximo	MT-AC-06
Índice de Refracción	1.5 mínimo	MT-AC-09
Gravedad Específica (gr./cm)	2.3 - 2.6 gr./cm	MT-AC-12
Adherencia	Cumple	AASHTO M-247
Resist. a los ácidos (HCL)	Cumple	ABNT-NBR-6 824

*Tabla 9: Granulometría de Microesferas Ballotini M247 - Tipo I*

<b>Granulometría (%)</b>	<b>% Pasa</b>	<b>Norma</b>
Tamiz N°20	95 - 100	ASTM - D - 1 214
Tamiz N°30	75 - 95	
Tamiz N°40		
Tamiz N°50	15 - 35	
Tamiz N°80	0 - 5	
Tamiz N°100		

## **Materiales y métodos**

### **Tipo de investigación**

La presente investigación tiene las siguientes tipologías:

#### ***Con respecto al fin que se persigue***

El tipo de investigación es APLICADA, porque busca mejorar un contexto problemático mediante procedimientos prácticos, y dejar de lado la producción de un conocimiento a nivel universal.

#### ***Con respecto a los datos analizados***

El tipo de investigación es CUANTITATIVA, porque a partir de la recolección de datos se obtendrán resultados de forma numérica, y estos a su vez serán analizados mediante parámetros admisibles. Esto genera una mayor exactitud y confiabilidad, aportando pruebas para comprobar la hipótesis.

#### ***Con respecto a la metodología para comprobar la hipótesis***

El tipo de investigación es EXPERIMENTAL, porque se comprobará la hipótesis en base a los resultados, donde se medirá la eficiencia del aditivo en estudio mediante diferentes ensayos en laboratorio.

### **Nivel de investigación**

La presente investigación tiene el siguiente nivel:

#### ***Medición del efecto de la variable independiente***

Consiste en evaluar la influencia de la variable independiente con respecto a la variable dependiente, esto se realizará una vez culminado los ensayos respectivos.

### **Población, muestra y muestreo**

#### ***Población***

Las microesferas de vidrio hueca, con las cuales se producirán muestras de concreto autocompactante de  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ .

### Muestra

El tipo de microesfera de vidrio que se utilizará para el ensayo corresponde AASHTO M247 Tipo I, para la producción de la muestra patrón se realizará una mezcla de  $f'c$  de 350 kg/cm<sup>2</sup>, mediante el cual se compara con muestras de reemplazo de microesferas de vidrio a 2%, 5%, 7% del cemento. A partir de esto se evaluarán las propiedades en estado fresco y endurecido.

Tabla 10: N° de muestras de los ensayos aplicados al concreto

<b>Concreto diseñado para de <math>f'c=350</math> kg/cm<sup>2</sup> – Estado fresco</b>	<b>Muestra Patrón</b>	<b>Reemplazo 2%</b>	<b>Reemplazo 5%</b>	<b>Reemplazo 7%</b>
N° de muestras para ensayo de anillo J, caja de paso L, escurrimiento, embudo V	6	6	6	6
N° de veces del ensayo	1	1	1	1
Sub Total	6	6	6	6
<b>TOTAL</b>	<b>24 muestras</b>			
<b>Concreto diseñado para de <math>f'c=350</math> kg/cm<sup>2</sup> – Estado endurecido</b>	<b>Muestra Patrón</b>	<b>Reemplazo 2%</b>	<b>Reemplazo 5%</b>	<b>Reemplazo 7%</b>
N° de muestras	3	3	3	3
Días de ensayo de resistencia a la compresión	4	3	3	3
Subtotal - Resistencia a la compresión	12	9	9	9
Subtotal	<b>39 probetas</b>			
Ensayo de resistencia a la tracción	3	3	3	3
Ensayo de Modulo de elasticidad y Poisson	3	3	3	3
Subtotal	<b>24 probetas</b>			
<b>TOTAL</b>	<b>87 probetas</b>			

- Elaboración propia -

### Muestreo

De acuerdo con el diseño de la investigación, la metodología utilizada en esta investigación [31] fue el de tipo NO PROBABILISTICO, y a partir de la correlación que existen entre las variables, se empleó el método de “Los Sujetos” estableciéndose de esta forma el muestreo por conveniencia, empleado principalmente para investigaciones exploratorias.

A partir de ello se obtiene el siguiente cuadro, con la experiencia de diversos estudios realizadas por expertos en el tema.

Tabla 11: Antecedentes científicos

Autor	Dosificación	Aplicado a	Conclusión técnica	Conclusión económica
S.Gómez	5% de reemplazo al cemento	Concretos Hidráulicos	Mejora propiedades mecánicas	Es factible
A. Ramirez et. al	6.7% de reemplazo del agregado fino	Concretos Hidráulicos y morteros	Mejora propiedades mecánicas	No es recomendable
D. Oreshkin et. al	5% de reemplazo al cemento	Concretos Hidráulicos	Mejora propiedades en estado fresco, pero reduce ligeramente en estado endurecido	No especifica
S. Shahidan et. al	3%, 6%, 9% de reemplazo al cemento	Concretos ligeros	Mejora propiedades mecánicas	No especifica

- Elaboración Propia -

Con lo mencionado anteriormente, se determinó la dosificación empleada en esta investigación siendo del 2%, 5%, 7% de microesferas de vidrio como reemplazo del cemento, la cual se convierte en una variable independiente que es dirigida según el muestreo no probabilístico.

Sin embargo, es importante resaltar que la metodología seguida no es completamente concisa y mantiene un gran margen de error muestral; de esta manera, lo más recomendable es realizar un diseño de muestra de tipo probabilística, teniendo en cuenta los objetivos de la investigación, y generando un modelo de análisis, este último con el propósito de verificar la precisión que expresaran las variables en relación con el centro de interés de la investigación.

Todo ello conllevaría a calcular el tamaño de la muestra, verificando que el nivel de confianza sea bastante alto para que tenga validez (generalmente superior al 95%), además de realizar el cálculo del error muestral y sistemático de la investigación.[32]

Con la ayuda de un muestreo aleatorio estratificado, el cual es un método probabilístico, la población se puede dividir en estratos (para este caso, se establecerían rangos de posibles dosificaciones de HGM como reemplazo del cemento), y cuya variable clasificatoria categórica sería de tipo ordinaria (como ejemplo serían los posibles valores de resistencia y slump que se pueden obtener a partir de una dosificación de reemplazo de HGM), resaltando que cada estrato tendrá una probabilidad independiente (esta posibilidad va de acuerdo a cuan factible es que una dosificación pueda llegar al intervalo de la resistencia proyectada:  $f'c + 10\%f'c$  y slump proyectado según norma ACI 237 R:  $D' \pm 5\text{cm}$ ).[32]

Y finalmente con el apoyo de datos estadísticos se puede realizar la extracción, validación y ajuste de las dosificaciones de reemplazo los cuáles serán las muestras finales de la investigación y que deberían de tener un alto nivel de confianza, es decir que la dosificación

seleccionada tendría elevadas posibilidades de alcanzar la resistencia deseada y slump proyectado.[32]

## **Diseño de la investigación**

### *Variables dependiente e independiente*

#### *Variable dependiente*

Propiedades del concreto autocompactante.

#### *Variable independiente*

Incorporación de microesferas de vidrio a 2%, 5% y 7% en reemplazo del cemento.

### Operacionalización de variables

Tabla 12: Operacionalización de las variables y sus ensayos correspondientes

Variable		Dimensión	Indicadores	Instrumento	Índice
Tipo	Descripción				
Independiente	Incorporación de microesferas de vidrio a 2%, 5% y 7% en reemplazo del cemento	Propiedades físicas y químicas	Análisis químicos	Ficha técnica de Microesferas de Vidrio	%
			Densidad - Peso específico		kg/m <sup>3</sup>
Dependiente	Propiedades del concreto autocompactante	Agregados finos y grueso	Análisis granulométrico	Ensayo de granulometría N.T.P. 400.012	
			Peso Unitario	Ensayo del peso unitario N.T.P.400.017	kg/m <sup>3</sup>
			Contenido de Humedad	Ensayo de % de humedad N.T.P.339.185	%
			Peso específico y de absorción	Ensayo de peso específico y absorción N.T.P.400.021, N.T.P.400.022	gr/cm <sup>3</sup>
		Propiedades del concreto en estado fresco	Velocidad de flujo	Ensayo de asentamiento	T500, SF
			Viscosidad	Ensayo del embudo V	Tv
			Fluidez de asentamiento	Ensayo del anillo J	TJ
			Capacidad de paso de la caja L	Ensayo de la caja L	PL
			Temperatura	Determina la temperatura del concreto	°C
			Peso Unitario	Ensayo que calcula el peso unitario según norma NTP 339.046	kg/m <sup>3</sup>
		Propiedades del concreto en estado endurecido	Valor de resistencia a la compresión	Ensayo que calcula la resistencia a la compresión según norma ASTM C39	kg/cm <sup>2</sup>
			Valor de resistencia a la tracción indirecta	Ensayo que calcula la resistencia a la tracción indirecta	kg/m <sup>3</sup>
			Valor del módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson	Ensayo de módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson	k/cm <sup>2</sup>
		Análisis económico	Factibilidad económica	Análisis del costo por metro cubico del concreto	\$/m <sup>3</sup>

- Elaboración propia -

## Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 13: Instrumentos necesarios en cada ensayo

Técnica	Instrumentos	Elementos de la Población	Propósito
Ensayo de escurrimiento – flujo	Base rígida de diámetro mínimo de 950 mm	Muestra patrón de concreto autocompactante, y muestras de concreto autocompactante con reemplazo de microesferas de vidrio hueca	Determinar la velocidad de flujo mediante la medida del T50
	Varilla lisa de punta semiesférica		
	Un flexómetro		
	Un balde de 12 litros		
	Una carretilla		
	Molde cónico - cono de Abrams		
Ensayo del embudo V	Balde de 12 litros	Muestra patrón de concreto autocompactante, y muestras de concreto autocompactante con reemplazo de microesferas de vidrio hueca	Determinar la capacidad del concreto para fluir por áreas reducidas por acción de gravedad - determinar el Tv
	Embudo V		
	Una carretilla		
	Espátula		
	Cronometro		
Ensayo del anillo J	Molde sin pieza de pie, en forma de cono truncado	Muestra patrón de concreto autocompactante, y muestras de concreto autocompactante con reemplazo de microesferas de vidrio hueca	Determinar la capacidad de paso del concreto - determinar el T50
	Base rígida de diámetro mínimo de 700 mm		
	Espátula		
	Cinta métrica		
	Flexómetro		
	Anillo J		
Ensayo caja L	Caja L	Muestra patrón de concreto autocompactante, y muestras de concreto autocompactante con reemplazo de microesferas de vidrio hueca	Determina la capacidad de paso - determinar T20 Y T40
	Espátula		
	Cronometro		
	Una carretilla		



Análisis Granulométrico	Juego de Tamices N°4, N°10, N°40; N°60, N°100, N°200	Agregados finos y gravas	Curva granulométrica
Ensayo de resistencia a la compresión y tracción	Probetas cilíndricas	Muestra patrón de concreto autocompactante, y muestras de concreto autocompactante con reemplazo de microesferas de vidrio hueca	Determinar la resistencia a la compresión
	Maquina compresora		
Peso Unitario	Balanza de precisión de 1 gr	Muestra patrón de concreto autocompactante, y muestras de concreto autocompactante con reemplazo de microesferas de vidrio hueca	Determinar los valores de peso unitario
	Wincha		
	Vernier		
Peso Especifico	Ficha técnica de ensayos practicados a microesferas de vidrio	Muestras de microesferas de vidrio	Determinar los valores del peso específico y densidad

- Elaboración propia -

## Procedimiento para la recolección de datos

### *Técnicas de investigación*

#### *Analisis*

Se ejecutó una evaluación de forma experimental las propiedades de los agregados y como estos influenciarían en el diseño de mezcla del CAC.

#### *Inferencia o deducción*

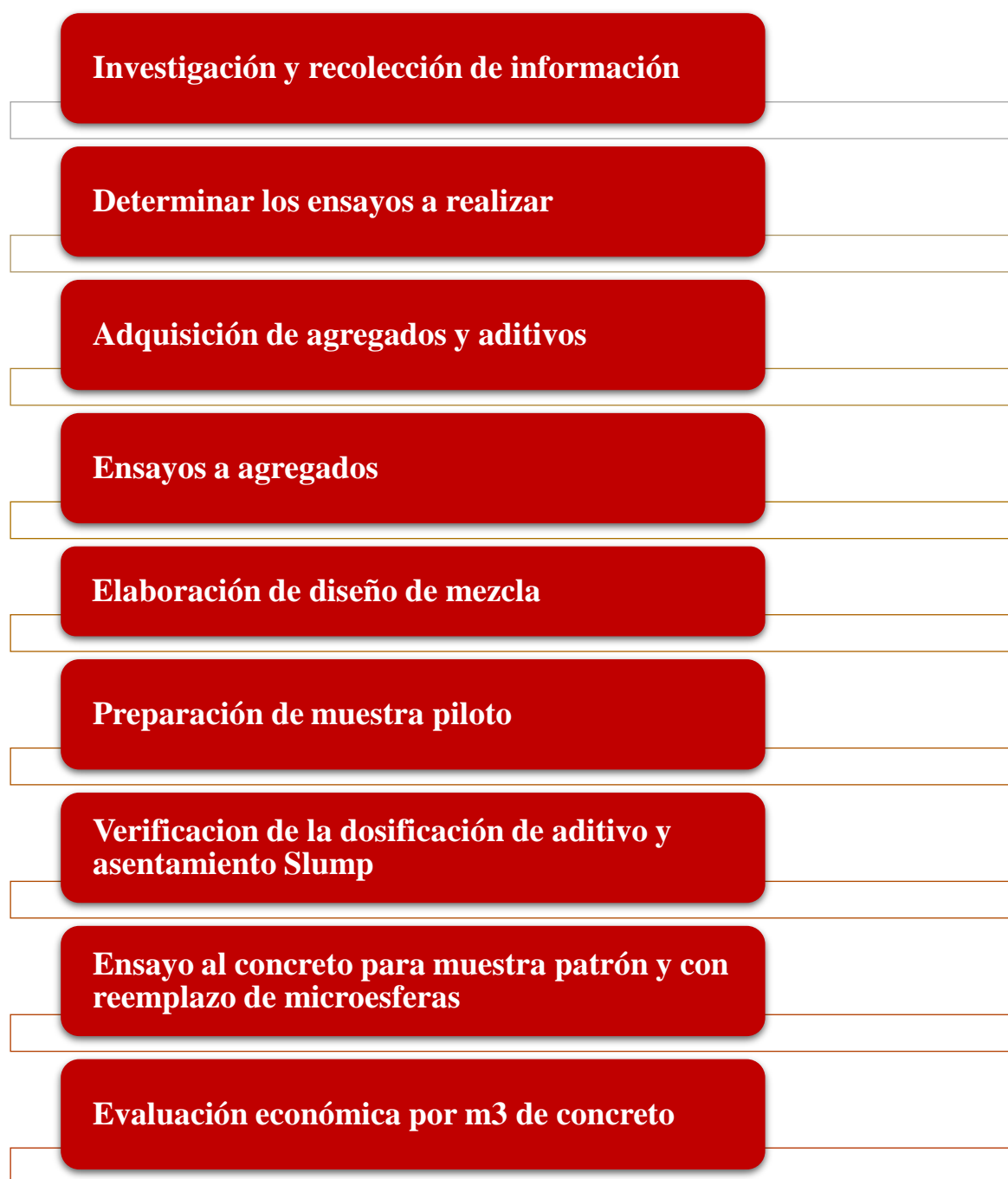
Se estudiaron diferentes propuestas de diseños de mezclas convencionales como de concreto autocompactante para realizar un diseño correcto y siguiendo los parámetros de la norma ASTM 237-R.

## *Técnicas de recolección de información*

### *Analisis de documentos*

Técnica necesaria para la recolección de información y criterios de diseño siguiendo los parámetros de la normativa vigente, además de las investigaciones de diferentes experiencias con temas similares al estudiado.

### *Procedimiento para la recolección de datos*



### ***Investigación y recolección de información***

Proceso donde se realiza indagación a la normativa vigente sobre los parámetros de diseño para la elaboración de CAC. Se buscan libros o investigaciones experimentales de la misma área para facilitar la construcción del proceso experimental.

### ***Determinar los ensayos a realizar***

Proceso en el que se planifica la ejecución de las experiencias en laboratorio con el propósito de demostrar la hipótesis y responder a los objetivos establecidos.

Las pruebas a los agregados provenientes de la cantera de la Victoria y Tres Tomas son los siguientes: granulometría, peso unitario, peso específico y de absorción, contenido de humedad.

Los ensayos al concreto autocompactante son los siguientes: ensayo de asentamiento, ensayo del anillo J, ensayo del embudo V, ensayo de la caja de paso L, ensayo de exudación, ensayo de peso unitario, ensayo de resistencia a la compresión y flexión.

### ***Adquisición de agregados y aditivos***

En este proceso se realiza la compra del agregado grueso de procedencia de la Cantera de Tres Tomas en el departamento de Lambayeque. El aditivo fue conseguido por la empresa Z Aditivos, donde el aditivo seleccionado fue el Z Fluodizante SR – 1000, debido a sus propiedades de reducción de agua y su composición a base de policarboxilatos que actúan directamente con el cemento.

Las microesferas de vidrio son de la empresa Pottors Ballotini Panamericana que vende materiales para pavimentos y reflexión vial, este material fue seleccionado debido a su buena granulometría para formar parte de la pasta del concreto, además de su esfericidad que ayuda a la fluidez y su gran resistencia a la compresión.

### ***Ensayos a los agregados***

En esta sección se determinan las cualidades físicas de los agregados que formaran parte del diseño de mezcla del concreto autocompactante.

### *Ensayo de granulometría*

Para este ensayo fueron necesarios necesario los tamices 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100; correspondientes para el tamizado de las arenas, y 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°16; para el tamizado de las piedras.

Términos importantes para destacar son:

- Tamaño máximo nominal, correspondiente al menor tamiz por el cual pasa la mayor parte del agregado grueso (piedra), usualmente se considera que el tamaño retenido oscila entre los 5% y 15%.

Algunas formulas a destacar es el módulo de fineza, la cual es:

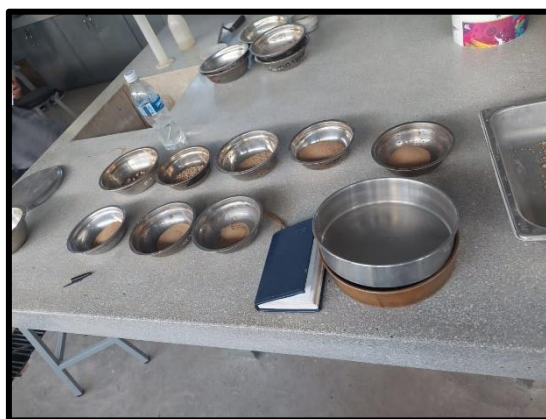
$$\text{Módulo de fineza} = \frac{\sum \% \text{ Acumulado Retenido}}{100\%}$$

### *Procedimiento*

- Procede a la selección de la muestra mayor a 2 kg con respecto al agregado grueso y una muestra de 500 g para el agregado fino, todo esto mediante el método B del cuarteo según el método ASTM D75.
- Las muestras son puestas al horno por 24 horas a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Realizar la selección de tamices de acuerdo con lo anteriormente expuesto.
- Se comienza a introducir la muestra en la parte superior de los tamices, luego es tapado cuidadosa y mecánicamente es tamizado por un promedio de 8 minutos. (Este proceso se realiza por separado para agregados finos y gruesos).
- Finalizado el proceso anterior se separan los tamices uno por uno cuidadosamente de para no perder muestra, y cada material retenido es dividido en diferentes taras.
- La fase final consiste en pesar el material retenido por cada tara y se procede con el registro de datos para ser trabajados.



*Ilustración 23: Proceso de zarandeo para el tamizado*



*Ilustración 24: Muestras retenidas en los diversos tamices*

*Ensayo de peso unitario seco de agregado fino y grueso*

En este ensayo se deben tener las siguientes consideraciones:

Para peso unitario suelto seco:

$$\text{Peso unitario suelto húmedo} = \frac{\text{Peso de muestra suelta}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

$$\text{Peso unitario suelto seco} = \frac{\text{Peso unitario suelto húmedo}}{(1 + \% \text{ de humedad muestra})}$$

Para peso unitario compactado seco:

$$\text{Peso unitario compactado húmedo} = \frac{\text{Peso de muestra suelta}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

$$\text{Peso unitario compactado seco} = \frac{\text{Peso unitario suelto húmedo}}{(1 + \% \text{ de humedad muestra})}$$

Las fórmulas expuestas anteriormente se aplican tanto para el agregado fino como para el agregado grueso.

### *Procedimiento*

- Se debe tener las muestras superficialmente secas, para ello deben de estar expuestas al sol por lo menos 2 horas.
- Se determina el volumen del molde y peso correspondiente.
- A continuación, se procede a llenar la tercera parte del molde para luego dar 25 golpes de una varilla de 5/8" aproximadamente, estos golpes deben de estar repartidos en toda el área de la superficie. Luego se procede a dar 15 golpes con un martillo de goma alrededor del molde. Una vez terminado, se continúa llenando hasta las 2/3 partes del molde y se repite el proceso anterior hasta llenar el molde a tope.
- Se pesa el molde + muestra y se toman los resultados para su proceso correspondiente.
- El proceso se repite dos veces para obtener valores promedios.



*Ilustración 25: Peso compactado de muestra de agregado grueso*



*Ilustración 26: Peso compactado de muestra de agregado fino*



*Ilustración 27: Varillado de muestra de agregado fino*

*Ensayo de peso específico y de absorción de agregado fino*

Para este ensayo se deben de tener las siguientes consideraciones de cálculo:

$$\text{Peso específico en masa} = \frac{\text{Peso de la arena secada al horno}}{\text{Capacidad del frasco} - \text{agua}}$$

$$\text{Peso esp. en masa sat. super. seco} = \frac{\text{Capacidad del frasco}}{\text{Capacidad del frasco} - \text{agua}}$$

$$\text{Peso esp. aparente} = \frac{P. \text{ arena secada al horno}}{(C. \text{ frasco} - \text{agua}) - (P. \text{ Muest. Sup. Seca} - P. \text{ arena secada})}$$

$$\% \text{ Aborción} = \frac{P. \text{ Muest. Sup. Seca} - P. \text{ arena secada al horno}}{P. \text{ arena secada al horno}}$$

### *Procedimiento*

- Selección de muestra mediante el método de cuarte según lo especificado en la norma ASTM D75.
- Se toma como muestra significativa 1kg la cual debe de pasar por la malla N°4.
- Se toma el peso de fiola.
- Se toma una muestra de 500g para luego introducirla al horno para su secado por 24 horas a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- A continuación, se procede a llenar la fiola hasta llenar la capacidad de 500ml, a partir de esto se comienza a realizar el quitado de aire contenido en la fiola de forma manual.
- Posteriormente, cuando no tenga aire atrapado en la fiola, se deja decantando por 24 horas y se toma el peso de la muestra.
- Finalmente, se extrae la muestra hacia una tara y se deja secando por 24 horas a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  para luego ser pesada.



*Ilustración 28: Tamizado de muestra de agregado fino - Malla N°4*

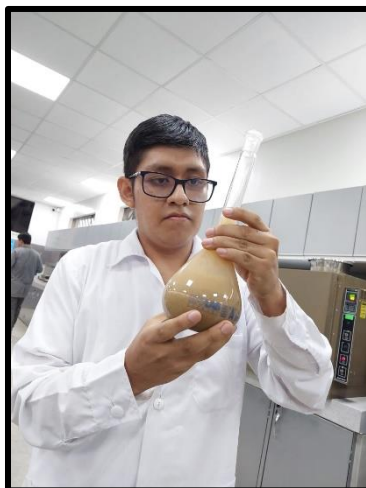




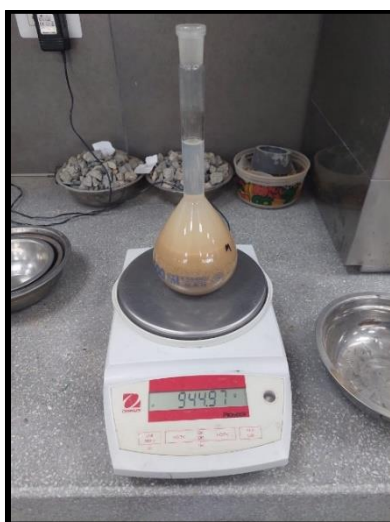
*Ilustración 30: Apisonamiento de muestra en el cono*



*Ilustración 29: Comprobación de la muestra superficialmente seca*



*Ilustración 31: Eliminación de aire manualmente*



*Ilustración 32: Muestra + fiola + agua*

*Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso*

Para este ensayo de deben de tener las siguientes consideraciones

$$\text{Peso específico en masa} = \frac{\text{Peso de la muestra secada al horno}}{\text{Peso de la muestra super. seca} - \text{Muestra saturada}}$$

$$\text{Peso esp. en masa sat. super. seco} = \frac{\text{Peso de la muestra super. seca}}{\text{P. de muestra super. seca} - \text{Muestra saturada}}$$

$$\text{Peso esp. aparente} = \frac{\text{P. arena secada al horno}}{\text{P. arena secada al horno} - \text{Muestra saturada}}$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{P. Muest. Sup. Seca} - \text{P. muestra secada al horno}}{\text{P. muestra secada al horno}}$$

*Procedimiento*

- Se eligió una muestra de grueso mediante el cuarte según la norma ASTM D75, esta muestra es mayor a 2kg, posteriormente se procedió a lavar hasta eliminar todo polvo de superficie, una vez realizado esto se introdujo al horno por 24 horas a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Realizado lo anterior, se deja enfriando la muestra hasta que sea manejable, luego se hecha en un envase de agua y se deja reposar por 24 horas.
- Una vez se tenga el agregado superficialmente seco se introduce en una canastilla metálica, para luego sumirse en agua sostenido por medio de un gancho que se une con en la parte inferior de la balanza, y posteriormente indique el peso del agregado.
- Teniendo los parámetros anteriores ya medidos, se procede a colocar el agregado en una tara para que a continuación sea introducido a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.
- Cumplidas las 24 horas de espera, se saca la muestra del horno y se deja reposar por un tiempo para que el agregado no represente quemaduras al momento de ser pesado.



*Ilustración 33: Secado superficial de la muestra*



*Ilustración 34: Muestra superficialmente seca*



*Ilustración 35: Muestra sumergida en la canastilla bajo agua*

*Ensayo de porcentaje de humedad de agregado fino y grueso*

En este ensayo se tiene que considerar lo siguiente para el cálculo:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{Peso de muestra húmeda} - \text{Peso de muestra seca}}{\text{Peso de muestra seca}}$$

*Procedimiento:*

- Se comienza con el peso de una muestra la cual ha sido cuarteada según la norma ASTM D75.
- Se tomo la medida del peso de la muestra de agregado.
- Se introduce al horno a una temperatura de 110°C por un tiempo de 24 horas para eliminar la humedad.

- Por último, se retira la muestra del horno, y se espera un tiempo para que el agregado no suponga quemaduras, y luego se anota su peso seco.



*Ilustración 36: Peso seco del agregado grueso*



*Ilustración 37: Peso seco del agregado fino*

### ***Elaboracion de diseño de mezcla para un CAC***

El proceso para el cálculo de los pesos de cada agregado que tendrá el concreto por metro cubico se establecieron siguiendo los lineamientos del comité ACI 237 – R, donde se destaca principalmente el porcentaje máximo de agregado grueso que debe de contener la mezcla, y la relación agua cemento a considerar.

Es importante resaltar que los agregados son provenientes de la cantera de La Victoria y Tres Tomas (Lambayeque), las cuales fueron sujetos a pruebas con el fin de determinar sus cualidades físicas y de esa forma establecer el diseño de mezcla.

Para la búsqueda de la dosificación correcta de aditivos y agregados, se realizaron diversas pruebas piloto, donde se verificó que el asentamiento y escurrimiento cumplieran con la norma además de la resistencia de 350 kg/cm<sup>2</sup> solicitada.

Comenzamos con el cálculo del  $f'_{cr}$ , donde según la normativa peruana N.T.P. E060, para el caso donde no exista antecedentes disponibles para calcular la desviación estándar de la muestra se usa la siguiente tabla:

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.5$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.1 f'_c + 5.0$

*Ilustración 38: Fuente - N.T.P. E060*

En donde para un  $f'_c = 350$  kg/cm<sup>2</sup>

Obtenemos un  $f'_{cr} = 350 + 85 = 435$  kg/cm<sup>2</sup>

A continuación, se realiza el cálculo de la relación a/c que según la norma N.T.P. E060, se deben de seguir las siguientes consideraciones.

*Tabla 14: Contenido de aire de acuerdo con el  $f'_{cr}$  - Norma N.T.P E.060*

<b><math>f'_{cr}</math> a los 28 días (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>C° S/ Aire incorporado</b>	<b>C° C/ Aire incorporado</b>
200	0.70	0.61
210	0.68	0.59
250	0.62	0.53
280	0.57	0.48
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	0.34
420	0.41	0.33

Para un  $f'_{cr} = 435$  kg/cm<sup>2</sup> se debe interpolar los valores C° S/ Aire incorporado, de esta forma se obtiene:

Relación a/c= 0.40

Sin embargo, para la elaboración de concretos autocompactantes se hace necesario mezclas más fluidas lo que se traduce a conservar una relación de a/w alrededor de 1.4 y 1.5. A partir de eso, la normativa ACI 237 – R se limita a una relación de a/c máxima de 0.45, por lo que a continuación se escoge esa relación para cumplir con lo mencionado con la norma y además del método de Okamura.

Relación a/c= 0.45 Según ACI 237 - R

Posteriormente, se determina el asentamiento objetivo del concreto autocompactante (teórico); para ello, se debe de tener en cuenta los elementos estructurales a los cuales está dirigido este diseño, con este criterio establecido se tiene la siguiente tabla:

Tabla 15: Slump elegido - ACI 237-R

		Slump flow		
		<22 in. (<550 mm)	22 to 26 in. (550 to 650 mm)	>26 in. (>650 mm)
Member characteristics	Reinforcement level	Low		
		Medium		
		High		
	Element shape intricacy	Low		
		Medium		
		High		
	Element depth	Low		
		Medium		
		High		
	Surface finish importance	Low		
		Medium		
		High		
	Element length	Low		
		Medium		
		High		
	Wall thickness	Low		
		Medium		
		High		
	Coarse aggregate content	Low		
		Medium		
		High		
	Placement energy	Low		
		Medium		
		High		

Para edificaciones que tiene un nivel de refuerzo medio (construcciones de concreto armado), una complejidad de elementos baja (construcciones con geometrías definidas), una longitud de elementos media (para el caso de placas y losas de edificios multifamiliares) y un espesor de muros entre medio y bajo (dependiendo si son muros de ductilidad limitada o muros portantes de ladrillos de arcilla).

Se establece de esta forma un Slump que va desde 550 mm hasta 650 mm, sin embargo, para fines de cálculos se estableció un valor de 600 mm.

$$\text{Flujo de asentamiento} = 600 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el flujo de asentamiento obtenido anteriormente, se puede calcular la cantidad de cemento para la mezcla mediante la siguiente tabla:

	Slump flow of < 22 in. (<550 mm)	Slump flow of 22 to 26 in. (550 to 600 mm)	Slump flow of >26 in. (>650 mm)
<b>Powder content, lb/yd<sup>3</sup> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	600 to 650 (355 to 385)	650 to 750 (385 to 445)	750+ (458+)

En donde para un flujo de 600 mm por interpolación se obtiene:

$$\text{Cantidad de cemento} = 475 \text{ kg/m}^3$$

Para el cálculo de la cantidad de bolsas se divide la cantidad de cemento entre 42.5 kg que es el peso por bolsa de cemento. De esta forma se tiene la cantidad de bolsas de cemento necesaria por metro cubico de concreto.

$$\text{Cantidad de bolsas} = 475/42.5 = 11.2 \text{ bolsas/m}^3$$

A partir de esto, se pudo obtener la cantidad de agua de la mezcla de concreto autocompactante:

$$\begin{aligned} \text{Relación a/c} &= 0.45 \\ \text{Cantidad de cemento} &= 475 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Cantidad de agua} &= 475 \times 0.45 \\ \text{Cantidad de agua} &= 213.75 \text{ L/m}^3 \end{aligned}$$



Posteriormente, se calcula el peso del aditivo por metro cubico, cabe resaltar que el porcentaje establecido aquí fue comprobado mediante ensayos, con el propósito de llegar al asentamiento establecido anteriormente.

Aditivo superplastificante: Z Fluidizante SR-1000	1.50%
Aditivo por el peso del cemento =	1.50% x 475
Aditivo por el peso del cemento =	7.13 kg/m <sup>3</sup>

De esta forma, en la siguiente tabla se tiene un resumen del volumen de la pasta que se tiene hasta el momento.

*Tabla 16: Volumen de la pasta*

Descripción	Cantidad
- Cemento Portland Tipo I	0.152 m <sup>3</sup>
- Agua Potable	0.214 m <sup>3</sup>
- Aditivo Z Fluidizante SR - 1000	0.007 m <sup>3</sup>
- Total	0.372 m <sup>3</sup>

*- Elaboración propia -*

A continuación, se calcula el volumen del agregado, y posteriormente se calcula el volumen de agregado fino y grueso. Es importante destacar que el porcentaje de proporción fue establecido a criterio de acuerdo con diversas experiencias para la elaboración de concreto autocompactante.

Volumen del agregado en la mezcla =	1 - 0.372
Volumen del agregado en la mezcla =	0.628 m <sup>3</sup>

Descripción	Proporción	Vol. Total	Vol. Absoluto
- Agregado fino - Arena	60%	0.628 m <sup>3</sup>	0.377 m <sup>3</sup>
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	40%	0.628 m <sup>3</sup>	0.251 m <sup>3</sup>

Por consiguiente, se define el peso de los agregados como parte de la mezcla de concreto.

*Tabla 17: Volumen de la pasta + agregados*

Material	Peso seco (Kg)	Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen unitario (m <sup>3</sup> )
- Cemento Tipo I	475.00	3130	0.152
- Agregado Fino - Arena	954.10	2532.29	0.377
- Agregado grueso - Piedra Chancada de 3/4"	680.78	2710.29	0.251
- Agua Potable	213.75	1000	0.214
- Aditivo - Z Fluidizante SR - 1000	9.50	1200	0.006
		Total	1.000

*- Elaboración propia -*



Una vez realizado lo anterior, se procede a realizar la corrección por humedad, donde interviene el % de humedad de los agregados y el % de absorción de estos.

*Tabla 18: Corrección por humedad*

Áridos	% de humedad (A)	Peso seco (kg) (B)	Peso húmedo(kg) (1+A)x(B)
- Agregado fino - Arena	3.81%	954.10	990.462
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	0.34%	680.78	683.087

*- Elaboración propia -*

Con los datos anteriores, continuamos con el cálculo del aporte de agua en la mezcla

*Tabla 19: Aporte de agua en la mezcla*

Áridos	% w - % abs (A)	Peso seco (kg) (B)	Aporte (L) (A)x(B)
- Agregado fino - Arena	3.01%	950.79	28.765
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	-1.04%	678.42	-7.087
Total			21.678

*- Elaboración propia -*

Entonces el agua efectiva simplemente es la resta del agua de diseño menos el aporte de agua

$$\text{Agua efectiva} = 213.75 - 21.678$$

$$\text{Agua efectiva} = 192.07 \text{ L}$$

En la siguiente tabla se muestran los valores corregidos en conjunto con su dosificación en peso.

*Tabla 20: Valores corregidos*

Material	Peso de diseño (Kg)	Peso Específico (Kg/m3)	Volumen unitario (m3)	Dosificación en peso (Kg)
- Cemento Tipo I	475.00	3130	0.152	1.000
- Agregado Fino - Arena	990.46	2532.29	0.391	2.085
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	683.09	2710.29	0.252	1.438
- Agua Potable	192.07	1000	0.192	0.404
- Aditivo 1-Z Fluizante SR - 1000	7.13	1200	0.006	0.015

*- Elaboración propia -*

Por consiguiente, se calcularon las dosificaciones de los materiales en unidades de pie<sup>3</sup>

*Tabla 21: Dosificación de materiales*

<b>Material</b>	<b>Dosificación en peso (Kg) ... (1)</b>	<b>Contenido neto de cemento ... (2)</b>	<b>Volumen unitario (kg) (1)x(2)</b>
- Cemento Tipo I	1.000	42.5	42.500
- Agregado Fino - Arena	2.085	42.5	88.620
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	1.438	42.5	61.118
- Agua Potable	0.404	42.5	17.185
- Aditivo 1-Z Fluidizante SR - 1000	0.015	42.5	0.638

<b>Áridos</b>	<b>Peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>% de humedad</b>	<b>Peso unitario suelto húmedo (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso unitario suelto húmedo (pie<sup>3</sup>)</b>
- Agregado fino - Arena	1508.20	3.81%	1565.677	44.335
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	1379.43	0.34%	1384.110	39.194

*- Elaboración propia -*

Y para finalizar el cálculo de los volúmenes por bolsas de cemento.

Cemento	Arena fina	Piedra	Agua	Aditivo 1
1.00	2.00	1.56	17.185	0.64

Comprobamos los parámetros de la norma ACI 237 – R

*Tabla 22: Comparación de los parámetros de la norma y los diseños*

	<b>Norma ACI</b>	<b>Diseñado</b>
- Relación w/finos (Volumen)	-	1.408
- Relación a/c (peso)	0.32 - 0.45	0.45
- Contenido total de finos (kg/m <sup>3</sup> )	386 - 485	475
- Agregado grueso (% de volumen)	28 - 32	29%
- Agua	-	192
- Fracción en pasta (% en volumen)	34 - 40	36.58%
- Fracción en mortero (% en volumen)	68 - 72	71.95%
- Cantidad de cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	386 - 475	475

*- Elaboración propia -*

### *Verificación de la dosificación del aditivo y resistencia a la compresión*

Este proceso es necesario para poder cumplir con el Slump establecido. Se realizaron pruebas polito con 1% y 2% de aditivo por peso de cemento. Este proceso verifico el diseño de mezcla patrón que cumpliera con solicitudes establecidas anteriormente.

En las siguientes tablas se muestran las tandas para una probeta de diámetro de 15cm y altura de 30cm.

#### Tanda para 1% de aditivo

*Tabla 23: Dosificación para probeta de D=15cm y H=30cm*

- Cemento Tipo I	3.01 kg
- Agregado Fino – Arena	6.31 kg
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	4.35 kg
- Agua Potable	1.22 l
- Aditivo 1-Z Fluizante SR – 1000	0.03 l
Peso de Tanda	14.91 kg

*- Elaboración propia -*

#### Tanda para 1.5% de aditivo

*Tabla 24: Dosificación para probetas de D=15cm y H=30cm*

- Cemento Tipo I	3.01 kg
- Agregado Fino – Arena	6.26 kg
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	4.32 kg
- Agua Potable	1.22 l
- Aditivo 1-Z Fluizante SR – 1000	0.06 l
Peso de Tanda	14.87 kg

*- Elaboración propia -*

#### Procedimiento:

A partir de ello se realizó el ensayo de Cono de Abrams para verificar el Slump objetivo obteniendo los siguientes resultados:

*Tabla 25: Slump obtenido en laboratorio para la dosificación de aditivo*

<b>% de aditivo</b>	<b>1%</b>	<b>1.5%</b>
Slump 1	48 cm	64 cm
Slump 2	46 cm	63 cm
Slump Prom.	47 cm	64 cm

*- Elaboración propia -*



*Ilustración 40: Escurrimiento de muestra de CAC – 2% aditivo*



*Ilustración 39: Ensayo del Cono de Abrams*



*Ilustración 42: Slump 1 - Aditivo al 1.5%*



*Ilustración 41: Slump 2 - Aditivo al 1.5%*



*Ilustración 44: Slump 1 - Aditivo al 1%*



*Ilustración 43: Slump 2 - Aditivo al 1%*

Una vez comprobado el Slump objetivo se verificó la resistencia a la compresión, para ellos se utilizó una probeta piloto para la cual se alcanzó los siguientes resultados.



*Ilustración 45: Verificación de resistencia a la compresión del diseño de mezcla*





*Ilustración 46: Ruptura de la muestra piloto*

La muestra piloto fue ensayada a los 3 días de curado por lo que debió haber desarrollado una resistencia del 50%, y se obtuvo un resultado un tipo de falla 3 por sus fisuras verticales a través de ambos extremos y la formación de conos mal formados. Además de una resistencia de 197.55 kg/cm<sup>2</sup> ajustándose al 10% de margen permitido.

#### ***Ensayo al concreto para muestra patrón y con reemplazo de microesferas***

Se practican los ensayos establecidos tanto a la muestra patrón como a las muestras con reemplazo de microesferas de vidrio. Los ensayos que se ejecutaran son los siguientes, ensayo de la caja de paso V, Anillo J, Caja de paso L, ensayo de asentamiento, peso unitario y contenido de aire, ensayo de resistencia a compresión y tracción indirecta.

#### ***Ensayo de asentamiento***

Para este ensayo se toman medidas del diámetro mayor producido por el escurrimiento y el diámetro perpendicular a este. Además, para este ensayo se toma el T50, que es el tiempo que demora al llegar a los 50 cm de diámetro.

#### ***Procedimiento***

- Se acomoda el cono de Abrams sobre una superficie lisa y con pendiente no tan significativa, se tiene que sujetar en todo momento el instrumento con considerable presión.

- Con el cucharón, se llena el cono totalmente, sin la necesidad de usar la varilla o el mazo (sin compactación), y con el bailejo se uniformiza la superficie del cono.
- Con una maniobra rápida se tiene que levantar el cono uniformemente permitiendo su fluidez sobre la superficie.
- En paralelo a lo anterior, se comienza el conteo de tiempo con un cronómetro, registrando el tiempo utilizado para que la muestra alcance un diámetro de 500 mm.
- Se procede a registrar los diámetros obtenidos mediante el uso de una cinta métrica.



*Ilustración 47: Slump de muestra patrón*



*Ilustración 48: Slump de muestra al 2% de microesferas de vidrio*



*Ilustración 49: Slump de muestra al 5% de microesferas de vidrio*



*Ilustración 50: Slump al 7% de microesferas de vidrio*

### *Ensayo de la Caja de Paso en L*

En este ensayo se determina la idoneidad del concreto para fluir y también la medida en la que este sujeta a bloqueos por parte de una rejilla de acero. Aquí se consideran la proporción de la rasante en la sección vertical ( $H2/H1$ ), que indica el alcance del concreto en reposo (medida de capacidad de paso).

$$H1 = 600 - X1$$

$$H2 = 150 - X2$$

La aplicación de esta prueba es muy usual en campo y laboratorio, gracias a que se puede montar fácilmente y dar resultados bastantes importantes. Se estima la idoneidad de relleno que debe de tener el CAC, además de resaltar cualquier problema de estabilidad de la mezcla (segregación) evidenciándose ocularmente mediante el control de las partes del concreto retenidas en la caja horizontal. A pesar de esto, uno de los puntos débiles de esta prueba es la falta de requisitos de acuerdo con la composición del instrumento, como por ejemplo las barras de armado, para que exista una mejor comparativa con respecto a antecedentes pasados.

El ensayo permite la toma de tiempos, pero se requiere dos operarios.

### *Procedimiento*

- Es necesario tener como mínimo una cantidad de 14 litros de CAC para ejecutar este ensayo, las cuales pueden ser muestras normales.
- A continuación, se nivela el instrumento sobre una superficie lisa y sin pendiente, verificando que no existan obstrucciones adicionales en la compuerta, permitiendo el paso con libertad.



- Se humedece el instrumento para disminuir su rugosidad.
- Se llena la sección vertical del aparato con la muestra de concreto.
- Se deja reposar por 1 minuto el concreto, o también se puede compactar.
- Se abre la compuerta permitiendo el paso del concreto en la sección horizontal.
- Nuevamente se deja reposar el concreto durante 1 minuto para que termine de fluir.
- Transcurrido el tiempo de reposo se procede a tomar las medidas de H1 y H2.
- El ensayo debe de realizarse en menos de 5 minutos.



*Ilustración 51: Proceso de llenado de la caja vertical- Caja de paso L*



*Ilustración 52: Proceso de abertura de la compuerta - Caja de paso L*



*Ilustración 53: Toma de medidas - Caja de paso L*

#### *Ensayo de embudo V*

El instrumento se base primordialmente en una forma de embudo V, y otro alternativo de forma circular con un diámetro especificado en la Ilustración 10. Este ensayo determina la capacidad de relleno del concreto que contiene agregados que superan los 20 mm de tamaño. Para este ensayo se promedia una cantidad de 12 litros de concreto, y la medición principal es el tiempo que toma en fluir la mezcla a través del instrumento. Podemos decir que para tiempos considerables de la capacidad de paso que tiene el CAC, se debe a una reducida disposición a deformarse gracias a una alta viscosidad de la pasta, además de la gran fricción por parte de sus partículas.

La importancia de este ensayo es que puede reproducir la capacidad real que tiene la muestra de CAC cuando es bombeada en obra.

Esta prueba tiene la ventaja de ser fácilmente ejecutable y los equipos no requieren mucho mantenimiento. Las medidas obtenidas en este ensayo pueden determinar la diferencia entre concretos de gran fluidez; a partir de esto, se dice que puede verificar los requerimientos en obra, pero hay que tener en cuenta que también este sujeto a error y requiere de dos operarios.

#### *Procedimiento*

- Es necesario preparar por lo menos 12 litros de mezcla de CAC para ejecutar correctamente el ensayo.
- Es requerido nivelar de forma rígida el embudo V sobre la superficie.

- El instrumento debe de estar húmedo superficialmente para reducir su rugosidad. (La trampilla debe de estar abierta para que de esta forma pueda expulsar toda el agua y quede superficialmente húmeda).
- Se cierra la compuerta y para no desperdiciar muestra se ubica un recipiente debajo.
- Con ayuda del cucharón se llena hasta la superficie del instrumento sin ningún tipo de compactación o vibrado, en la parte superior se puede nivelar la superficie de concreto.
- A continuación, se procede a abrir la compuerta 10 segundos después del permitiendo que las fuerzas de gravedad ayuden a fluir al concreto.
- En paralelo a lo anterior, debe de comenzar el coteo con el cronómetro.
- El cronometro terminara de contar hasta que el operario haya visto el primer rayo de luz al interior del instrumento.
- El ensayo debe realizarse en menos de 5 minutos.



*Ilustración 54: Proceso de llenado Embudo V*



*Ilustración 55: Registro de tiempo de paso por el Embudo V*

#### *Ensayo del Anillo Japones “J”*

El ensayo determina de escurrimiento del CAC a través de obstáculos. El instrumento utilizado se basa en una forma anillada completamente de acero ( $D= 300\text{mm}$ ), el cual esta modificada para poder incluir barras roscadas de acero. Las características de estas barras son diversas, ya que existen diferentes diámetros y distanciamiento entre estas mismas.

La implementación de este ensayo tiene una gran incidencia para caracterizar a un CAC, sin embargo, no se tiene muy definido la interpretación más adecuada de estos resultados. Las alternativas son muy diversas, un caso de esto es realizar una comparación entre el escurrimiento obtenido en este ensayo con respecto al del asentamiento por el cono de Abrams.

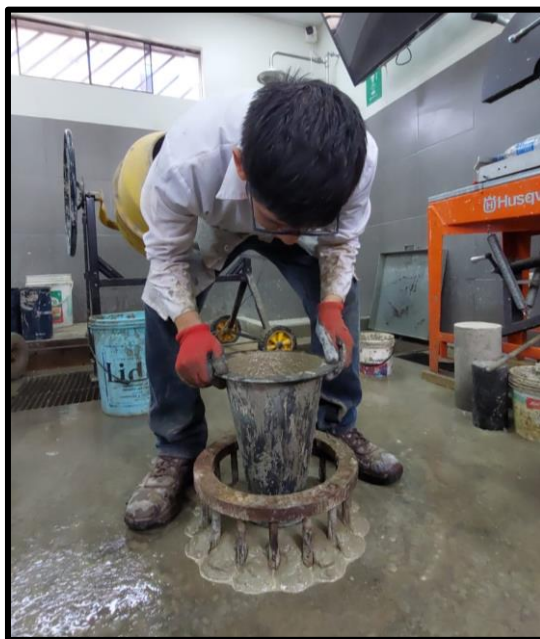
Las pruebas del anillo J y cono de Abrams, tienen grandes parecidos, pero su deficiencia mayor es la incapacidad de mostrar el desplazamiento del concreto que tiene en la practica real o en la puesta de obra.

Al igual que los ensayos anteriores, es importante contar como mínimo con dos personas para tomar las medidas de forma correcta y disminuir la tendencia al error.

#### *Procedimiento*

- Es necesario como mínimo la preparación de 6 litros de CAC para ejecutar esta prueba de forma correcta.
- Los instrumentos (anillo J y cono de Abrams) deben de estar humedecidos.

- A continuación, se coloca el cono de Abrams sobre una superficie lisa y uniforme, además, se sitúa el Anillo J encerrando el cono de Abrams de forma de este quede en el centro del ensayo.
- Con ayuda del cucharón, se llena el instrumento, sin necesidad de compactación o algún tipo de fuerza de compresión, lo único permitido es nivelar la superficie del cono.
- Se verifica que no existan materiales ni instrumentos próximos al anillo, limpiando todo tipo mezcla sobrante producido por el vaciado.
- Con firmeza se levanta el cono, sin obstruir el paso del concreto permitiendo su extensión con libertad.
- Se tomo como mediciones los diámetros en dos direcciones cuando la mezcla haya tenido un tiempo de reposo.
- El resultado final es el promedio de los diámetros obtenidos (en cm).
- También se pueden registrar las medidas de altura del CAC tanto en el interior del anillo como de la parte exterior de este. Este resultado también debe ser un promedio que indique uniformidad de la mezcla.



*Ilustración 56: Elevación del cono de Abrams y flujo de la muestra de CAC por el anillo J*





*Ilustración 57: Medida del diámetro de flujo del CAC por el anillo J*



*Ilustración 58: Medidas de H1 de muestra retenida por el anillo J*

### *Ensayo del peso unitario del Concreto*

A partir de las medidas de este peso unitario podemos determinar en cuál de estas tres categorías se encuentra el diseño del CAC, en donde tenemos los concretos normales cuyo valor se encuentra entre 2200 kg/cm<sup>3</sup> a 2400 kg/cm<sup>3</sup>, los concretos livianos que tienen un peso unitario inferior a 1900 kg/cm<sup>3</sup> y los concretos pesados que se encuentra entre los 2800 kg/cm<sup>3</sup> a 6000 kg/cm<sup>3</sup>.

### *Procedimiento*

- Registrar las dimensiones del molde para el posterior cálculo de su volumen.
- Procedemos a pesar el molde cilíndrico en donde estará nuestra muestra de concreto.
- A continuación, se comienza el vaciado del concreto en el molde, se realiza la compactación necesaria completar el volumen requerido por el molde.
- Con el apoyo de un martillo se golpea 15 veces alrededor del molde.
- Se pesa la muestra de concreto. El peso unitario lo obtenemos con la resta de este resultado y el peso del molde.



*Ilustración 59: Llenado del molde con muestra de CAC*



*Ilustración 60: Peso de muestra de CAC + molde*

### *Ensayo de temperatura del concreto en estado fresco*

Ensayo que mide la temperatura del concreto cuando la mezcla está en estado fresco, mediante el uso de un termómetro y siguiendo los parámetros de la norma ACI 207

#### *Procedimiento*

- Se tomo una muestra de concreto autocompactante ubicado en moldes de probetas que no son absorbentes, superando los 7.5 cm de altura establecidos por la norma.
- Se inserto un termómetro de precisión  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  y se dejó reposar mediante un tiempo de 2 minutos.
- Se registraron los valores obtenidos, considerando que el ensayo de temperatura tuvo una duración no mayor a 5 minutos según lo establecido en la norma.



*Ilustración 61: Vaciado de CAC*



*Ilustración 62: Medición de temperatura en estado fresco del concreto*



### *Ensayo de resistencia a la compresión*

Ensayo a la compresión de muestra cilíndrica de concreto que se realiza de acuerdo con la norma ASTM C39 o NTP 339.034.

#### *Procedimiento*

- Se toma la medida del diámetro de la probeta de concreto.
- Proceder con el ensayo una vez la probeta haya sido extraída de la cámara de curado, conservando de esa forma su humedad.
- Se debe de respetar la edad de ensayo dada sin superar las tolerancias admisibles.
- A continuación, se ubica la probeta en la prensa hidráulica.
- Se registran los datos cuando la probeta haya fallado.



*Ilustración 63: Ubicación de la probeta en la prensa hidráulica*



*Ilustración 64: Resultado de prensa hidráulica*



*Ilustración 65: Falla de probeta*

*Ensayo de resistencia a la tracción indirecta*

Ensayo para determinar la tracción indirecta del concreto según la norma ASTM – 496, donde se registra el valor de la carga aplicada longitudinalmente a probeta de concreto.

*Procedimiento:*

- Se toman las medidas de la probeta de concreto.
- Proceder con el ensayo una vez la probeta haya sido extraída de la cámara de curado, conservando de esa forma su humedad.
- Se debe de respetar la edad de ensayo dada sin superar las tolerancias admisibles.
- A continuación, se ubica la probeta de forma horizontal en la prensa hidráulica.
- Se registran los datos cuando la probeta haya fallado.



*Ilustración 66: Ubicación de probeta en la prensa hidráulica para ensayo de tracción indirecta*



*Ilustración 67: Falla por tracción indirecta de probeta cilíndrica*

*Ensayo para determinar el módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson*

El ensayo que determina el módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson esta normado según la ASTM C469, y se siguieron los siguientes pasos:

*Procedimeinto:*

- Se elaboraron muestras cilíndricas de concreto de diámetro de 15 cm por 30 de altura las cuales se mantuvieron curando por 28 días.
- Se instalaron manómetros digitales, para medir las deformaciones longitudinales y diametrales.
- Se somete la muestra de concreto a la prensa hasta el punto de falla, registrando las lecturas de deformación y fuerza aplicada.



*Ilustración 69: Lectura de deformaciones longitudinales y diametrales*



*Ilustración 68: Deformaciones al momento de falla de la muestra de concreto*

### ***Evaluación económica por m<sup>3</sup> de concreto***

Proceso donde se realiza el metrado por m<sup>3</sup> de concreto autocompactante producido tanto de la muestra patrón como de las de reemplazo por microesferas de vidrio. De esta forma se determinó la factibilidad de este nuevo aditivo para la elaboración de CAC.

### **Consideraciones éticas**

Se respetó la propiedad intelectual, realizando las referencias cuando se utilizaban conceptos o expresiones de otros autores. Los cuadros extraídos de fuentes externas también fueron referenciados. La norma de referencia usada es la IEE

## Resultados y discusión

### Ensayo a agregados

#### Granulometría del Agregado Fino

Ensayo que se practicó según la norma N.T.P. 400.012, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 26: Resultados - Granulometría A.F

Malla		Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.
(mm.)	Pulg.	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa
12.700	1/2"	0	0.0	0.0	100.0
9.500	3/8"	0	0.0	0.0	100.0
4.750	N° 04	21.36	4.3	4.3	95.7
2.360	N° 08	76.97	15.4	19.7	80.3
1.180	N° 16	137.34	27.5	47.2	52.8
0.600	N° 30	136.27	27.3	74.5	25.5
0.300	N° 50	55.56	11.1	85.7	14.3
0.150	N° 100	48.58	9.7	95.4	4.6
	Fondo	22.98	4.6	100.0	0.0

- Elaboración propia -

Módulo de fineza = 3.268

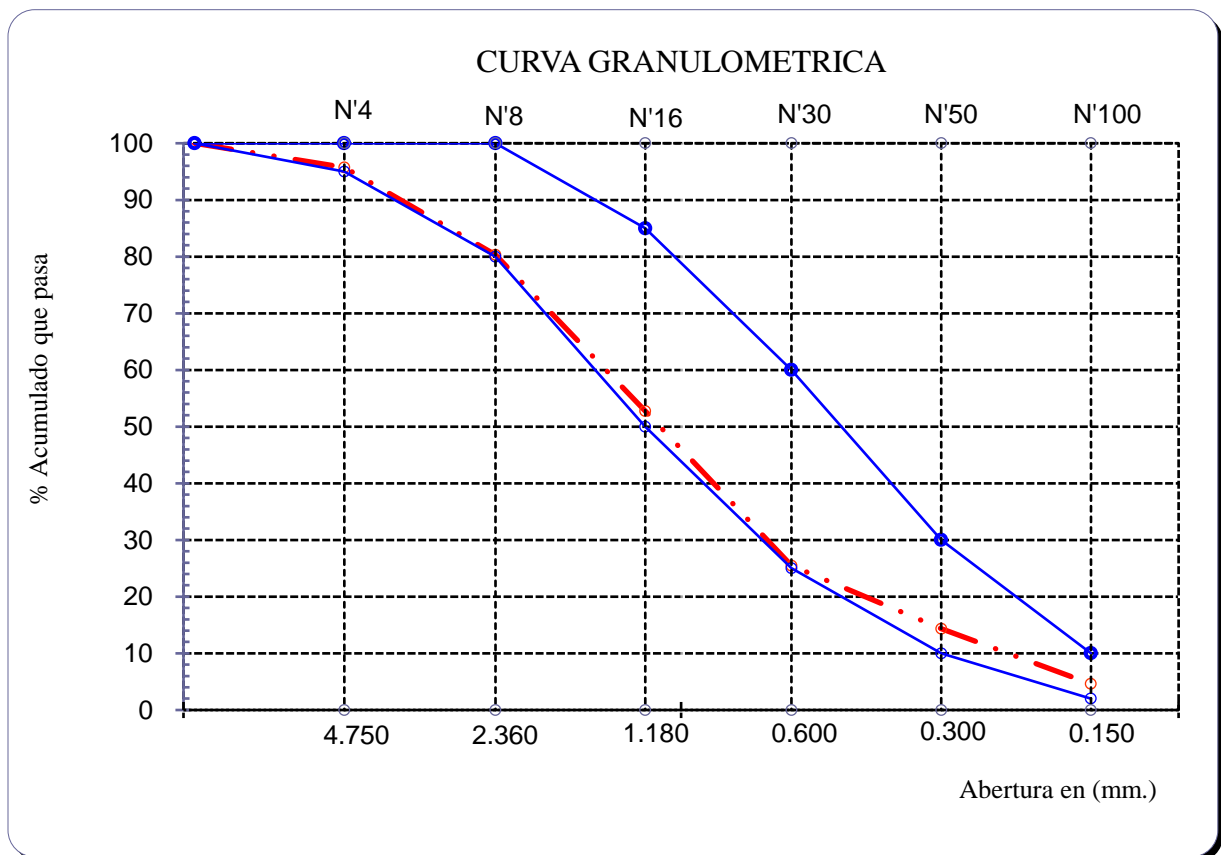


Ilustración 70: Curva granulométrica A-F

### Granulometría del agregado grueso

Ensayo que se practicó según la norma N.T.P. 400.012, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 27: Resultados - Granulometría A.G

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(% Acum. Ret.	(% Acum. Que Pasa
(mm.)	Pulg.				
38.00	1 1/2"	0	0.0	0.0	100.0
25.00	1"	0	0.0	0.0	100.0
19.00	3/4"	282.34	14.0	14.0	86.0
12.70	1/2"	1126.35	55.8	69.8	30.2
9.52	3/8"	355.05	17.6	87.4	12.6
4.75	Nº 04	250.9	12.4	99.9	0.1
2.36	Nº 08	1.01	0.1	99.9	0.1
1.19	Nº 16	0.54	0.0	100.0	0.0
	Fondo	0.81	0.0	100.0	0.0

- Elaboración propia -

Tamaño máximo nominal = 3/4"

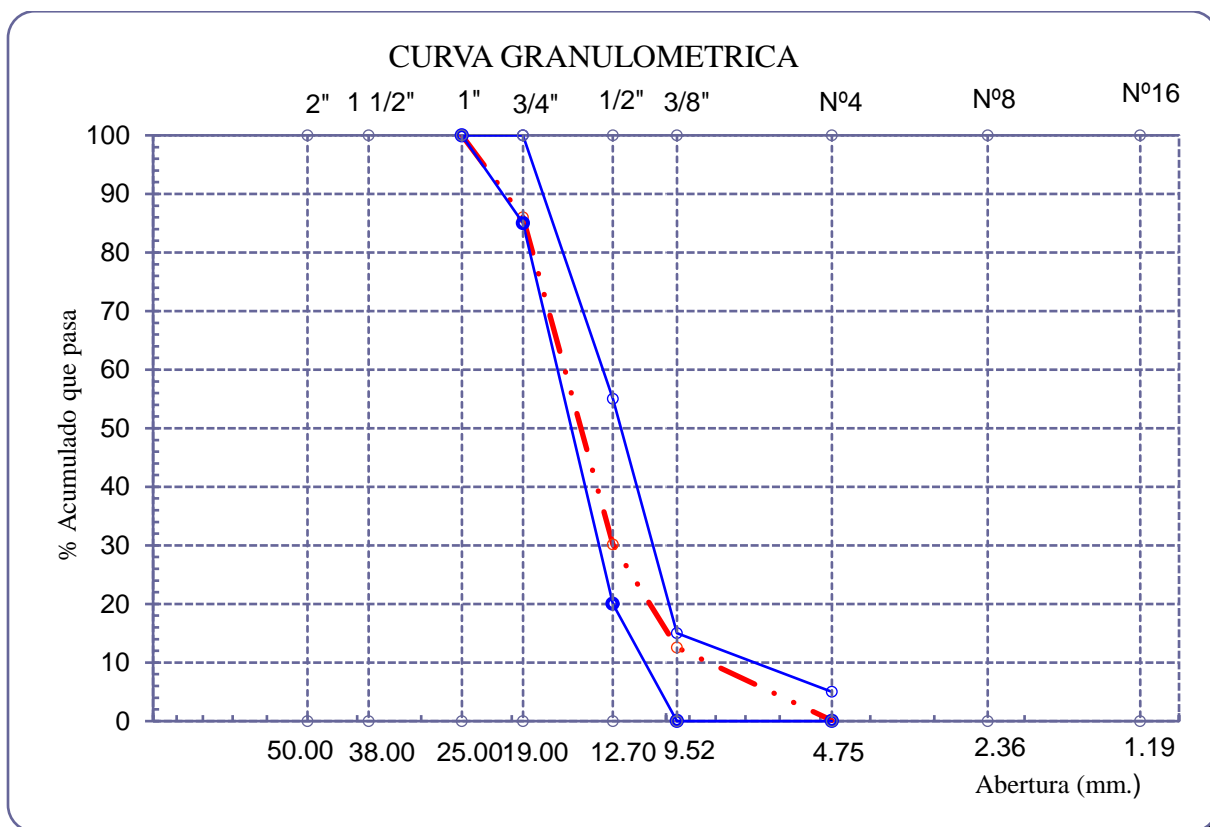


Ilustración 71: Curva granulométrica A-G

### ***Ensayo de porcentaje de humedad al agregado fino y grueso***

Se obtuvieron los siguientes resultados para el agregado fino:

*Tabla 28: Porcentaje del contenido de humedad - A.F*

- Peso de muestra húmeda	518.08 g
- Peso de muestra seca	499.06 g
- Peso de recipiente	0 g
- Contenido de humedad	3.81 %

*Elaboración propia -*

Se obtuvieron los siguientes resultados para el agregado grueso:

*Tabla 29: Porcentaje del contenido de humedad - A.G*

- Peso de muestra húmeda	1319.03 g
- Peso de muestra seca	1314.57 g
- Peso de recipiente	0 g
- Contenido de humedad	0.34 %

*Elaboración propia -*

### ***Ensayo de peso unitario suelto seco y compactado seco del agregado fino***

Peso unitario suelto seco

*Tabla 30: Resultado del peso unitario suelto seco de A.F*

- Peso de la muestra suelta + recipiente	8590 g	8570 g
- Peso del recipiente	0 g	0 g
- Peso del material	8590 g	8570 g
- Constante o Volumen	0.00548 m <sup>3</sup>	0.00548 m <sup>3</sup>
- Peso unitario suelto húmedo	1568 g	1564 g
- Peso unitario suelto seco (Promedio)	1508 g	

*- Elaboración propia -*

Peso unitario compactado seco

*Tabla 31: Resultado del peso unitario compactado seco de A.F*

- Peso de la muestra suelta + recipiente	9290 g	9270 g
- Peso del recipiente	0 g	0 g
- Peso del material	9290 g	9270 g
- Constante o Volumen	0.00548 m <sup>3</sup>	0.00548 m <sup>3</sup>
- Peso unitario compactado húmedo	1695 g	1692 g
- Peso unitario compactado seco (Promedio)	1631 g	

*- Elaboración propia -*



**Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso**

Peso unitario suelto seco

*Tabla 32: Resultado del peso unitario suelto seco de A.G*

- Peso de la muestra suelta + recipiente	7580 g	7590 g
- Peso del recipiente	0 g	0 g
- Peso del material	7580 g	7590 g
- Constante o Volumen	0.00548 m <sup>3</sup>	0.00548 m <sup>3</sup>
- Peso unitario suelto húmedo	1383 g	1385 g
- Peso unitario suelto seco (Promedio)	1379 g	

- Elaboración propia -

Peso unitario compactado seco

*Tabla 33: Resultado del peso unitario compactado seco de A.G*

- Peso de la muestra suelta + recipiente	8600 g	8620 g
- Peso del recipiente	0 g	0 g
- Peso del material	8600 g	8620 g
- Constante o Volumen	0.00548 m <sup>3</sup>	0.00548 m <sup>3</sup>
- Peso unitario suelto húmedo	1569 g	1573 g
- Peso unitario suelto seco (Promedio)	1566 g	

- Elaboración propia -

**Ensayo de peso específico y de absorción del agregado fino y grueso**

Agregado fino:

*Tabla 34: Peso específico y de absorción del A.F*

- Peso específico de masa	2.532 g/cm <sup>3</sup>
- Peso esp. de masa sat. sup. seco	2.552 g/cm <sup>3</sup>
- Peso específico aparente	2.584 g/cm <sup>3</sup>
- Porcentaje de absorción	0.80%

- Elaboración propia -

Agregado grueso:

*Tabla 35: Peso específico y de absorción del A.G*

- Peso específico de masa	2.710 g/cm <sup>3</sup>
- Peso esp. de masa sat. sup. seco	2.748 g/cm <sup>3</sup>
- Peso específico aparente	2.816 g/cm <sup>3</sup>
- Porcentaje de absorción	1.38%

- Elaboración propia -



**Cuadro resumen de los datos obtenidos de los ensayos**

*Tabla 36: Resumen de ensayos a agregados*

Descripción	Arena	Piedra
- Peso Unitario Suelto	1508 kg/m <sup>3</sup>	1379 kg/m <sup>3</sup>
- Peso unitario compactado	1631 kg/m <sup>3</sup>	1566 kg/m <sup>3</sup>
- Peso específico	2.532 gr/cm <sup>3</sup>	2.710 gr/cm <sup>3</sup>
- Módulo de fineza	3.268	-
- T.M.N	-	3/4"
- % Absorción	0.80%	1.38%
- % De Humedad	3.81%	0.34%

- Elaboración propia -

**Diseño de mezcla según la norma ACI 237 – R**

Las Tablas 36, Tabla 37, Tabla 38, Tabla 39 muestran las tandas por m<sup>3</sup> de CAC. El criterio para obtener la dosificación de las microesferas de vidrio fue por reemplazo del peso total del cemento diseñado, para este caso el 2%, 5% y 7% de 475 kg por metro cubico de concreto. Las microesferas por su granulometría pasarán a ser parte de la formación del mortero del CAC.

*Tabla 37: Dosificación por m<sup>3</sup> de concreto - Muestra patrón*

- Cemento Tipo I	475.00 kg
- Agregado Fino - Arena	990.46 kg
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	683.09 kg
- Agua Potable	192.07 l
- Aditivo 1-Z Fluizante SR - 1000	7.13 l

- Elaboración propia -

*Tabla 38: Dosificación por m<sup>3</sup> de concreto - Muestra al 2% de microesferas de vidrio*

- Cemento Tipo I	463.56 kg
- Agregado Fino - Arena	954.10 kg
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	680.78 kg
- Agua Potable	213.75 l
- Aditivo 1-Z Fluizante SR - 1000	7.13 l
- Microesferas de vidrio	9.50 kg

- Elaboración propia -

*Tabla 39: Dosificación por m<sup>3</sup> de concreto - Muestra al 5% de microesferas de vidrio*

- Cemento Tipo I	446.41 kg
- Agregado Fino - Arena	954.10 kg
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	680.78 kg
- Agua Potable	213.75 l
- Aditivo 1-Z Fluizante SR - 1000	7.13 l
- Microesferas de vidrio	23.75 kg

- Elaboración propia -

Tabla 40: Dosificación por m<sup>3</sup> de concreto - Muestra al 7% de microesferas de vidrio

- Cemento Tipo I	434.97 kg
- Agregado Fino - Arena	954.10 kg
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	680.78 kg
- Agua Potable	213.75 l
- Aditivo 1-Z Fluizante SR - 1000	7.13 l
- Microesferas de vidrio	33.25 kg

- Elaboración propia -

Cabe destacar que las relaciones agua/cemento se modificaron con el reemplazo de HGM por cemento, mostradas en la Tabla 40:

Tabla 41: Relación agua cemento de las muestras en estudio

Relación a/c	Patrón	2% de HGM	5% de HGM	7% de HGM
Diseñado	0.45	0.46	0.48	0.49
Laboratorio	0.40	0.41	0.43	0.44

- Elaboración Propia -

### Ensayo al CAC en estado fresco

#### Ensayo de asentamiento

El ensayo de asentamiento se ejecutó siguiendo la norma ASTM C143 tanto para la muestra patrón, como para las diferentes combinaciones de HGM, es importante resaltar que el Slump 1 representa el mayor diámetro tomado en laboratorio, mientras que el Slump 2 representa el diámetro perpendicular al primero. Con respecto al tiempo T50, es considerado el tiempo que demoró la mezcla en llegar a un diámetro de escurrimiento de 500 mm. Las Tabla 41 y Tabla 42 muestran los valores registrados:

Tabla 42: Slump obtenido en laboratorio

Muestra	Slump 1	Slump 2	Slump Promedio
Patrón	64 cm	63 cm	63.5 cm
2% de microesferas de vidrio	66 cm	65 cm	65.5 cm
5% de microesferas de vidrio	68 cm	67 cm	67.5 cm
7% de microesferas de vidrio	70 cm	69 cm	69.5 cm

- Elaboración propia -

Tabla 43: Tiempo T50 obtenido en laboratorio

Muestra	T50
Patrón	9.10 s
2% de microesferas de vidrio	8.50 s
5% de microesferas de vidrio	8.30 s
7% de microesferas de vidrio	7.90 s

- Elaboración propia -

Los resultados muestran la dimensión del escurrimiento que tiene el CAC al elevar el cono de Abrams, mientras mayores sean los diámetros del Slump se dice que tiene una mayor fluidez. Se observa que el reemplazo parcial del 7% de HGM por el cemento, tiene la mayor incidencia de fluidez de asentamiento; seguido por las dosificaciones del 5% de HGM y 2% de HGM.

### Ensayo de la caja de paso L

Los resultados principales son las alturas H1 y H2, cuya relación deberá estar comprendida entre 0.75 y 1 como recomendaciones de diversos autores (Tabla 5). El ensayo comprende tanto para la muestra patrón como las diferentes combinaciones con HGM. Donde el concreto debe de fluir libremente por la caja de paso L, de esta manera determinamos que existe una mayor fluidez cuando la relación entre H2 y H1 se aproxima a 1.

Tabla 44: Resultado de fluidez Caja L - M. Patrón

Muestra de CAC	Altura X1 (Caja vertical)	Altura X2 (Caja Horizontal)	Altura de caja vertical	Altura de caja horizontal	H1 (mm)	H2 (mm)	Relación H2/H1	Promedio
M. Patrón	510 mm	85 mm	600 mm	155 mm	90 mm	70 mm	0.78	0.79
	508 mm	81 mm	600 mm	155 mm	92 mm	74 mm	0.80	
	504 mm	79 mm	600 mm	155 mm	96 mm	76 mm	0.79	

- Elaboración propia -

Tabla 45: Resultado de fluidez Caja L - 2% Microesferas de vidrio

Muestra de CAC	Altura X1 (Caja vertical)	Altura X2 (Caja Horizontal)	Altura de caja vertical	Altura de caja horizontal	H1 (mm)	H2 (mm)	Relación H2/H1	Promedio
2% Microesferas de vidrio	508 mm	69 mm	600 mm	155 mm	92 mm	86 mm	0.93	0.85
	505 mm	73 mm	600 mm	155 mm	95 mm	82 mm	0.86	
	493 mm	74 mm	600 mm	155 mm	107 mm	81 mm	0.76	

- Elaboración propia -

*Tabla 46: Resultado de fluidez Caja L - 5% Microesferas de vidrio*

Muestra de CAC	Altura X1 (Caja vertical)	Altura X2 (Caja Horizontal)	Altura de caja vertical	Altura de caja horizontal	H1 (mm)	H2 (mm)	Relación H2/H1	Promedio
5% Microesfera de vidrio	508 mm	80 mm	600 mm	155 mm	92 mm	75 mm	0.82	0.83
	498 mm	70 mm	600 mm	155 mm	102 mm	85 mm	0.83	
	504 mm	75 mm	600 mm	155 mm	96 mm	80 mm	0.83	

- Elaboración propia -

*Tabla 47: Resultado de fluidez Caja L - 7% Microesferas de vidrio*

Muestra de CAC	Altura X1 (Caja vertical)	Altura X2 (Caja Horizontal)	Altura de caja vertical	Altura de caja horizontal	H1 (mm)	H2 (mm)	Relación H2/H1	Promedio
7% Microesfera de vidrio	510 mm	69 mm	600 mm	155 mm	90 mm	86 mm	0.96	0.88
	500 mm	67 mm	600 mm	155 mm	100 mm	88 mm	0.88	
	498 mm	74 mm	600 mm	155 mm	102 mm	81 mm	0.79	

- Elaboración propia -

Se observa que todas las muestras ensayadas están comprendidas dentro de los parámetros recomendados por la *European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems*. De esta forma se comprueba uno de los requisitos para ser considerado autocompactable. A partir de esto quien tiene mayor incidencia de uniformidad es la dosificación con 7% de HMG.

### **Ensayo del embudo V**

A continuación, se presenta los resultados en la Tabla 47 del ensayo del embudo V. Los cuales fueron practicados en la muestra patrón, así como las dosificaciones de 2%, 5% y 7% de HGM como reemplazo parcial del cemento.

*Tabla 48: Resultado de ensayo del embudo V - Muestras de CAC*

Muestra de CAC	Tiempo (s)
M. Patrón	11.35 s
2% Microesferas de vidrio	10.51 s
5% Microesferas de vidrio	10.02 s
7% Microesferas de vidrio	9.87 s

- Elaboración propia -

Este ensayo mide la facilidad que tiene el concreto de fluir por pequeñas aberturas, de esta forma un tiempo de flujo más corto indica mayor fluides por el embudo. El tiempo aceptable según recomendaciones es de 10s hasta un máximo permisible de 15s según se muestra en la Tabla 5.

### ***Ensayo del anillo Japonés “J”***

Los resultados en la ejecución de estos ensayos se muestran en la Tabla 48.

*Tabla 49: Resultados de diámetros - Anillo J*

<b>Muestra</b>	<b>Diámetro 1</b>	<b>Diámetro 2</b>	<b>Diámetro Promedio</b>
Patrón	64 cm	65 cm	64.5 cm
2% de microesferas de vidrio	67 cm	69 cm	68.0 cm
5% de microesferas de vidrio	69 cm	72 cm	70.5 cm
7% de microesferas de vidrio	70 cm	72 cm	71.0 cm

*- Elaboración propia -*

Para los diámetros registrados, al igual que el ensayo de asentamiento, se registra el mayor diámetro y el diámetro perpendicular a este último. A partir de esto se toma el promedio del ensayo realizado. Cuanto mayor diámetro sea registrado, se considera que la muestra de concreto es más fluida. La muestra que más destaca es la dosificación del 7% de HGM.

*Tabla 50: Resultados de relación de alturas externas e internas - Anillo J*

<b>Muestra</b>	<b>H1 interna</b>	<b>H2 externa</b>	<b>Relación H2/H1</b>
Patrón	10.10 cm	9.50 cm	0.94
2% de microesferas de vidrio	10.20 cm	9.80 cm	0.96
5% de microesferas de vidrio	10.40 cm	10.80 cm	1.04
7% de microesferas de vidrio	10.10 cm	9.80 cm	0.97

*- Elaboración propia -*

Se considera que el escurrimiento fue más uniforme a través de obstáculos cuando las alturas externas e internas son similares. Lo que significa que su relación debe de aproximarse a 1. Es una forma muy empírica de ver la uniformidad de la mezcla, sin embargo, la facilidad del ensayo permite comprobar de forma aproximada las características del CAC.

### ***Peso unitario del concreto***

El ensayo del peso unitario se realizó según lo parámetros establecidos por en el marco teórico. Este ensayo se realizó para muestras con un 2%, 5% y 7% de HGM como reemplazo parcial del cemento.

*Tabla 51: Resultados del ensayo de peso unitario en estado fresco para las muestras de CAC*

Muestra	Peso del molde (g)	Molde + Muestra (g)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )
M. Patrón	350	13320	30.2	15.3	0.0056	2398.97
2% Microesferas de vidrio	350	13180	30.2	15.3	0.0056	2373.75
5% Microesferas de vidrio	350	12915	30.2	15.3	0.0056	2326.03
7% Microesferas de vidrio	350	12802	30.2	15.3	0.0056	2305.68

- Elaboración propia -

### ***Ensayo de temperatura del concreto en estado fresco***

A continuación, se presenta en la Tabla 51 los resultados del ensayo de temperatura según los parámetros de la norma ACI 207. Se considero un tiempo de 2 minutos para la toma de la temperatura y la siguiente tabla muestra los resultados obtenidos con una precisión de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ :

*Tabla 52: Resultados ensayo de temperatura*

Muestra	Temperatura promedio $^{\circ}\text{C}$
Muestra Patrón	27.5 $^{\circ}\text{C}$
Muestra con 2% de microesferas de vidrio	27.5 $^{\circ}\text{C}$
Muestra con 5% de microesferas de vidrio	27.3 $^{\circ}\text{C}$
Muestra con 7% de microesferas de vidrio	28.0 $^{\circ}\text{C}$

- Elaboración Propia -

### **Ensayo al CAC en estado endurecido**

#### ***Ensayo de resistencia a la compresión***

El ensayo de resistencia a la compresión se realiza con el propósito verificar el cumplimiento de la resistencia solicitada que es de  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ . A partir de ello se compararía la muestra patrón las diferentes combinaciones de HGM como reemplazo del cemento. En la Tabla, 52, Tabla 53, Tabla 54, Tabla 55 se registran los resultados obtenidos al efectuar este ensayo.

Tabla 53: Resistencia a la compresión de Muestra Patrón

Descripción f'c = 350 kg/cm <sup>2</sup>	Fechas		Edad (Días)	Diámetro (Ø)	Área (cm <sup>2</sup> )	Cargas		Porcentaje (%)	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (%)
	Vaciado	Ruptura				kg	kg/cm <sup>2</sup>			
Diseño de muestra patrón	25/05/2023	22/06/2023	3	15.3	183.85	36860	200.49	57%	197.55	56%
	25/05/2023	22/06/2023	3	15.3	183.85	35780	194.61	56%		
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	58350	317.37	91%	313.26	90%
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	57120	310.68	89%		
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	57310	311.71	89%		
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	66950	364.15	104%	377.66	108%
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	72600	394.88	113%		
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	68750	373.94	107%		
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	79470	432.25	123%	417.54	119%
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	75720	411.85	118%		
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	75110	408.53	117%		

- Elaboración propia -

Los resultados de la Tabla 52 muestran los valores de resistencia a la compresión para la muestra patrón. Se determina que la muestra patrón alcanza un f'c real de 417.54 kg/cm<sup>2</sup> (a la edad de 28 días), lo que representa un 119% de resistencia con respecto al valor de resistencia diseñada.

Tabla 54: Resistencia a la compresión muestra al 2% de microesferas de vidrio como reemplazo del cemento

Descripción f'c = 350 kg/cm <sup>2</sup>	Fechas		Edad (días)	Diámetro (Ø)	Área (cm <sup>2</sup> )	Cargas		Porcentaje (%)	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (%)
	Vaciado	Ruptura				kg	kg/cm <sup>2</sup>			
Diseño con un 2% de microesferas de vidrio	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	52540	285.77	82%	291.30	83%
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	54180	294.69	84%		
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	53950	293.44	84%		
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	61970	337.06	96%	350.17	100%
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	64850	352.73	101%		
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	66320	360.72	103%		
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	75910	412.88	118%	399.52	114%
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	71890	391.02	112%		
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	72560	394.66	113%		

- Elaboración propia -

La Tabla 53 muestra la resistencia a la compresión obtenida con un 2% de HGM como reemplazo del cemento, el  $f_c$  real para esta combinación fue de 399.52 kg/cm<sup>2</sup>, la cual fue un 114% de la resistencia diseñada, sin embargo, fue un 4.3% menor con respecto a la resistencia de la muestra patrón.

*Tabla 55: Resistencia a la compresión muestra al 5% de microesferas de vidrio como reemplazo del cemento*

Descripción $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$	Fechas		Edad (días)	diámetro ( $\emptyset$ )	Área (cm <sup>2</sup> )	Cargas		Porcentaje (%)	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (%)
	Vaciado	Ruptura				Kg	kg/cm <sup>2</sup>			
Diseño con un 5% de microesferas de vidrio	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	54570	296.81	85%	306.08	87%
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	57710	313.89	90%		
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	56540	307.53	88%		
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	62290	338.80	97%	354.58	101%
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	65570	356.64	102%		
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	67710	368.28	105%		
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	77700	422.62	121%	410.14	117%
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	75560	410.98	117%		
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	72960	396.84	113%		

- Elaboración propia -

Los resultados mostrados en la Tabla 54, indican la resistencia a la compresión de la muestra con 5% de HGM como reemplazo del cemento: determinando un  $f_c$  real de 410.14 kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 117% de la resistencia diseñada, pero también fue un 1.7% menor con respecto a la muestra patrón.

*Tabla 56: Resistencia a la compresión muestra al 7% de microesferas de vidrio como reemplazo del cemento*

Descripción $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$	Fechas		Edad (Días)	Diametro ( $\emptyset$ )	Área (cm <sup>2</sup> )	Cargas		Porcentaje (%)	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (%)
	Vaciado	Ruptura				Kg	kg/cm <sup>2</sup>			
Diseño con un 7% de microesferas de vidrio	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	47800	259.99	74%	244.38	70%
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	45190	245.79	70%		
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	41800	227.35	65%		
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	59290	322.48	92%	318.70	91%
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	58910	320.42	92%		
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	57580	313.18	89%		
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	68230	371.11	106%	362.52	104%
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	65300	355.17	101%		
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	66420	361.27	103%		

- Elaboración propia -



La Tabla 55 muestra la resistencia a compresión para un 7% de HGM como reemplazo del cemento. Se obtuvo un  $f'_c$  real de 362.52 kg/cm<sup>2</sup> lo que representa un 104% de la resistencia diseñada; sin embargo, también mostró una disminución del 13.2% de resistencia al compararla con la muestra patrón.

### ***Ensayo de resistencia a la tracción indirecta***

El siguiente cuadro presente los resultados del ensayo de resistencia a tracción indirecta del concreto autocompactante de muestra patrón y muestras con microesferas de vidrio al 2%, 5% y 7% de reemplazo del cemento. Este ensayo se realizó a los 28 días de curado.

*Tabla 57: Resultados de ensayo de tracción indirecta*

Descripción	Edad (días)	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Resistencia a la tracción		Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
					Kgf	Kg/cm <sup>2</sup>	
Diseño de muestra patrón	28	350	30.2	15.3	24650	33.96	30.56
	28	350	30.2	15.3	21950	30.24	
	28	350	30.2	15.3	19950	27.49	
Diseño con un 2% de microesferas de vidrio	28	350	30.2	15.3	15520	21.38	21.38
	28	350	30.2	15.3	15570	21.45	
	28	350	30.2	15.3	15470	21.31	
Diseño con un 5% de microesferas de vidrio	28	350	30.2	15.3	16430	22.64	22.24
	28	350	30.2	15.3	15900	21.91	
	28	350	30.2	15.3	16100	22.18	
Diseño con un 7% de microesferas de vidrio	28	350	30.2	15.3	14910	20.54	19.85
	28	350	30.2	15.3	15010	20.68	
	28	350	30.2	15.3	13310	18.34	

- *Elaboración propia* -

Según lo descrito por este ensayo, el valor del ensayo a tracción indirecta debe de estar comprendido entre  $1.59\sqrt{f'_c}$  y  $2.2\sqrt{f'_c}$  que son respectivamente 29.7 kg/cm<sup>2</sup> y 41.2 kg/cm<sup>2</sup>, a partir de esto se observa que la muestra patrón cumple con lo establecido con un valor promedio de 30.6 kg/cm<sup>2</sup>.

### ***Ensayo de módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson***

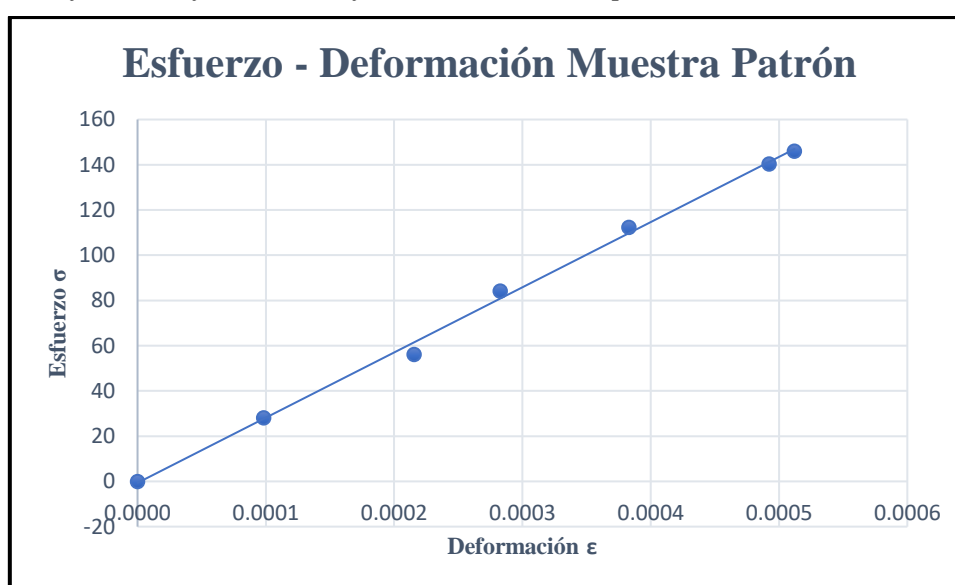
Siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C469 se obtuvieron los siguientes resultados para el módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson:

Tabla 58: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra Patrón

CARGA	Lectura	Deformación	Esfuerzo
KN	cm		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00000	0.000000	0.00
49.31	0.00296	0.000098	28.09
98.63	0.00649	0.000216	56.18
147.94	0.00851	0.000283	84.27
197.26	0.01153	0.000383	112.35
246.57	0.01482	0.000492	140.44
256.44	0.01541	0.000512	146.06

- Elaboración Propia -

Gráfico 1: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra Patrón



- Elaboración Propia -

Tabla 59: Módulo de elasticidad - Muestra Patrón

IDENTIFICACIÓN	Esfuerzo S2	Esfuerzo S1	$\epsilon$ unitaria	$E_c$
	(40% $\sigma_u$ ) Kg/cm <sup>2</sup>	(0.000050) Kg/cm <sup>2</sup>	$\epsilon_2$ (S2)	Kg/cm <sup>2</sup>
PC - $f'_c = 350$ kg/cm <sup>2</sup>	146.00	18.13	0.000499	285218

- Elaboración Propia -

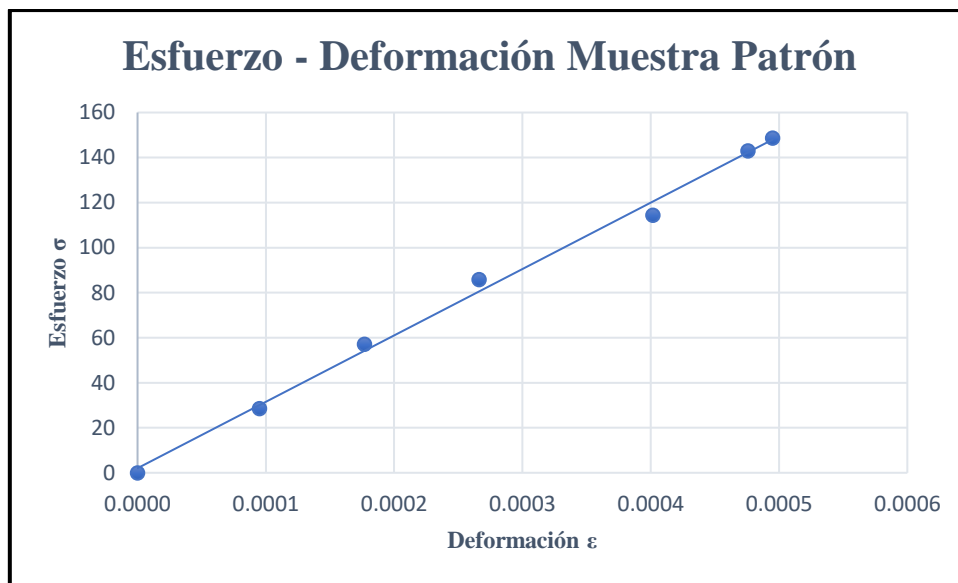
Se determino un módulo de elasticidad de 285218 kg/cm<sup>2</sup> para la muestra patrón.

Tabla 60: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra Patrón

CARGA	Lectura	Deformación	Esfuerzo
KN	cm		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.0000	0.000000	0.00
50.21	0.0029	0.000095	28.60
100.42	0.0053	0.000177	57.20
150.63	0.0080	0.000266	85.80
200.84	0.0121	0.000402	114.39
251.05	0.0143	0.000476	142.99
261.09	0.0149	0.000495	148.71

- Elaboración Propia -

Gráfico 2: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra Patrón



- Elaboración Propia -

Tabla 61: Módulo de elasticidad - Muestra Patrón

IDENTIFICACIÓN	Esfuerzo S2	Esfuerzo S1	$\epsilon$ unitaria	$E_c$
	(40% $\sigma_u$ ) Kg/cm <sup>2</sup>	(0.000050) Kg/cm <sup>2</sup>	$\epsilon_2$ (S2)	Kg/cm <sup>2</sup>
PC - $f'_c = 350$ kg/cm <sup>2</sup>	147.00	20.11	0.000472	300443

- Elaboración Propia -

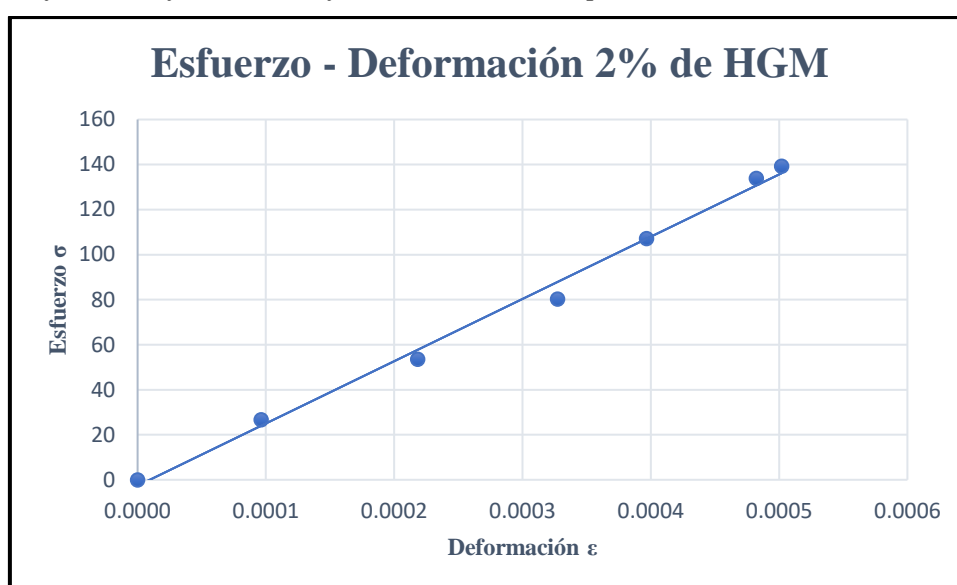
Se determino un módulo de elasticidad de 300443 kg/cm<sup>2</sup> para la muestra patrón.

Tabla 62: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra con 2% HGM

CARGA	Lectura	Deformación	Esfuerzo
KN	cm		kg/cm2
0.00	0.0000	0.000000	0.00
47.02	0.0029	0.000096	26.78
94.04	0.0066	0.000218	53.56
141.06	0.0099	0.000327	80.35
188.08	0.0119	0.000397	107.13
235.10	0.0145	0.000482	133.91
244.51	0.0151	0.000502	139.27

- Elaboración Propia -

Gráfico 3: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra con 2% HGM



- Elaboración Propia -

Tabla 63: Módulo de elasticidad - Muestra 2% HGM

IDENTIFICACIÓN	Esfuerzo S2	Esfuerzo S1	$\epsilon$ unitaria	$E_c$
	(40% $\sigma_u$ ) Kg/cm2	(0.000050) Kg/cm2	$\epsilon_2$ (S2)	Kg/cm2
PC - $f'_c = 350$ kg/cm2 + 2% HGM	141.00	17.58	0.000495	277580

- Elaboración Propia -

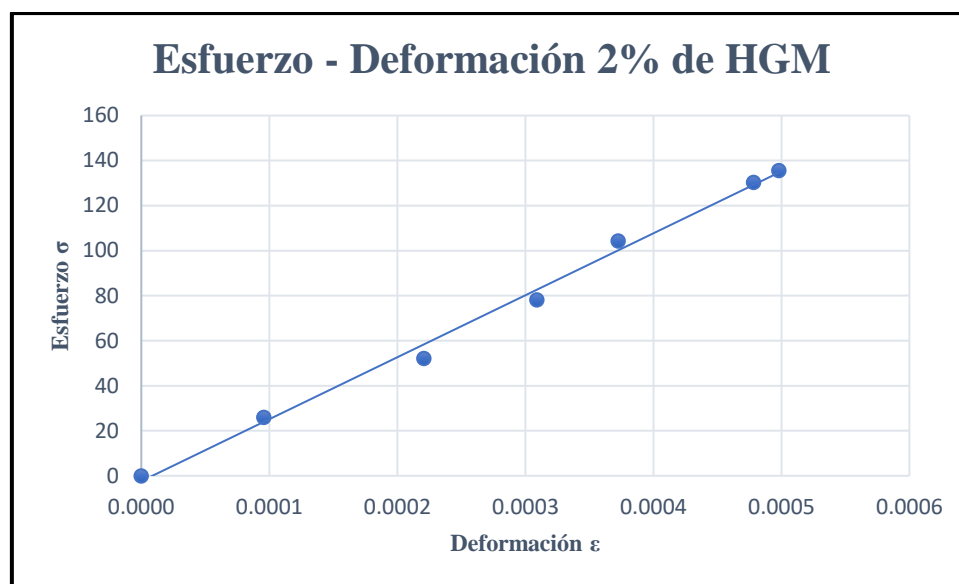
Se determino un módulo de elasticidad de 277580 kg/cm2 para la muestra con 2% HGM.

Tabla 64: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra con 2% HGM

CARGA	Lectura	Deformación	Esfuerzo
KN	cm		kg/cm2
0.00	0.0000	0.000000	0.00
45.78	0.0029	0.000096	26.07
91.55	0.0066	0.000221	52.15
137.33	0.0093	0.000309	78.22
183.11	0.0112	0.000373	104.29
228.88	0.0144	0.000478	130.37
238.04	0.0150	0.000498	135.62

- Elaboración Propia -

Gráfico 4: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra con 2% HGM



- Elaboración Propia -

Tabla 65: Módulo de elasticidad - Muestra 2% HGM

IDENTIFICACIÓN	Esfuerzo S2	Esfuerzo S1	$\epsilon$ unitaria	$E_c$
	(40% $\sigma_u$ ) Kg/cm2	(0.000050) Kg/cm2	$\epsilon_2$ (S2)	Kg/cm2
PC - $f'_c = 350$ kg/cm2 + 2% HGM	136.00	17.00	0.000485	272476

- Elaboración Propia -

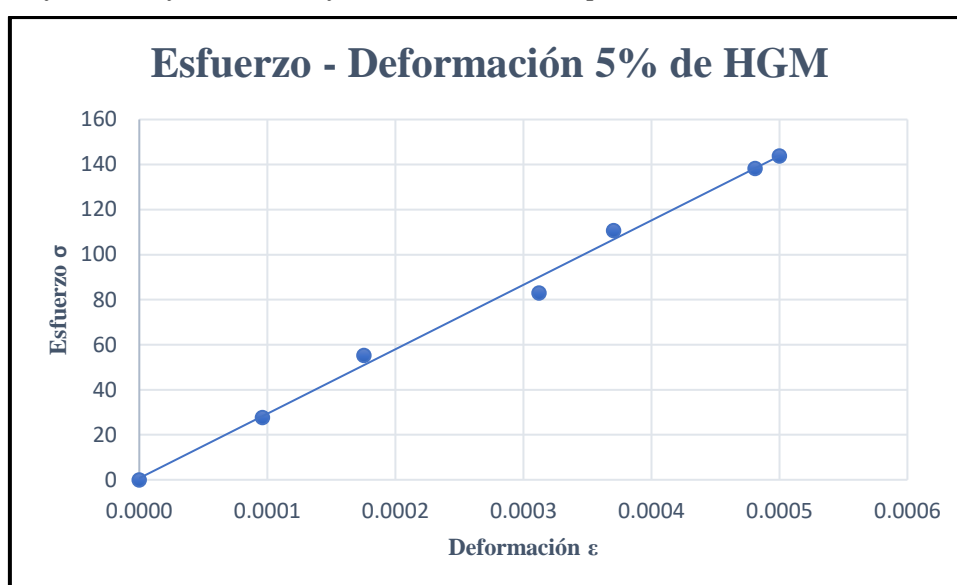
Se determino un módulo de elasticidad de 272476 kg/cm2 para la muestra con 2% HGM.

Tabla 66: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra con 5% HGM

CARGA	Lectura	Deformación	Esfuerzo
KN	cm		kg/cm2
0.00	0.0000	0.000000	0.00
48.58	0.0029	0.000096	27.67
97.16	0.0053	0.000176	55.34
145.75	0.0094	0.000312	83.01
194.33	0.0112	0.000371	110.69
242.91	0.0145	0.000481	138.36
252.63	0.0151	0.000500	143.89

- Elaboración Propia -

Gráfico 5: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra con 5% HGM



- Elaboración Propia -

Tabla 67: Módulo de elasticidad - Muestra 5% HGM

IDENTIFICACIÓN	Esfuerzo S2	Esfuerzo S1	ε unitaria	Ec
	(40%σu) Kg/cm2	(0.000050) Kg/cm2	ε2 (S2)	Kg/cm2
PC - f'c= 350 kg/cm2 + 5% HGM	144.00	18.22	0.000487	287570

- Elaboración Propia -

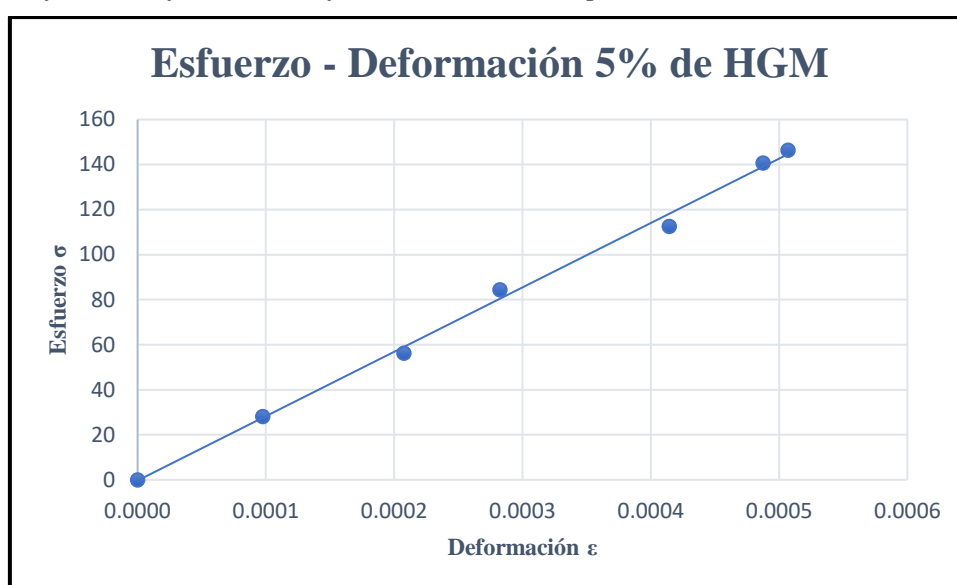
Se determino un módulo de elasticidad de 287570 kg/cm2 para la muestra con 5% HGM.

Tabla 68: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra con 5% HGM

CARGA	Lectura	Deformación	Esfuerzo
KN	cm		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.0000	0.000000	0.00
49.43	0.0029	0.000098	28.15
98.85	0.0063	0.000208	56.30
148.28	0.0085	0.000282	84.46
197.70	0.0125	0.000415	112.61
247.13	0.0147	0.000488	140.76
257.02	0.0153	0.000507	146.39

- Elaboración Propia -

Gráfico 6: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra con 5% HGM



- Elaboración Propia -

Tabla 69: Módulo de elasticidad - Muestra 5% HGM

IDENTIFICACIÓN	Esfuerzo S2	Esfuerzo S1	ε unitaria	Ec
	(40%σ <sub>u</sub> ) Kg/cm <sup>2</sup>	(0.000050) Kg/cm <sup>2</sup>	ε <sub>2</sub> (S2)	Kg/cm <sup>2</sup>
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup> + 5% HGM	146.00	18.35	0.000494	288646

- Elaboración Propia -

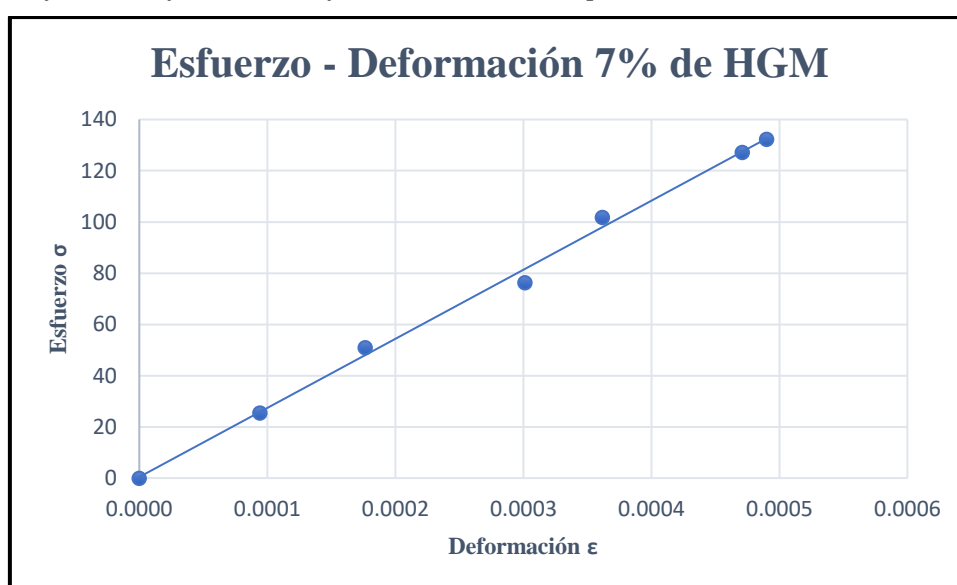
Se determino un módulo de elasticidad de 288646 kg/cm<sup>2</sup> para la muestra con 5% HGM.

Tabla 70: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra con 7% HGM

CARGA	Lectura	Deformación	Esfuerzo
KN	cm		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.0000	0.000000	0.00
44.68	0.0028	0.000094	25.45
89.36	0.0053	0.000177	50.90
134.04	0.0091	0.000301	76.35
178.72	0.0109	0.000362	101.79
223.40	0.0142	0.000471	127.24
232.33	0.0148	0.000490	132.33

- Elaboración Propia -

Gráfico 7: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra con 7% HGM



- Elaboración Propia -

Tabla 71: Módulo de elasticidad - Muestra 7% HGM

IDENTIFICACIÓN	Esfuerzo S2	Esfuerzo S1	$\epsilon$ unitaria	$E_c$
	(40% $\sigma_u$ ) Kg/cm <sup>2</sup>	(0.000050) Kg/cm <sup>2</sup>	$\epsilon_2$ (S2)	Kg/cm <sup>2</sup>
PC - $f'_c = 350$ kg/cm <sup>2</sup> + 7% HGM	132.00	18.07	0.000473	270036

- Elaboración Propia -

Se determino un módulo de elasticidad de 270036 kg/cm<sup>2</sup> para la muestra con 7% HGM.

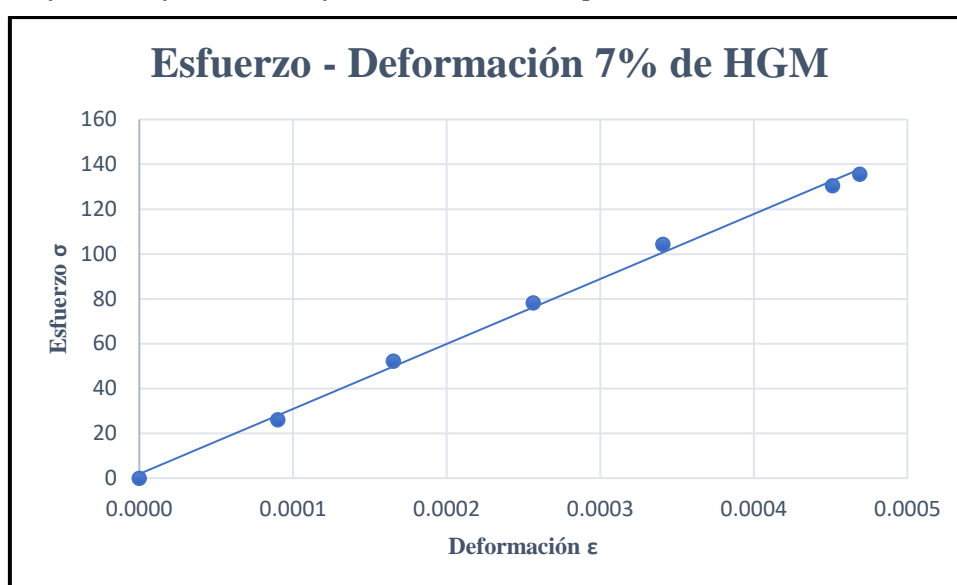


Tabla 72: Esfuerzo - Deformación unitaria para la Muestra con 7% HGM

CARGA	Lectura	Deformación	Esfuerzo
KN	cm		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.0000	0.000000	0.00
45.81	0.0027	0.000090	26.09
91.62	0.0050	0.000165	52.19
137.43	0.0077	0.000256	78.28
183.25	0.0103	0.000341	104.37
229.06	0.0136	0.000451	130.47
238.22	0.0141	0.000469	135.69

- Elaboración Propia -

Gráfico 8: Esfuerzo vs Deformación Unitaria para la Muestra con 7% HGM



- Elaboración Propia -

Tabla 73: Módulo de elasticidad - Muestra 7% HGM

IDENTIFICACIÓN	Esfuerzo S2	Esfuerzo S1	ε unitaria	Ec
	(40%σ <sub>u</sub> ) Kg/cm <sup>2</sup>	(0.000050) Kg/cm <sup>2</sup>	ε <sub>2</sub> (S2)	Kg/cm <sup>2</sup>
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup> + 7% HGM	136.00	18.65	0.000455	289032

- Elaboración Propia -

Se determino un módulo de elasticidad de 289032 kg/cm<sup>2</sup> para la muestra con 7% HGM.

Con respecto al coeficiente de Poisson se tuvieron los siguientes resultados.

*Tabla 74: Coeficiente de Poisson - Muestra Patrón*

IDENTIFICACIÓN	Esfuerzo S2	ε unitaria	ε unitaria	ε unitaria	ν
	(40%σ <sub>u</sub> ) Kg/cm <sup>2</sup>	Longitudinal (S2)	Tranversal (0.40 Δ Max)	Tranversal (Δ 0.000050)	
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup>	146.06	0.00049487	0.000157627	0.000018	0.3136
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup>	148.713	0.00047133	0.000144335	0.00002	0.2953

- Elaboración Propia –

*Tabla 75: Coeficiente de Poisson - 2% de HGM*

IDENTIFICACIÓN	Esfuerzo S2	ε unitaria	ε unitaria	ε unitaria	ν
	(40%σ <sub>u</sub> ) Kg/cm <sup>2</sup>	Longitudinal (S2)	Tranversal (0.40 Δ Max)	Tranversal (Δ 0.000050)	
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup> + 2%HGM	139.27	0.00049662	0.00016115	0.000018	0.3202
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup> + 2%HGM	135.58	0.00048819	0.000144331	0.000018	0.288

- Elaboración Propia –

*Tabla 76: Coeficiente de Poisson - 5% de HGM*

IDENTIFICACIÓN	Esfuerzo S2	ε unitaria	ε unitaria	ε unitaria	ν
	(40%σ <sub>u</sub> ) Kg/cm <sup>2</sup>	Longitudinal (S2)	Tranversal (0.40 Δ Max)	Tranversal (Δ 0.000050)	
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup> + 5%HGM	143.89	0.00049662	0.000157619	0.000018	0.3123
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup> + 5%HGM	146.39	0.00049485	0.000123978	0.000009	0.2583

- Elaboración Propia –

*Tabla 77: Coeficiente de Poisson - 7% de HGM*

IDENTIFICACIÓN	Esfuerzo S2	ε unitaria	ε unitaria	ε unitaria	ν
	(40%σ <sub>u</sub> ) Kg/cm <sup>2</sup>	Longitudinal (S2)	Tranversal (0.40 Δ Max)	Tranversal (Δ 0.000050)	
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup> + 7%HGM	132.33	0.00049664	0.00011422	0.000009	0.2354
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup> + 7%HGM	135.69	0.00049485	9.39E-05	0.000009	0.1906

- Elaboración Propia –

## Discusiones

### *Propiedades de las Microesferas de vidrio*

Las propiedades de las microesferas de vidrio fueron obtenidas gracias a la ficha técnica proveída por el fabricante, lo que permitió incluirlo en el diseño de mezcla con cada % de dosificación en estudio.

### *Propiedades del agregado grueso y fino*

Los ensayos correspondientes al agregado fino, proveniente de la “Cantera La Victoria”; y al agregado grueso, proveniente de la cantera “Tres Tomas”, se presentan de forma concisa en las siguiente Tabla 77, Tabla 78. Según un estudio practicado a los agregados provenientes de las mismas canteras, se puede observar que los datos obtenidos en laboratorio son similares con excepción del porcentaje de humedad, a consecuencia de que el principal factor que interviene en este resultado es el ambiente al que están sometidos los agregados.

*Tabla 78: Comparación de resultados de ensayo a al agregado grueso*

Agregado Grueso (Cantera de tres tomas)		
Descripción	Datos de esta investigación	Datos de investigación de [33]
- Peso Unitario Suelto	1379 kg/m <sup>3</sup>	1405 kg/m <sup>3</sup>
- Peso unitario compactado	1566 kg/m <sup>3</sup>	1451 kg/m <sup>3</sup>
- Peso específico	2.710 gr/cm <sup>3</sup>	2.681 gr/cm <sup>3</sup>
- Módulo de fineza	-	-
- T.M.N	3/4"	3/4"
- % Absorción	1.38%	1.60%
- % De Humedad	0.34%	1.69%

*- Elaboración Propia -*

*Tabla 79: Comparación de resultados de ensayo a al agregado fino*

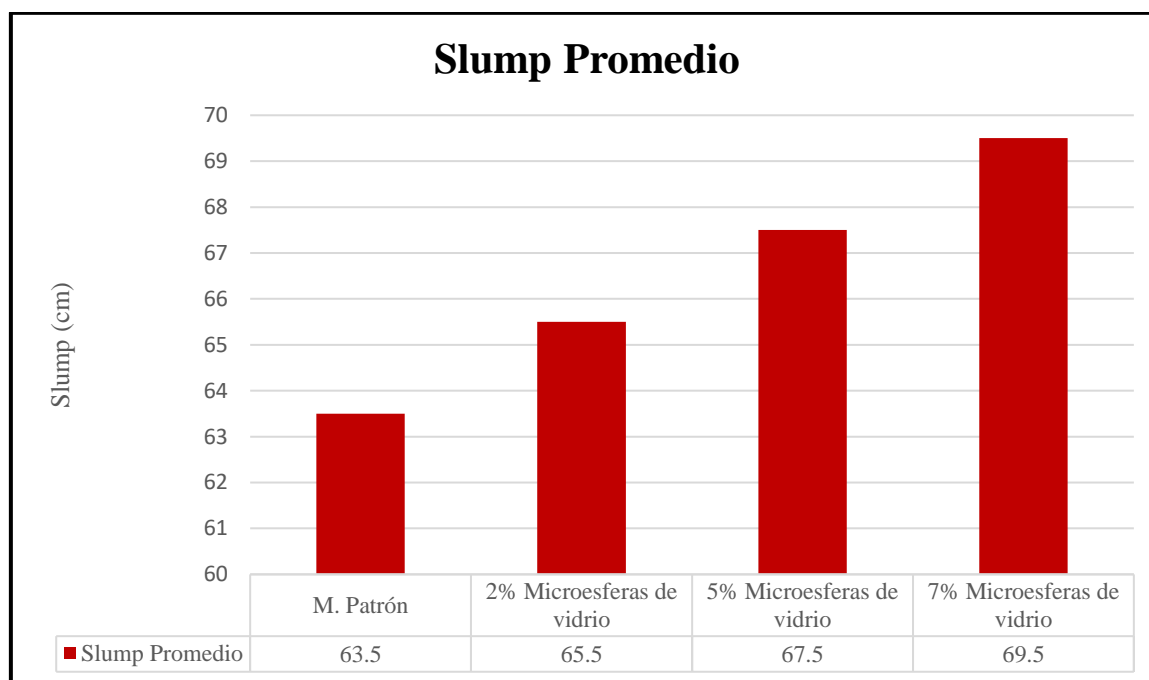
Agregado Fino (Cantera de la Victoria)		
Descripción	Datos de esta investigación	Datos de investigación de [33]
- Peso Unitario Suelto	1508 kg/m <sup>3</sup>	1502 kg/m <sup>3</sup>
- Peso unitario compactado	1631 kg/m <sup>3</sup>	1645 kg/m <sup>3</sup>
- Peso específico	2.532 gr/cm <sup>3</sup>	2.612 gr/cm <sup>3</sup>
- Módulo de fineza	3.268	3.17
- T.M.N	-	-
- % Absorción	0.80%	0.84%
- % De Humedad	3.81%	2.74%

*- Elaboración Propia -*

### ***Ensayo de asentamiento***

Los siguientes gráficos muestran un resumen de los resultados obtenidos de los diámetros slump y del tiempo T50, de las cuales se puede observar los siguientes comportamientos representados en la Gráfica 9:

*Gráfico 9: Comparación de resultados de ensayo de asentamiento - Slump*



- *Elaboración Propia* -

Se practicó el ensayo de asentamiento con el cono de Abrams modificado, tanto a la muestra patrón como las diferentes muestras reemplazado parcial de HGM por cemento. Para la muestra patrón se obtuvo un diámetro de 63.5 cm. Resultado bastante cercano al proyectado en el diseño de mezcla según la Norma ACI 237-R, que es de 60 cm.

Según el estudio realizado por [5], donde el asentamiento que obtuvo fue de 61 cm, diferencia poco significativa que es ocasionada principalmente por el diferente aditivo utilizado en el diseño de mezcla. El autor utilizó el superplastificante Sika Viscocrete 2000, el cual tiene una mayor reducción de agua, por lo que su dosificación es menor a comparación del Z Fluidizante SR-1000 utilizada en esta investigación.

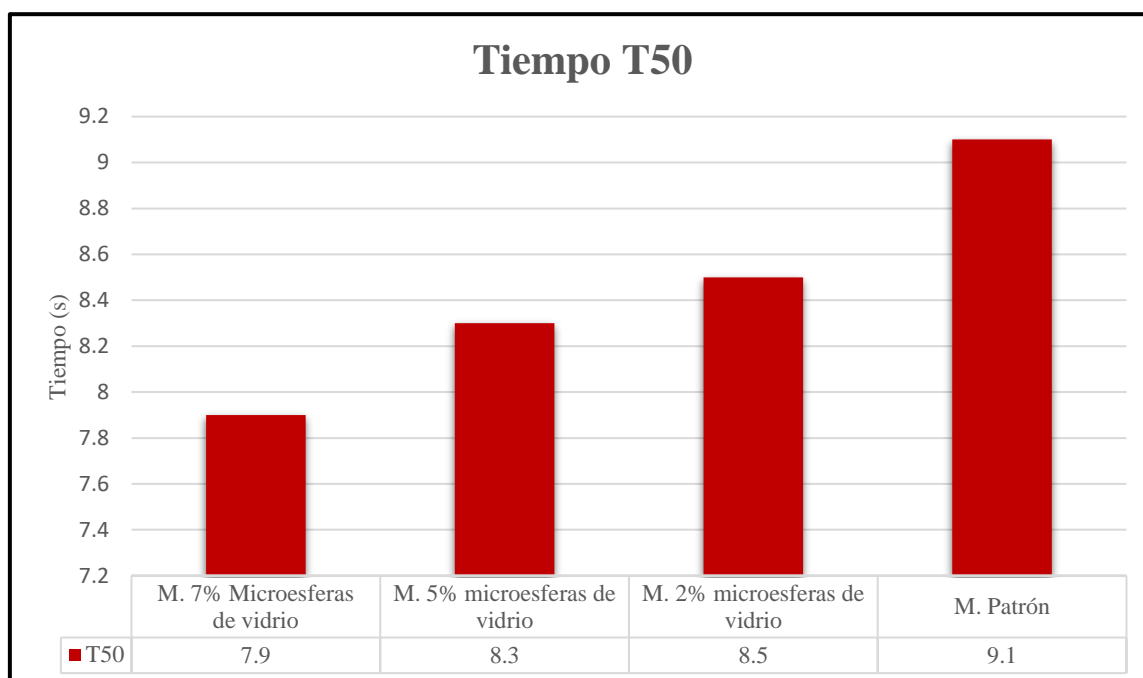
Citando además a [34], en su propuesta de diseño de mezcla de CAC, obtienen valores de extensión de 71 cm a 72 cm. Valores bastantes superiores al mostrados en esta investigación, pero cabe recalcar que el procedimiento que siguieron los autores para el diseño de mezcla fue el ACI 211, mientras que para esta investigación se citó la normativa del ACI 237-R.

Con respecto a la medida de asentamiento obtenido con el 5% de reemplazo parcial de HGM por cemento el cual fue respectivamente de 67.5 cm generando un incremento de 4 cm en

comparación de la muestra patrón, según [5] obtiene resultados bastantes semejantes, con un incremento del 3.5 cm. A pesar de que las muestras de HGM fueron proveídas por diferentes fabricantes, la característica más resaltante que tienen en común ambas muestras de HGM es su 80% de esfericidad indicadas en las fichas técnicas.

Con respecto a las dosificaciones del 2% y 7%, es notable observar un incremento de 2cm y 6cm respectivamente, a pesar de que no se registran experiencias realizadas, pero [7] exponen investigaciones con resultados donde se aplica unas dosificaciones de 3% y 9% teniendo incrementos de 2.8 cm y 7.0 cm respectivamente, notando que el aumento del asentamiento es proporcional al porcentaje de HGM ensayado. Cabe considerar que las propiedades de HGM utilizadas son diferentes a las usadas en esta investigación, factores que afectan la experiencia en laboratorio y resultados.

*Gráfico 10: Comparación de resultados ensayo de asentamiento - Tiempo T50*



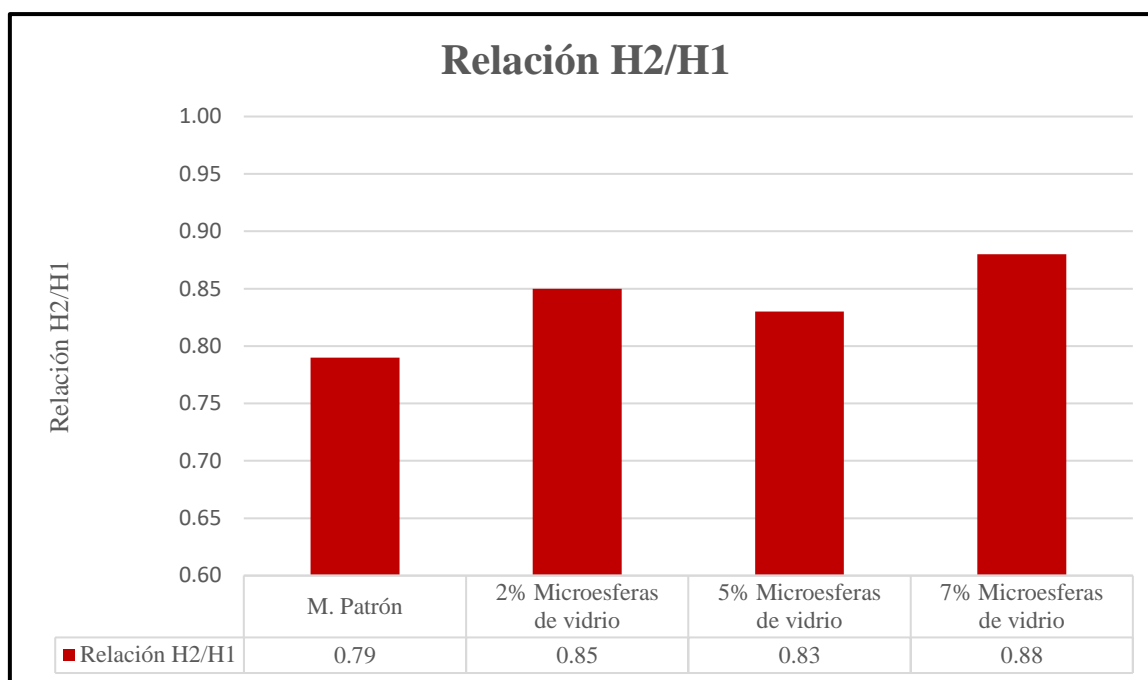
*- Elaboración Propia -*

Al evaluar el tiempo T50, podemos evidenciar que la muestra con un 7% de HGM de reemplazo parcial por cemento tiene un gran impacto con respecto a la muestra patrón siendo 1.2s más rápido en alcanzar los 50cm de diámetro de escurrimiento, para los porcentajes de 2% y 5% de HGM como reemplazo parcial del cemento, también existe una reducción del tiempo siendo de 0.6s y 0.8s respectivamente, evidenciado que mientras más dosificación, mayor será la trabajabilidad y fluidez de la mezcla.

### ***Ensayo de Caja de Paso L***

En el Gráfico 11 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de la caja de paso L, este resultado está en función de la relación que existe entre la medición de H2/H1, en un tiempo de reposo de 1 minuto. Los valores presentados se encuentran dentro del rango recomendado por [35] que es de 0.75 a 1.

*Gráfico 11: Comparación de resultados ensayo de Caja de Paso L - Relación H2/H1*



*- Elaboración Propia -*

Al discutir el ensayo de la caja de paso en L, se registran experiencias para la dosificación del 5% de HGM, el primer lugar [5] muestra los resultados de sus ensayos tanto para su muestra patrón siendo de 0.92 y para su adición de HGM al 5% siendo de 0.94. En segundo lugar, [36] también plantea un reemplazo del 5% de HGM al agregado fino, obteniendo valores para su muestra de control que fue de 0.91 y para su reemplazo de HGM que fue de 0.94.

Los valores planteados en esta investigación son de 0.79 para la muestra control y 0.83 para la muestra de 5% de HGM como reemplazo parcial del cemento. La diferencia de los valores propuestos está muy marcada a comparación con la experiencia de estos autores, la razón de esta situación puede ser muy diversa, siendo las principales; la inclinación de la superficie donde se ejecute el ensayo, esta variación de pendiente puede beneficiar el escurrimiento a través del instrumento provocando que la relación de H2/H1 tienda a 1; y también el asentamiento proyectado en el diseño de mezcla, para el primer autor, se diseña con un

asentamiento de 65 cm a 70 cm, lo que claramente requiere que el CAC tenga una menor viscosidad y mayor fluidez. Otros factores menores que interviene es la rugosidad del instrumento y el tiempo de reposo registrado en el ensayo.

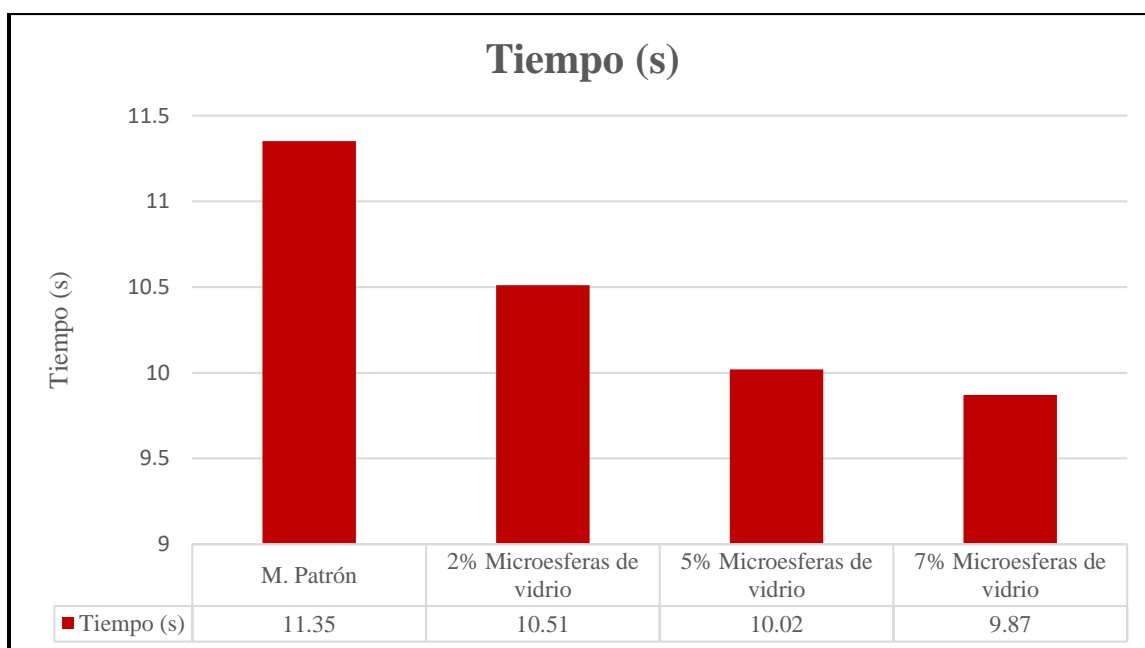
Sin embargo, a pesar de esta diferencia, se observa en los resultados mantienen una gran similitud en el incremento de la relación H2/H1 siendo de aproximadamente de 0.2, lo que demuestra que independientemente de los factores externos que interviene en la ejecución del ensayo, no tienen a modificar el incremento de fluidez, ya que al final tanto la muestra patrón y la muestra con adición de HGM están sometidas a los mismos factores externos en que se ejecutan los ensayos.

Con respecto al reemplazo del 2% y 7% de HGM no se registran evidencias con respecto a este ensayo, sin embargo, se continúa la proporcionalidad de cuando más porcentaje de reemplazo mayor es la tendencia de la fluidez, esto comprobado por el incremento en la relación de H2/H1 que es de 0.6 y 0.9 para los porcentajes anteriormente mostrados, resaltando que en esta ocasión el porcentaje de 2% tiene mayor incidencia de uniformidad que el 5% de reemplazo de HGM por cemento.

### ***Ensayo del Embudo V***

El siguiente gráfico muestra de forma resumida los resultados presentados para el ensayo del embudo V, mostrando los tiempos promedio obtenidos con cada una de las dosificaciones de HGM establecidas:

*Gráfico 12: Comparación de resultados ensayo de Embudo V - Tiempo de fluidez*



- *Elaboración Propia* -

Al hablar del ensayo del Embudo V, podemos citar a [37] que como propuesta de diseño de mezcla para un CAC y evaluar su fluidez registran en su ensayo para un slump de 650 mm un tiempo de 10s. Tiempo bastante cercano al propuesto en esta investigación que es de 11.35s, considerando que el slump proyectado aquí es de 600 mm. Al no tener una normativa muy establecida para este ensayo, no se sabe el rango máximo y mínimo de tiempo, sin embargo, según Arturo Alayza lo recomendable es tener un tiempo mínimo de 6s o no exceder los 12s.

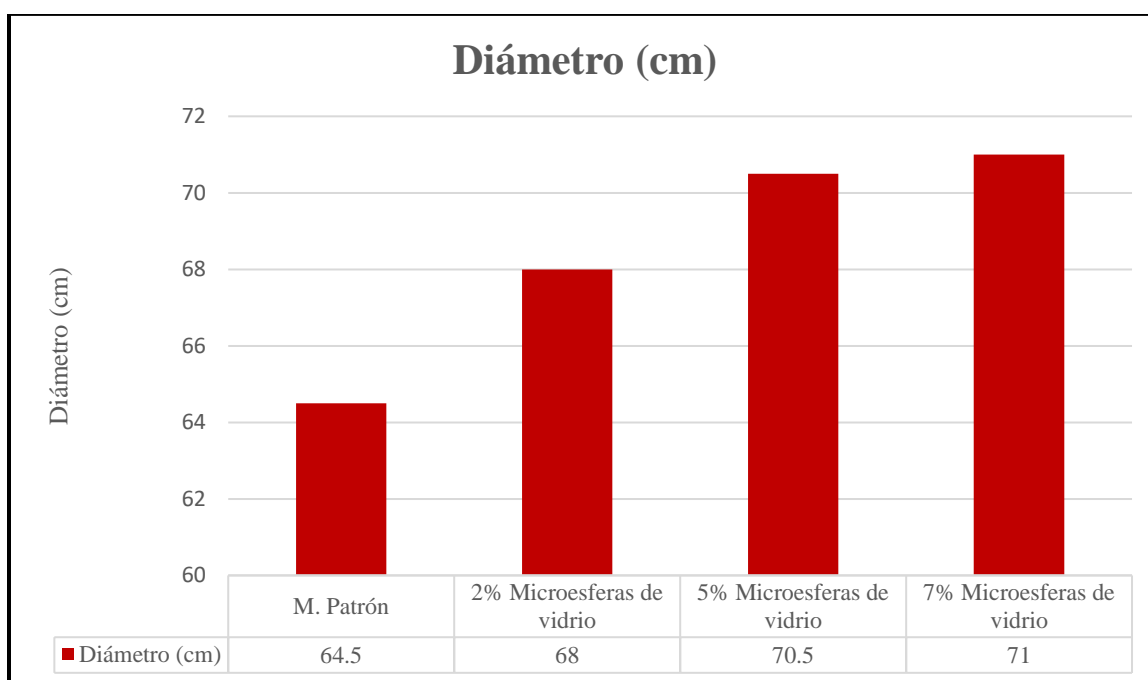
Para el 2% de reemplazo parcial de HGM en el cemento, se tiene una reducción de 0.85s; para el porcentaje de 5% de reemplazo parcial de HGM, una disminución de 1.33s; y para el 7% de reemplazo de HGM, quien tuvo el mayor impacto, el tiempo se redujo en 1.48s. Las comparaciones anteriores fueron en base a la muestra patrón.

A partir de esto, los resultados con los diferentes reemplazos parciales de HGM por cemento, en el ensayo del embudo V, continuó teniendo la misma tendencia de reducir la viscosidad del concreto permitiendo escurrirse por una abertura muy estrecha, reduciendo los tiempos de capacidad de paso. Estas mejoras en el tiempo siguieron en función del incremento de porcentaje de las muestras de HGM.

### ***Ensayo del Anillo Japones “J”***

El Gráfico 13 muestra los resultados del ensayo del Anillo Japones, el cual se ejecutó tanto para la muestra patrón como para las diferentes combinaciones de HGM:

*Gráfico 13: Comparación resultados del Anillo J - Asentamiento obtenido*



- *Elaboración Propia* -

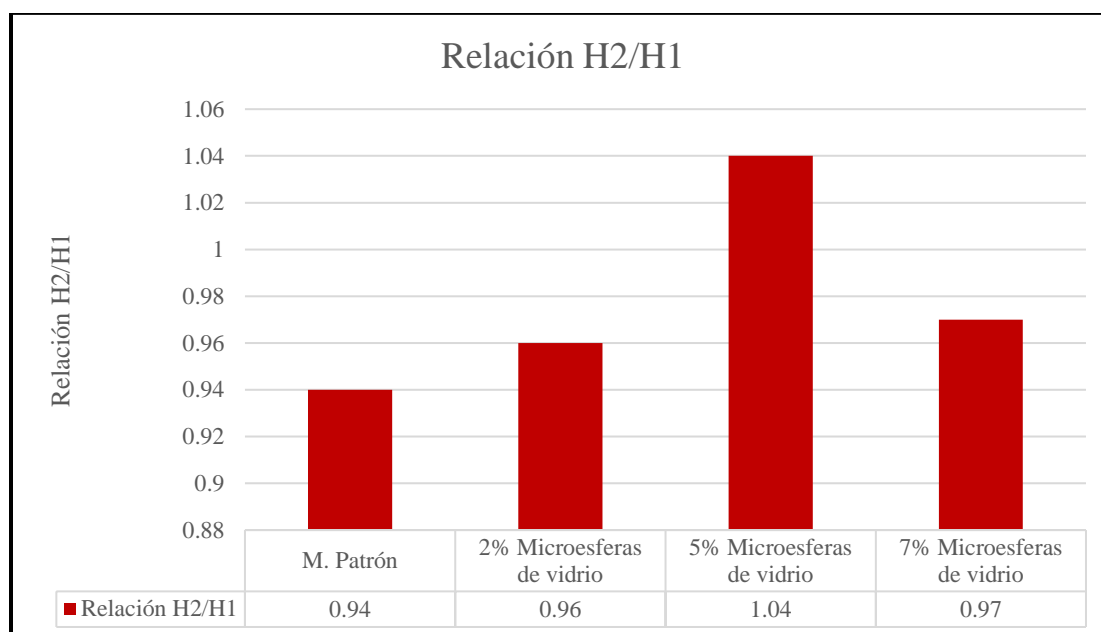


El ensayo del Anillo Japonés “J”, mide la capacidad que tiene el CAC para fluir a través de obstáculos, muy semejante al ensayo de asentamiento. Las investigaciones realizadas por [5] muestra los siguientes resultados para su CAC patrón siendo de 565 mm y para su CAC con adición del 5% de HGM siendo de 634 mm (incremento de 69 mm). Citando a [34], en su propuesta de diseño de CAC exponen para el ensayo del anillo J valores de diámetros de 72 cm y 73 cm.

Los resultados en la ejecución de este ensayo, tenemos para la muestra patrón una medida de 645 mm y para la muestra con un reemplazo parcial del 5% de HGM por cemento, un valor de 705 mm (incremento de 60 mm), notamos que existe una variación de resultados, más no del incremento que generó la dosificación de HGM. Podemos notar que al compararlo con los 73 cm que exponen [34], su escurrimiento con el anillo J es mayor al establecido por el ensayo del asentamiento, a pesar de contar con obstáculos de paso. Aquí juega un papel muy importante el tiempo de reposo el cual está sometido la muestra, debido a que cuanto más tiempo se le dé a la muestra, la tendencia de incrementar su diámetro de expansión aumenta. Para esta investigación se dispuso de 2 minutos de tiempo de espera para la toma de los resultados.

También se evidencia que para el 2% de HGM como reemplazo parcial del cemento, existió un aumento del 3.5 cm del diámetro de escurrimiento, y para el 7% de HGM, aumento en 5.5 cm, siendo este valor el más incidente con respecto a la muestra patrón.

*Gráfico 14: Comparación de resultados ensayo del Anillo J - Relación H2/H1*

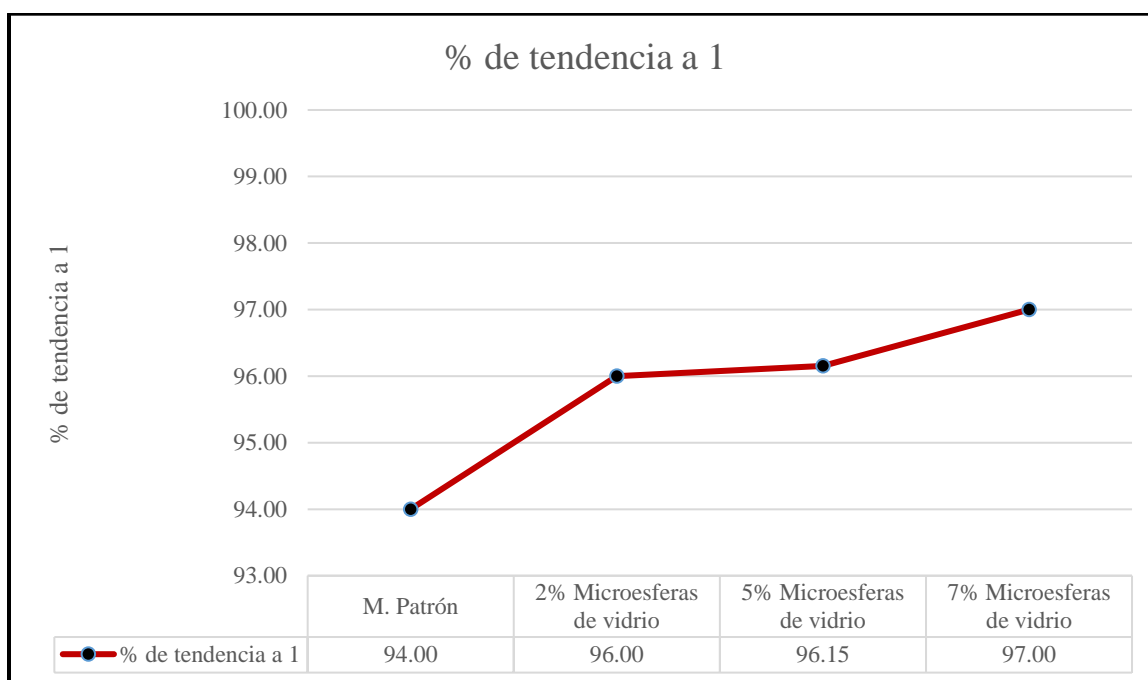


*- Elaboración Propia -*

La relación H2/H1, muestra la incidencia de fluidez que hubo en anillo de su diámetro interno y externo de escurrimiento.

Para la muestra patrón llego a tener una relación de uniformidad de 0.94, y para las combinaciones de HGM fueron respectivamente de: Para el 2% de HGM como reemplazo parcial del cemento tuvo una relación de uniformidad de 0.96, para el 5% de reemplazo de HGM se obtuvo una relación de uniformidad de 1.04 y para el 7% de reemplazo de HGM en el cemento, se obtuvo un resultado de 0.97 de relación de uniformidad. Cabe resaltar que se dice que un concreto es más uniforme cuando su relación tiende a la unidad. A partir de esto se formuló el siguiente gráfico, que demuestra en forma de porcentaje que combinación es más uniforme:

*Gráfico 15: % de tendencia de uniformidad - Anillo J*

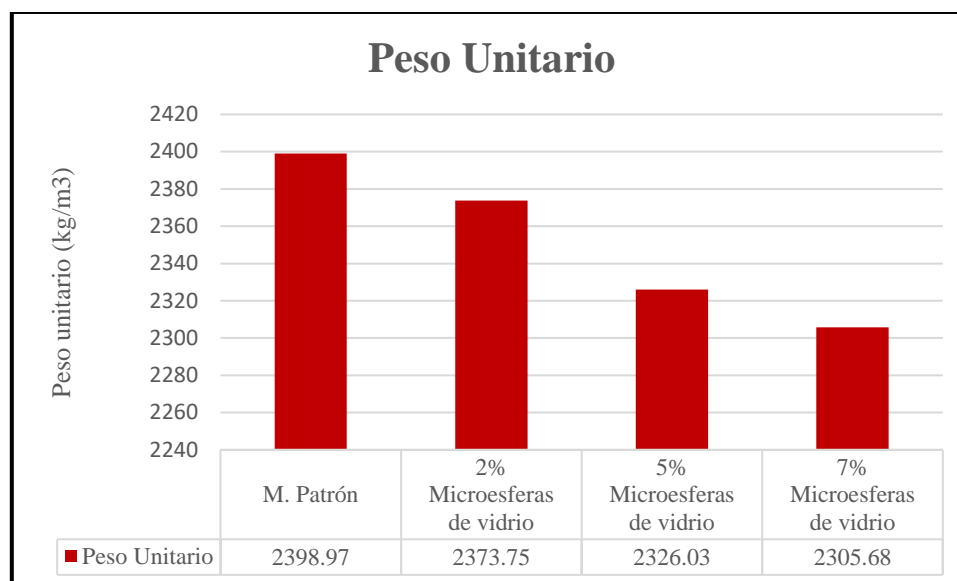


*- Elaboración Propia -*

### ***Peso unitario del concreto***

El siguiente gráfico muestra los valores obtenidos en el resultado de peso unitario del concreto tanto para la muestra patrón como para las diferentes combinaciones de HGM por cemento.

Gráfico 16: Comparación de resultados ensayo de peso unitario del concreto



- *Elaboración Propia* -

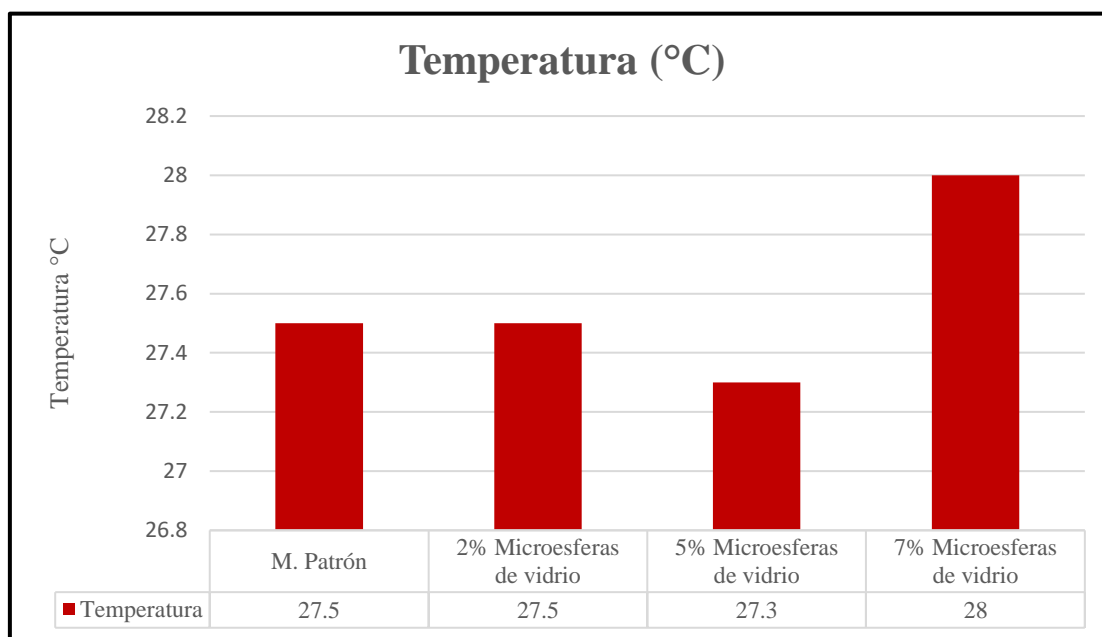
Al hablar del ensayo del peso unitario, los resultados demuestran valores que se encuentran entre 2305.68 kg/m<sup>3</sup> y 2398.97 kg/m<sup>3</sup>, para todas las muestras. Según la clasificación de [11], estamos ante un concreto normal (entre 2000 kg/m<sup>3</sup> y 2500 kg/m<sup>3</sup>), cuyo uso es de forma general para una estructura. La reducción más significativa a causa del reemplazo parcial de HGM por cemento ocurrió con el porcentaje de 7%, con una disminución del 3.89% del valor de la muestra patrón. Existe un antecedente, [6] observó que las microesferas de vidrio con una densidad de 0.6 g/cm<sup>3</sup> y al reemplazar un 6.7% del peso del agregado fino podía reducir el peso volumétrico en un 17% llegando a convertirlo en un concreto ligero, En esta investigación las microesferas de vidrio tienen una densidad de 1.9 g/cm<sup>3</sup>, bastante superior al utilizado en la experiencia anterior, sin embargo sigue siendo la menor densidad que contiene la mezcla de CAC, y como consecuencia la ligera reducción del peso unitario anteriormente expuesto.

Para las demás muestras del 5% y del 2% de HGM como reemplazo parcial del cemento, se sigue teniendo un peso unitario normal, sin embargo, a comparación de la muestra patrón, este peso unitario ha disminuido en 3.04% y 1.05% respectivamente.

### ***Temperatura del concreto en estado fresco***

En el Grafico 17, se muestra la comparación de temperatura obtenida para la muestra patrón y para las diferentes combinaciones de HGM por cemento:

Gráfico 17: Comparación de resultados de temperatura del concreto en estado fresco



- Elaboración Propia -

Las muestras de concretos fueron sometidos a las mismas condiciones ambientales, por lo que su temperatura no tuvo una variación significativa. Existe evidencia que demuestra que los concretos con adición de HGM pueden conservar mejor la temperatura en interiores, sin embargo, esos ensayos son practicados cuando el concreto ha alcanzado su resistencia máxima (28 días en adelante).

El ensayo de temperatura en estado fresco demostró que las muestras se encuentran dentro del rango permisible por la Norma NTP 339.184 el cual nos indica que la temperatura ideal debe estar entre 23 °C y 30°C. Cumpliendo de esta forma con una de las solicitudes recomendadas.

### ***Ensayo de resistencia a la compresión***

Se determina que la muestra patrón alcanza un  $f'c$  real de 417.54 kg/cm<sup>2</sup> (a la edad de 28 días), lo que representa un 119% de resistencia con respecto al valor de resistencia diseñada.

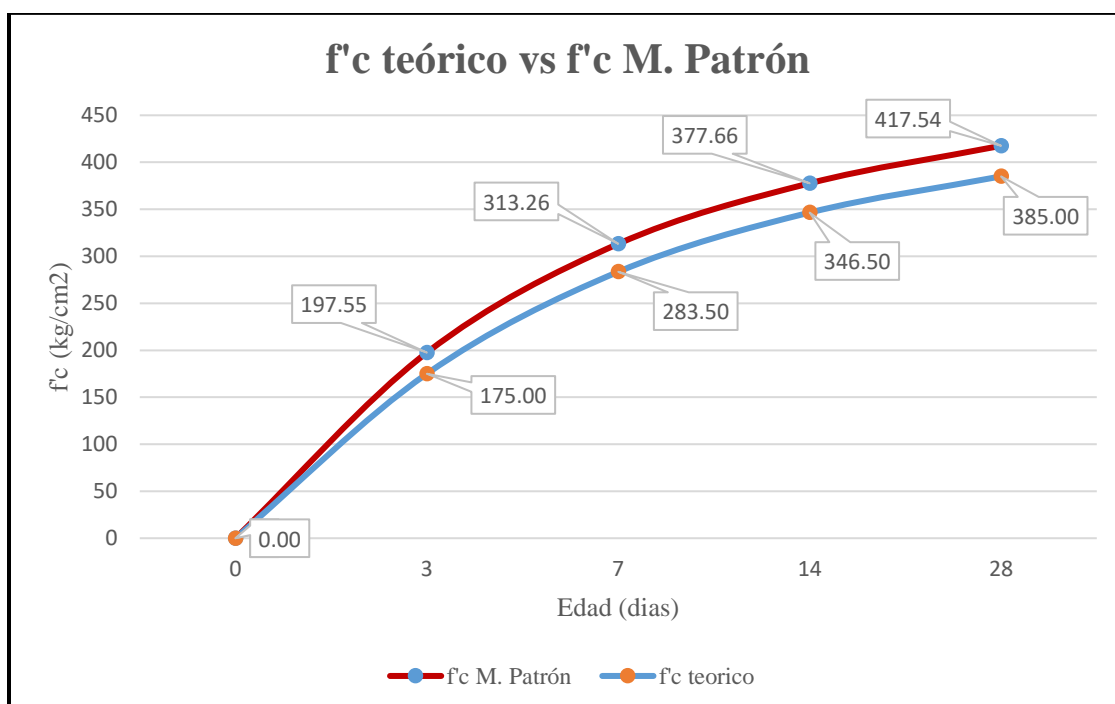
La muestra más destacada fue el 5% de HGM como reemplazo del cemento; teniendo como resultado, un  $f'c$  real de 410.14 kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 117% de la resistencia diseñada, pero también fue un 1.7% menor con respecto a la muestra patrón. Según los antecedentes mostrados por [5], la adición de 5% de microesferas significó una disminución del 7% de la resistencia patrón; valor bastante superior. Al evaluar las demás dosificaciones de esta investigación, en todos los casos presentados se cumplió con la resistencia objetivo-establecida

en el diseño de mezcla, aunque la tendencia al incrementar más porcentaje de reemplazo de HGM es desfavorable. Por el contrario, para [6], que con una dosificación de 6.7% de HGM por el agregado fino, demostró un incremento no tan alto de la resistencia, pero entran en juego muchos factores como el tipo de agregado que utilizó para el diseño además de sus propiedades, ya que en muchas ocasiones las microesferas de vidrio tienen un mejor comportamiento que las arenas, y un elevado porcentaje de reemplazo puede generar costos muy elevados de producción.

Analizando la razón de esta disminución de resistencia en todas las muestras de HGM, es notorio deducir que es a causa del incremento de la relación  $a/c$ , que pasaron de 0.45 para la muestra patrón a 0.46, 0.48, 0.49 para el 2%, 5% y 7% respectivamente. La reducción de  $a/c$  trae como consecuencia la disminución de la resistencia del concreto, que para la dosificación del 5% de HGM no fue tan significativa a comparación de las otras muestras.

De una forma más detallada se pueden observar los resultados presentados en el Gráfico 18, donde se observa la comparativa de la resistencia obtenida por la muestra patrón en comparación con la resistencia teórica proyectada. Para la edad de 3 días, la muestra patrón tiene un 12.88% más de resistencia; para una edad de 7 días, se observa que la muestra patrón fue un 10.50% más resistente; para los 14 días, fue un 8.99% más resistente y para los 28 días, se obtuvo valores un 8.45% más todo a comparación de la muestra en proyección.

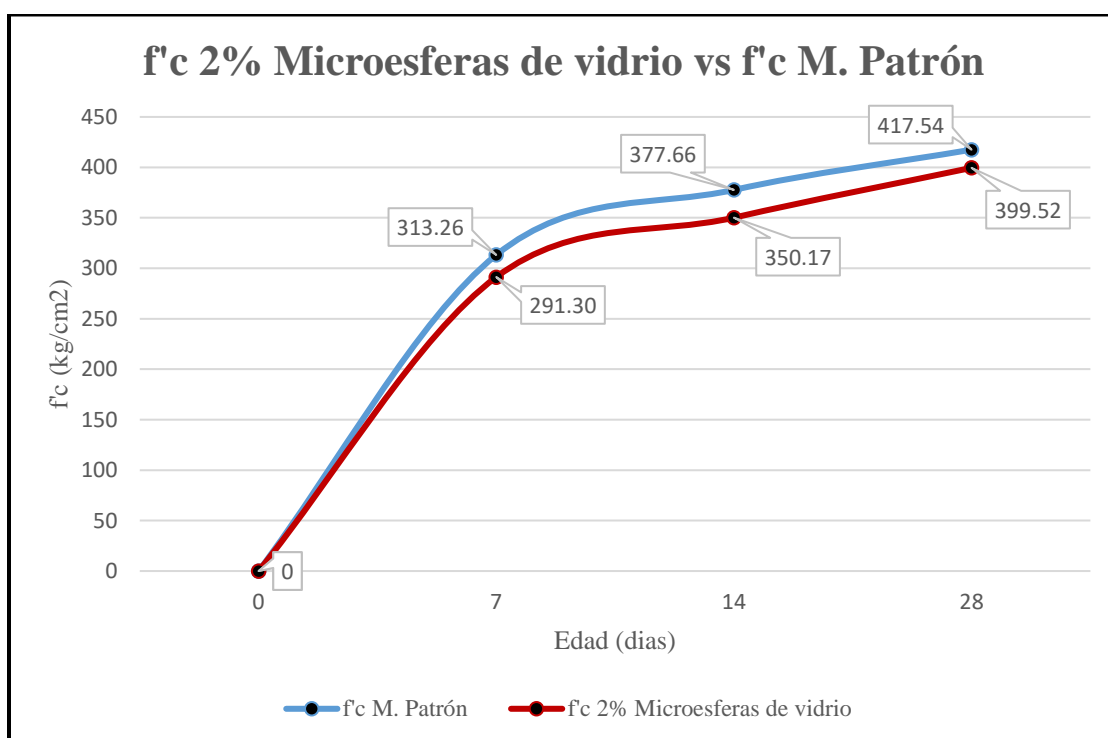
*Gráfico 18: Resultados de resistencia a la compresión - Muestra Patrón vs  $f'_c$  Teórico*



- Elaboración Propia -

A continuación, en la Gráfica 19 muestra la comparativa de la curva de resistencia entre la muestra patrón y el reemplazo parcial de 2% de HGM por cemento. Se observa que, a la edad de 7 días, la muestra con 2% de HGM fue un 7.01% menos resistente; para la edad de 14 días, el valor fue un 7.27% menor y por último para la edad de 28 días, el resultado fue un 4.32% menor todo comparado con respecto a la muestra patrón. Es importante destacar que la adición con 2% de HGM cumple con los requerimientos del  $f'c$  teórico.

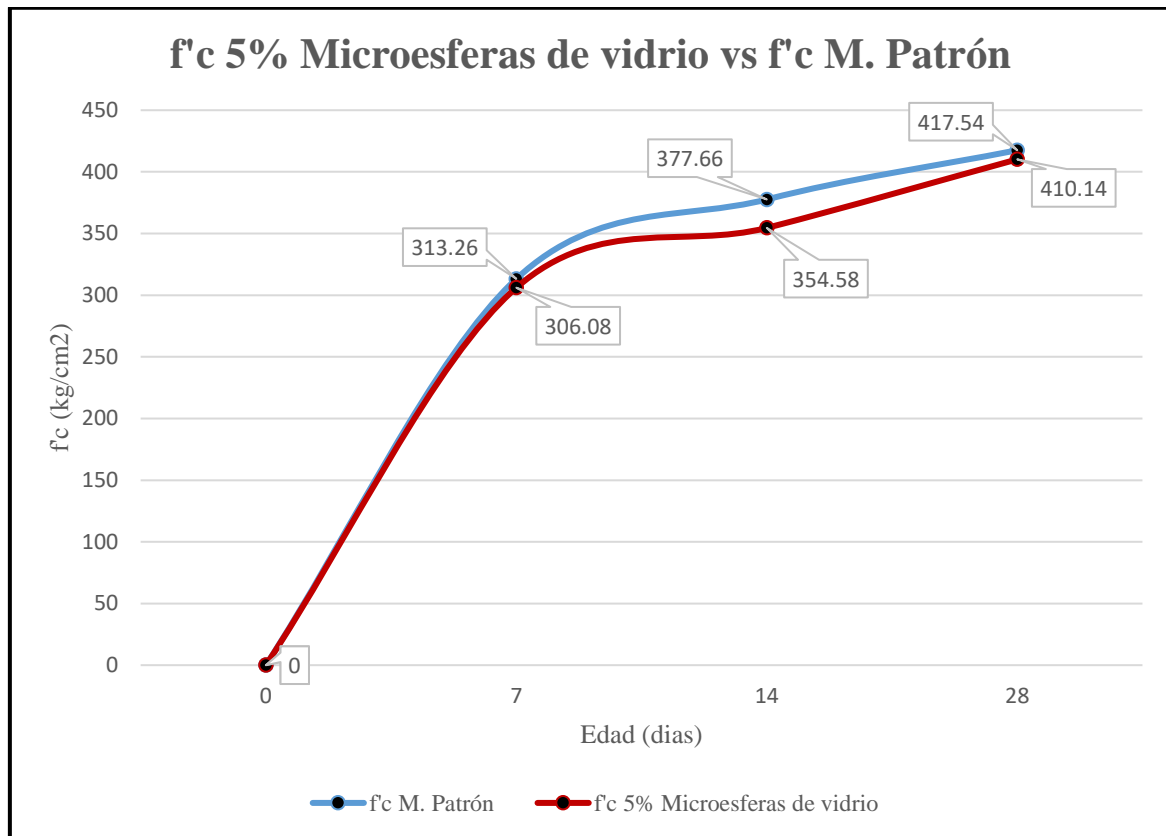
Gráfico 19: Resistencia a la compresión - Muestra 2% de HGM vs Muestra Patrón



- Elaboración Propia -

Con respecto a la combinación de 5% de HGM como reemplazo parcial del cemento, obtenemos resultados bastantes cercanos a la resistencia de la muestra patrón, siendo a la edad de 7 días, un 2.29% menor a la resistencia patrón; para los 14 días, la disminución de la resistencia fue de un 6.11%, y para la edad de 28 días, la resistencia fue un 1.77% menor de la resistencia patrón.

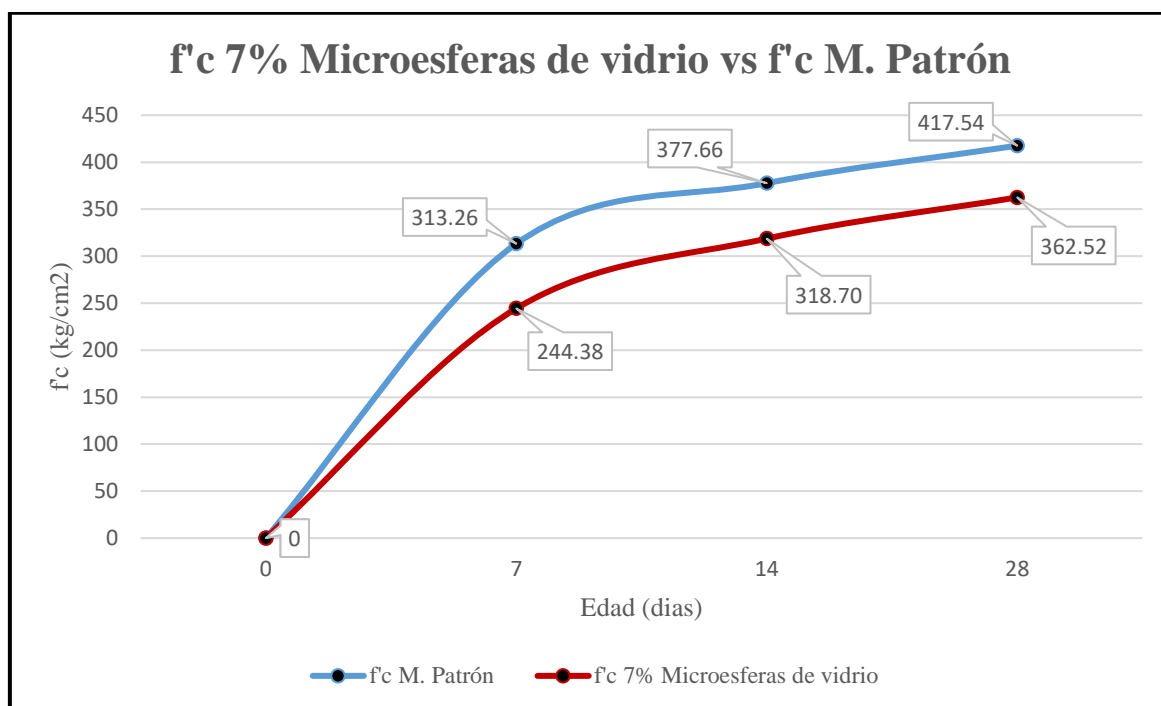
Gráfico 20: Resultados de resistencia a la compresión - Muestra 5% de HGM vs Muestra Patrón



– *Elaboración Propia* –

Con respecto a la combinación de 7% de HGM como reemplazo parcial del cemento, para la edad de 7 días, fue un 21.99% menor a la resistencia patrón; para los 14 días, la disminución de la resistencia fue de un 15.61%, y para la edad de 28 días, la resistencia fue un 13.18% menor de la resistencia patrón. Destacando además que esta combinación cumplió muy al límite con los requerimientos de resistencia del f'c Teórico.

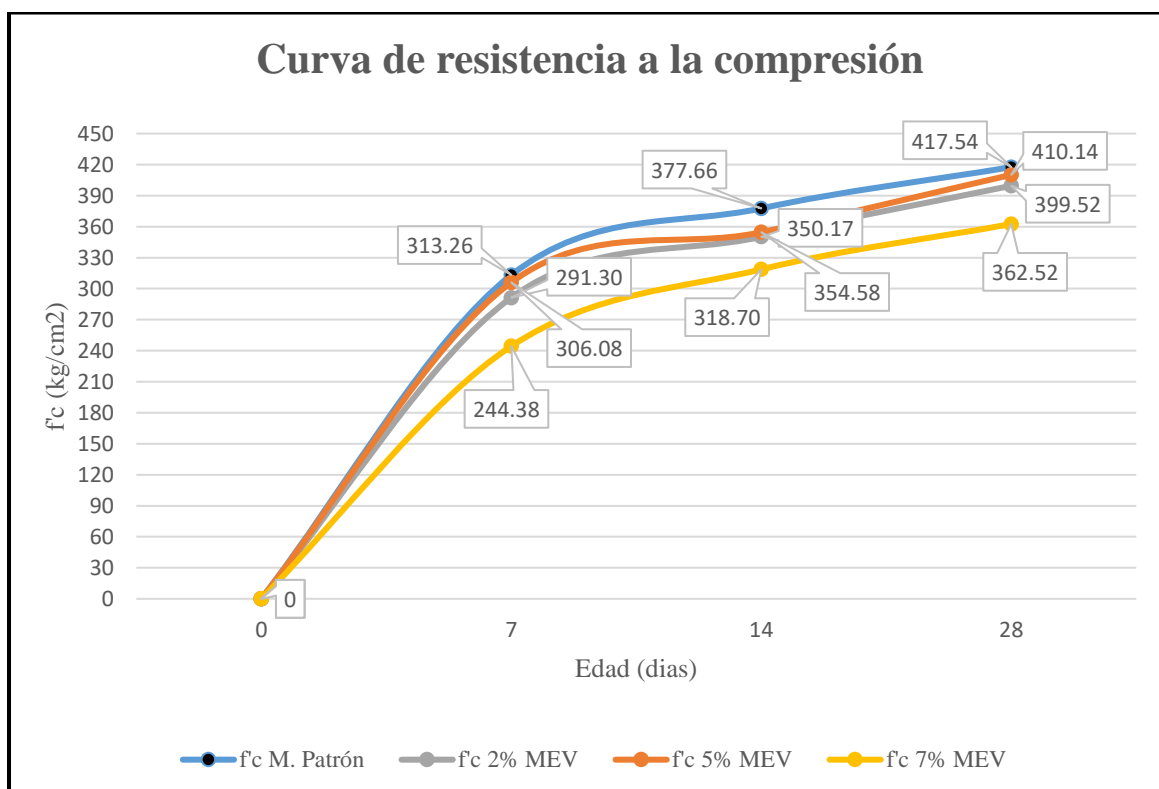
Gráfico 21: Gráfico 13: Resultados de resistencia a la compresión - Muestra 7% de HGM vs Muestra Patrón



- Elaboración Propia -

En la siguiente gráfica se mostrarán los valores de resistencia a compresión de la muestra patrón y de todas las combinaciones de microesferas de vidrio.

Gráfico 22: Curva de resistencia - Muestra Patrón vs Muestras con HGM



- Elaboración propia -

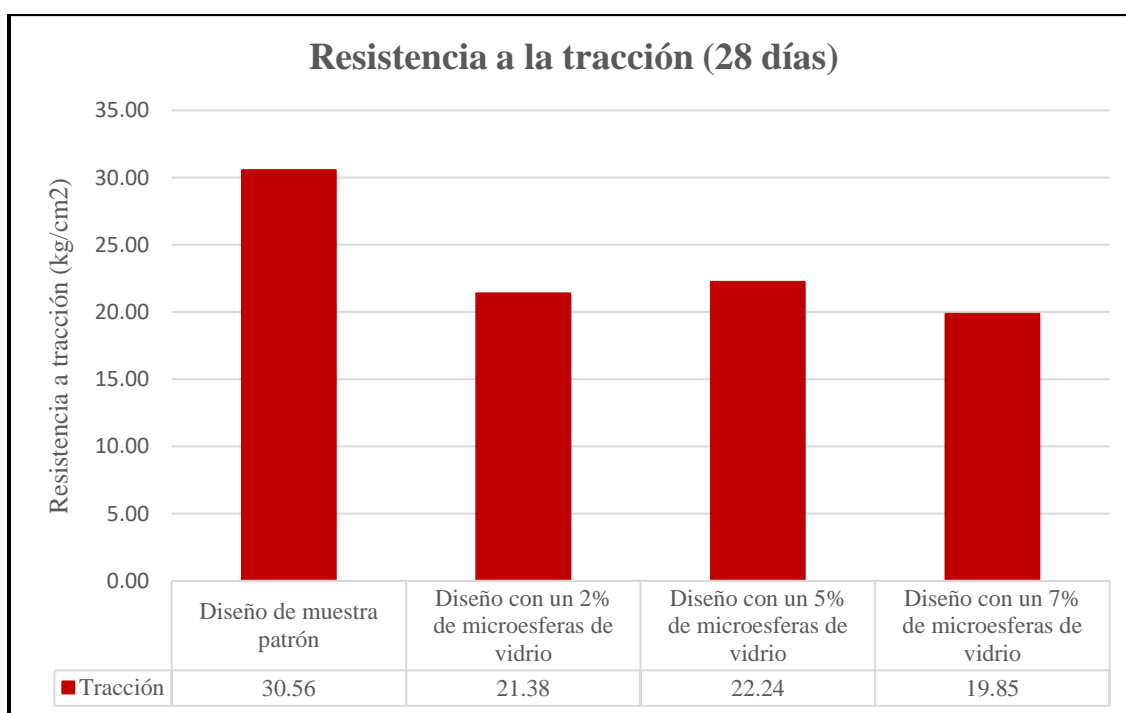


### ***Ensayo de resistencia a la tracción indirecta***

El ensayo de resistencia a la tracción indirecta, continuó comprobando lo anteriormente expuesto en el ensayo de compresión. La muestra con mejor comportamiento fue de la 5% de reemplazo de cemento por HGM, siendo de 22.24 kg/cm<sup>2</sup>.

Se puede determinar que al 2% de HGM como reemplazo del cemento, existe una disminución del 30% a la resistencia a la tracción indirecta al compararlo con la muestra patrón; de forma similar al 5% de HGM como reemplazo del cemento se encuentra una disminución del 27% de resistencia a la tracción indirecta con respecto a la muestra patrón; y por último para el 7% de dosificación de HGM como reemplazo del cemento se obtiene una disminución de 35% al compararlo con la muestra patrón.

*Gráfico 23: Comparación de muestra patrón vs Combinaciones de HGM*

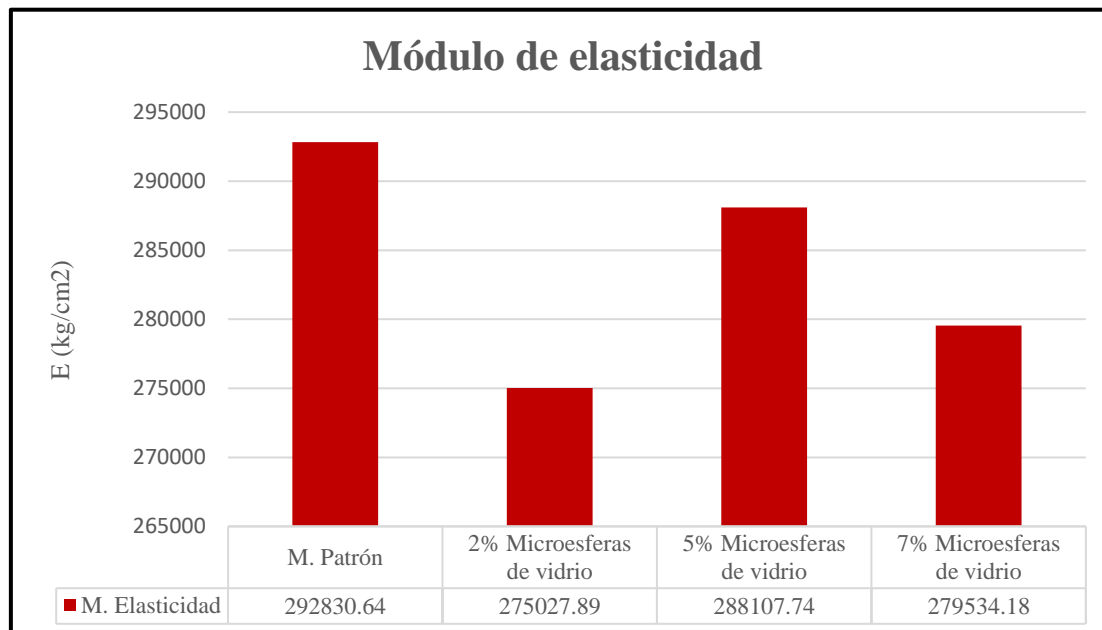


- *Elaboración Propia* -

### ***Ensayo de módulo de elasticidad del concreto***

En el Gráfico 24 muestra los resultados obtenidos para el módulo de elasticidad del concreto el cual se efectuó para la muestra patrón y para las diferentes dosificaciones de HGM. Es importante destacar que la formula teórica para el módulo de elasticidad de un concreto de  $f'c=350$  kg/cm<sup>2</sup> es igual a  $15000\sqrt{f'c}$  que tiene un valor de 2800624 kg/cm<sup>2</sup>.

Gráfico 24: Resultados - Módulo de elasticidad del concreto



- *Elaboración Propia* -

Se observa que las muestras patrón y la dosificada con un 5% de HGM cumplen con el módulo de elasticidad teórico siendo respectivamente de 292830.64 kg/cm<sup>2</sup> y 288107.74 kg/cm<sup>2</sup> en promedio, sin embargo, el 5% de HGM de reemplazo parcial de cemento, no llega a superar al patrón, aunque la diferencia no es tan considerable.

Para las dosificaciones del 2% y 7% se evidencia que no cumplen con el valor teórico, sin embargo, no existe una diferencia notable.

El factor principal que termina el módulo de elasticidad es su capacidad de resistencia a la compresión. A partir de ello, era deducible que con la disminución de esta resistencia en las dosificaciones de HGM afectarían a este valor.

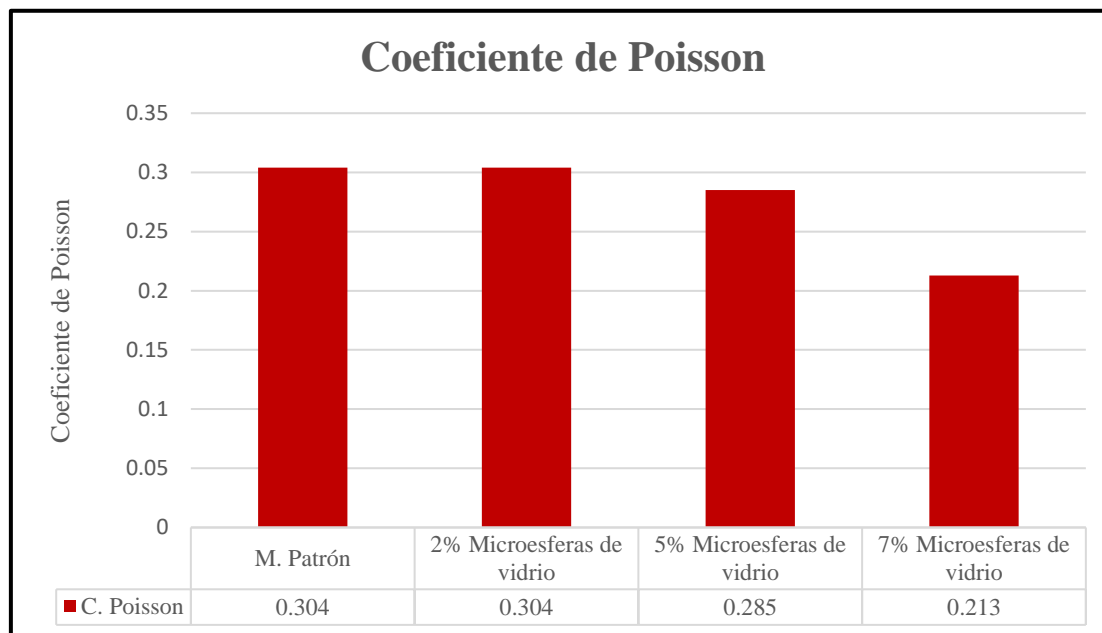
Es importante resaltar que el comportamiento que ha tenido el Gráfico 7 y Gráfico 8 que corresponde a esfuerzos vs deformación de la dosificación del 7% de HGM, desarrollo una mayor pendiente a comparación de la dosificación del 2% de HGM, representados en el Gráfico 3 y Gráfico 4, a pesar de que su esfuerzo último es menor. Esto significa que, en su estado elástico, la dosificación con 2% de HGM soporto más deformaciones con un menor esfuerzo aplicado.

El valor más incidente obtenido por las muestras de HGM fue el del 5%, lo que involucró a tener menores deformaciones con un mayor esfuerzo aplicado. Acercándose considerablemente a muestra patrón a pesar de esa reducción de resistencia.

### ***Ensayo del coeficiente de Poisson***

En el Gráfico 25 se muestran los resultados promedios obtenidos para el coeficiente de Poisson.

*Gráfico 25: Resultados Coeficiente de Poisson*



*- Elaboración Propia -*

Se obtuvieron resultados para la muestra patrón de 0.304 para el coeficiente de Poisson, para el 2% de HGM con 0.304, para el 5% de HGM con 0.285 y por último para el 7% de HGM con 0.213.

Se deduce que, gracias a la adición de microesferas de vidrio, aumento la capacidad de deformarse diametralmente a medida que el esfuerzo incrementa. La dosificación con 2% de HGM resulto tener un promedio igual al patrón, sin embargo, el 5% de HGM y 7% de HGM soporto una mayor deformación transversal a medida que aumentaba su deformación longitudinal y el esfuerzo aplicado. Esto puede ser producido por la esfericidad de las microesferas y su resistencia a la compresión, ya que tanto transversalmente como longitudinalmente tienden a aumentar su deformación en el estado elástico

### ***Análisis de evaluación económica***

Se evaluó el análisis económico, mediante el desarrollo de precios unitarios para un concreto patrón y con las diferentes adiciones de HGM como reemplazo de cemento.

Para la elaboración de precios unitarios se tuvo en cuenta el costo por bolsas de 25kg de microesferas de vidrio. En este costo ya está abarcado el precio de proceso de fabricación. No

se considerar los costos por transporte ni envíos de los agregados. Solo por producción de m<sup>3</sup> de concreto.

En la Tabla 79 se muestran los cálculos de costo de los insumos para la producción de 1 m<sup>3</sup> de CAC que abarca para la muestra patrón y para las diferentes dosificaciones de HGM propuestas en la investigación. Para este cálculo se cotizaron los materiales, que posteriormente fueron adquiridos para realizar las diferentes mezclas. Con esos costos, se calcularon los precios unitarios de cada insumo lo que permitieron el cálculo económico para un 1 m<sup>3</sup> de CAC.

Tabla 80: Análisis de costos unitarios para 1 m<sup>3</sup> de CAC

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS						
Tipo	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U (S/.)	Subtotal	Total
CAC Patrón	Cemento Tipo I	bolsas	11.176	32.50	363.23	496.04
	Arena Fina De la Victoria	m3	0.391	50.00	19.55	
	Piedra Chancada de 1/2" de Tres Tomas	m3	0.252	40.00	10.08	
	Agua	m3	0.192	1.14	0.22	
	Aditivo Z Fluidizante SR - 1000	litros	7.125	14.45	102.96	
CAC con 2% HGM por cemento	Cemento Tipo I	bolsas	10.907	32.50	354.48	488.54
	Arena Fina De la Victoria	m3	0.391	50.00	19.55	
	Piedra Chancada de 1/2" de Tres Tomas	m3	0.252	40.00	10.08	
	Agua	m3	0.192	1.14	0.22	
	Aditivo Z Fluidizante SR - 1000	litros	7.125	14.45	102.96	
	Microesferas de Vidrio Ballotini	m3	0.004	315.00	1.26	
CAC con 5% HGM por cemento	Cemento Tipo I	bolsas	10.504	32.50	341.38	477.02
	Arena Fina De la Victoria	m3	0.391	50.00	19.55	
	Piedra Chancada de 1/2" de Tres Tomas	m3	0.252	40.00	10.08	
	Agua	m3	0.192	1.14	0.22	
	Aditivo Z Fluidizante SR - 1000	litros	7.125	14.45	102.96	
	Microesferas de Vidrio Ballotini	m3	0.009	315.00	2.84	
CAC con 7% HGM por cemento	Cemento Tipo I	bolsas	10.235	32.50	332.64	469.54
	Arena Fina De la Victoria	m3	0.391	50.00	19.55	
	Piedra Chancada de 1/2" de Tres Tomas	m3	0.252	40.00	10.08	
	Agua	m3	0.192	1.14	0.22	
	Aditivo Z Fluidizante SR - 1000	litros	7.125	14.45	102.96	
	Microesferas de Vidrio Ballotini	m3	0.013	315.00	4.10	

- Elaboración Propia -

Se puede observar que el precio de producción de un 1 m<sup>3</sup> de CAC para la muestra patrón es de S/. 496.04; para 1 m<sup>3</sup> de CAC con una dosificación de 2% de HGM tiene un valor de S/. 488.54; para 1 m<sup>3</sup> de CAC con una dosificación de 5% de HGM tiene un valor de S/. 477.02, y para 1 m<sup>3</sup> de CAC con una dosificación de 7% de HGM tiene un valor de S/. 469.54.

A partir de esto se realizó el análisis de costo por partida, teniendo en cuenta la cantidad requerida de insumos para la fabricación y bombeo por m<sup>3</sup> de CAC. Los datos de cuadrillas y costos de mano de obra que intervienen en la partida fueron recopilados del proyecto “Determinación de los costos del concreto premezclado para las viviendas de interés social de la ciudad de Piura”. En la Tabla 80 y Tabla 81 se describen los datos recopilados.

*Tabla 81: Costos de mano de obra – Datos obtenidos de Vivienda e Interés Social*

Costo de mano de obra		
Capataz	22.11	hh
Operario	20.10	hh
Oficial	16.51	hh
Peón	14.85	hh

*Tabla 82: Factores de rendimiento para concreto premezclado - Datos obtenidos de Vivienda e Interés Social*

Factores de rendimiento de cuadrilla			
Capataz	Operario	Oficial	Peón
0.10	2.00	2.00	2.00

Definidos los datos que interviene en la planilla, se realizó el análisis económico de producción y bombeo de CAC en obra. La Tabla 82, Tabla 83, Tabla 84 y Tabla 85 muestran los costos de producción de CAC final para la muestra patrón y adiciones de HGM.

*Tabla 83: Análisis de costos unitarios - CAC patrón*

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS					
<b>Actividad:</b>	Elaboración de concreto autocompactante f'c =350 kg/cm <sup>2</sup>				
<b>Especificaciones:</b>	Bombeo de concreto premezclado - Incluye gasolina				
<b>Cuadrilla:</b>	0.1 capataz + 2 operario + 2 oficales + 2 peones				
<b>Rendimiento:</b>	25 m <sup>3</sup> /día				
<b>Total de costo (S/.):</b>					<b>619.60</b>
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P. Unitario (S/.)	P. Parcial (S/.)
<b>Mano de obra</b>					<b>23.63</b>
Capataz	hh	0.1	0.0267	22.11	0.59
Operario	hh	2.0	0.5333	20.10	10.72
Oficial	hh	2.0	0.2667	16.51	4.40
Peón	hh	2.0	0.5333	14.85	7.92
<b>Materiales</b>					<b>546.04</b>
Concreto Pre Mezclado f'c =350 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>		1.00	496.04	496.04
Bomba para colocar el concreto	m <sup>3</sup>		1.00	50.00	50.00
<b>Equipo y herramientas</b>					<b>49.93</b>
Vibrador de concreto	hm		0.2667	10.00	2.67
Herramientas Manuales	%		2.0000	23.63	47.26

- Elaboración Propia -

Tabla 84: Análisis de costos unitarios - CAC 2% HGM

<b>ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS</b>					
<b>Actividad:</b>	Elaboración de concreto autocompactante f'c =350 kg/cm2				
<b>Especificaciones:</b>	Bombeo de concreto premezclado 2% HGM - Incluye gasolina				
<b>Cuadrilla:</b>	0.1 capataz + 2 operario + 2 oficales + 2 peones				
<b>Rendimiento:</b>	25 m3/día				
<b>Total de costo (S/.):</b>					<b>612.10</b>
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P. Unitario (S/.)	P. Parcial (S/.)
<b>Mano de obra</b>					<b>23.63</b>
Capataz	hh	0.1	0.0267	22.11	0.59
Operario	hh	2.0	0.5333	20.10	10.72
Oficial	hh	2.0	0.2667	16.51	4.40
Peón	hh	2.0	0.5333	14.85	7.92
<b>Materiales</b>					<b>538.54</b>
Concreto Pre Mezclado f'c =350 kg/cm2	m3		1.00	488.54	488.54
Bomba para colocar el concreto	m3		1.00	50.00	50.00
<b>Equipo y herramientas</b>					<b>49.93</b>
Vibrador de concreto	hm		0.2667	10.00	2.67
Herramientas Manuales	%		2.0000	23.63	47.26

- Elaboración Propia -

Tabla 85: Análisis de costos unitarios - CAC 5% HGM

<b>ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS</b>					
<b>Actividad:</b>	Elaboración de concreto autocompactante f'c =350 kg/cm2				
<b>Especificaciones:</b>	Bombeo de concreto premezclado 5% HGM - Incluye gasolina				
<b>Cuadrilla:</b>	0.1 capataz + 2 operario + 2 oficales + 2 peones				
<b>Rendimiento:</b>	25 m3/día				
<b>Total de costo (S/.):</b>					<b>600.58</b>
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P. Unitario (S/.)	P. Parcial (S/.)
<b>Mano de obra</b>					<b>23.63</b>
Capataz	hh	0.1	0.0267	22.11	0.59
Operario	hh	2.0	0.5333	20.10	10.72
Oficial	hh	2.0	0.2667	16.51	4.40
Peón	hh	2.0	0.5333	14.85	7.92
<b>Materiales</b>					<b>527.02</b>
Concreto Pre Mezclado f'c =350 kg/cm2	m3		1.00	474.28	477.02
Bomba para colocar el concreto	m3		1.00	50.00	50.00
<b>Equipo y herramientas</b>					<b>49.93</b>
Vibrador de concreto	hm		0.2667	10.00	2.67
Herramientas Manuales	%		2.0000	23.63	47.26

- Elaboración Propia -

Tabla 86: Análisis de costos unitarios - CAC 7% HGM

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS					
<b>Actividad:</b>	Elaboración de concreto autocompactante f'c =350 kg/cm2				
<b>Especificaciones:</b>	Bombeo de concreto premezclado 7% HMG- Incluye gasolina				
<b>Cuadrilla:</b>	0.1 capataz + 2 operario + 2 oficales + 2 peones				
<b>Rendimiento:</b>	25 m3/día				
<b>Total de costo (S/.):</b>					<b>593.10</b>
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P. Unitario (S/.)	P. Parcial (S/.)
<b>Mano de obra</b>					<b>23.63</b>
Capataz	hh	0.1	0.0267	22.11	0.59
Operario	hh	2.0	0.5333	20.10	10.72
Oficial	hh	2.0	0.2667	16.51	4.40
Peón	hh	2.0	0.5333	14.85	7.92
<b>Materiales</b>					<b>519.54</b>
Concreto Pre Mezclado f'c =350 kg/cm2	m3		1.00	465.57	465.57
Bomba para colocar el concreto	m3		1.00	50.00	50.00
<b>Equipo y herramientas</b>					<b>49.93</b>
Vibrador de concreto	hm		0.2667	10.00	2.67
Herramientas Manuales	%		2.0000	23.63	47.26

- Elaboración Propia -

Se puede observar que el costo de producción y bombeo de CAC para un f'c = 350 kg/cm2 de muestra patrón tiene un costo de S/. 619.60, mientras que para la adición de 2% de HGM se tiene un costo de S/. 612.10, para la adición de 5% de HGM se obtuvo un precio de S/. 600.58 y por último para la adición de 7% de HGM el valor fue de S/. 593.10 soles.

El uso de este tipo de concretos con un f'c =350 kg/cm2 es usualmente para grandes planteas de cimentación, para volúmenes de concreto bastantes considerables, las cotizaciones tienen a disminuir de forma notable.

Se puede suponer un caso aplicativo donde se requiera un CAC para una platea de cimentación con un volumen de 45m3 y un espesor de 0.15 cm. Los costos para satisfacer este requerimiento se muestran en la Tabla 86.

Tabla 87: Costo de producción de 45 m3 de CAC

Descripción	CAC Patrón	CAC 2% HGM	CAC 5% HGM	CAC 7% HGM
Costo 45 m3 (S/.)	27881.89	27544.59	27026.08	26689.37

- Elaboración Propia -

En la Tabla 87 se pueden apreciar la reducción de precios que han tenido las diferentes dosificaciones de HGM con respecto al patrón.

*Tabla 88: Reducción de precios de CAC con dosificación de HGM*

Descripción	CAC 2% HGM	CAC 5% HGM	CAC 7% HGM
Reducción de costo (S/.)	337.30	855.81	1192.52

*- Elaboración Propia -*



## Conclusiones

- Se puede comprobar parcialmente lo expuesto en la hipótesis, debido a que las dosificaciones de HGM como reemplazo parcial del cemento, lograron mejorar de forma considerable las propiedades del concreto en estado fresco, sin embargo, se tuvo una reducción de las propiedades en estado endurecido. La dosificación que tuvo el mejor comportamiento de todas las dosificaciones de microesferas de vidrio fue la del 5% de HGM como reemplazo parcial del cemento. Mejorando las características del concreto en estado fresco y teniendo una reducción de sus características poco significativas en resistencia y modulo eléctrico, pero con una reducción muy importante del esfuerzo a tracción.
- La normativa aplicada para el diseño de mezcla fue el ACI 237-R, para concretos autoconsolidante. Según requisitos de la norma, se aplicó una relación agua/cemento de 0.450 de diseño para la muestra patrón. Para desarrollar el método ACI, fue necesario realizar un estudio de agregados, provenientes de la Cantera de Tres Tomas (material grueso), y la Cantera de la Victoria (material fino). La clase de cemento utilizado fue de Tipo I y las microesferas de vidrio tuvieron una esfericidad mínima de 70%. El aditivo fue un superplastificante capaz de reducir el 30% el agua y de esta forma tener asentamiento fluidos.
- El reemplazo de las microesferas de vidrio que fueron al 2%, 5%, 7% fueron respecto al cemento. Esto involucro una modificación en la relación a/c siendo de 0.46, 0.48 y 0.49 respectivamente, siendo este el factor principal de la reducción de resistencia a tracción indirecta y compresión de cada una de las dosificaciones de HGM.
- En el ensayo de asentamiento, la adición de HGM en el concreto fue favorable al compararlo con la muestra patrón; evidenciando una relación de incremento de asentamiento a medida que el porcentaje de reemplazo aumentaba. La dosificación con el 7% de HGM tuvo la mayor incidencia en este ensayo con un Slump de 69.5 cm; además, para el tiempo T50, esta misma muestra obtuvo un tiempo de 7.9s. A partir de ello se deduce que existió una mejor trabajabilidad y reducción de la viscosidad del concreto cuando se adiciona HGM.
- En el ensayo de la caja de paso L, se puede concluir que todas las combinaciones con HGM mejoraron la fluidez de paso por la caja vertical al compararlo con la muestra control. El valor con mayor impacto lo tuvo el reemplazo con 7% de HGM por cemento,

teniendo una uniformidad de paso de 0.88 (H2/H1). Esta prueba pudo comprobar que las adiciones con HGM tienden a incrementar la autocompactación del concreto, reduciendo problemas de segregación y de esta manera aumentar la uniformidad del asentamiento, permitiéndole fluir a través de obstáculos (barrotes de acero).

- En el ensayo del Embudo V, comprobó que el reemplazo HGM favoreció al incremento de la velocidad de flujo e incremento de la plasticidad del concreto, teniendo una mayor capacidad de paso por aberturas estrechas favoreciendo su aplicación en obra. El valor más incidente fue la dosificación del 7% de HGM como reemplazo parcial del cemento, realizando un tiempo de 9.87s.
- En el ensayo del Anillo J, al igual que en el ensayo de asentamiento se evidencia que el reemplazo de todas las dosificaciones de HGM, favoreció en la fluidez y trabajabilidad del concreto al ser comparadas con la muestra patrón. El mayor valor obtenido fue con 7% de HGM como reemplazo parcial del cemento obteniendo una medida de asentamiento de 71 cm.
- Para el ensayo de peso unitario, se evidencia claramente la tendencia a decrecer el peso unitario del concreto. Causado principalmente por que el HGM es el material con menor densidad de la mezcla (1.09 g/cm<sup>3</sup>). Los resultados del ensayo determinaron que todas las muestras se encuentran dentro de un rango de concreto de peso normal, sin embargo, la diferencia entre la muestra patrón y la dosificación que obtuvo la mayor reducción del peso unitario (7% de HGM como reemplazo parcial del cemento) es de 93.kg/m<sup>3</sup>.
- Con respecto al ensayo de temperatura, todas las muestras fueron sometidas a las mismas condiciones ambientales. Así que la variación entre estas mismas llega a ser mínimas en todos los casos. El promedio de temperatura de las muestras ronda los 27.6°C.
- En el ensayo de resistencia a la compresión, todas las muestras llegan a superar la resistencia solicitada que es de 350 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, las diferentes combinaciones de HGM no llegan a alcanzar la resistencia del patrón que es de 417.54 kg/cm<sup>2</sup>. El reemplazo de 5% de HGM obtuvo una resistencia de 410.14 kg/cm<sup>2</sup>, siendo un 1.77% menor que el patrón, valor bastante tolerable.
- Para el ensayo de resistencia a la tracción indirecta, se evidencia que el 5% de HGM tienen el mejor comportamiento entre todas las dosificaciones de HGM con un esfuerzo de 21.38 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo, no llegan a superar el patrón con una reducción del 27.23%. Esto supone un problema bastante importante ya que las muestras dosificadas

con HGM, tienen una tendencia mucho a mayor a fisurarse, lo que se traduce en una fragilidad al recibir esfuerzos de tensión.

- Referente al ensayo de módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson, la dosificación del 5% de HGM con un valor de 288,107.74 kg/cm<sup>2</sup> para su elasticidad y 0.285 de coeficiente de Poisson, fue quien tuvo un mejor comportamiento a comparación de las otras dosificaciones, sin embargo, no superaron la muestra patrón quien tuvo un valor de 292,830.64 kg/cm<sup>2</sup> para su elasticidad y 0.304 de coeficiente de Poisson, a pesar de que estos valores son bastantes cercanos, se puede concluir que las dosificaciones de HGM como reemplazo parcial de cemento, tienen a producir muestras de concreto con mayores deformaciones unitarias al aplicarse un esfuerzo determinado.
- El análisis económico demostró la factibilidad de producción de concreto usando HGM disminuyendo no tan significativamente los precios. Para la dosificación de 5% de HGM se obtuvo un precio de fabricación de S/. 600.58 por m<sup>3</sup> de CAC.

## Recomendaciones

- Se recomienda realizar un estudio de cantera que permita seleccionar el agregado más apropiado para este tipo de concreto especial. Las propiedades del agregado es un factor muy importante para aplicar el diseño de mezcla ACI 237 – R. La cantera que tenga el material más adecuado será la que abastezca a los ensayos proyectados.
- Utilizar microesferas de vidrio que sean normadas por el AASTHO, ya sea de Tipo I o Tipo II. Para que las propiedades del concreto no se vean afectados por factores e insumos indirectos.
- Se recomienda en futuras investigaciones, analizar la influencia de usar las microesferas de vidrio como reemplazo parcial del agregado fino, ya que comparten muchas propiedades en común, como su granulometría. Además, se evidencia que la densidad de HGM es menor a cualquier agregado fino, por lo que existiría una mayor reducción del peso del concreto.
- Se recomienda que se analice en futuros estudios, la capacidad aislante de temperatura que pueda tener la adición de HGM en un concreto en estado endurecido, ya que, en esta investigación, solo se consideró la medición de temperatura para la mezcla de concreto autocompactante y de esa forma verificar los requisitos de la norma.
- Se recomienda investigar la influencia que puedan tener las microesferas de vidrio junto con otro aditivo mineral en el CAC, con la finalidad de incrementar la resistencia al esfuerzo de tracción.
- Para la parte ambiental, se recomienda en futuras investigaciones, realizar un análisis de ciclo de vida y huella de carbono para la muestra patrón y muestras con dosificaciones de 2%, 5% y 7% de HGM como reemplazo parcial de cemento, lo que permitirá evaluar si existe una mejora sostenible para la producción de CAC con este nuevo insumo a comparación de un concreto convencional.

## Referencias

- [1] Ingeniería CA&CCA, “Retos para desarrollar la ingeniería civil sostenible”. Consultado: el 10 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.caycca.com/retos-desarrollar-ingenieria-civil-sostenible>
- [2] JOE NASVIK, “El ABC del concreto autocompactante”, *Construcción y Tecnología IMCYC*, vol. 1, pp. 50–55, mar. 2006.
- [3] BBC News Mundo, “La enorme fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizás no conocías”, <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783>. Consultado: el 10 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783>
- [4] D. E. Gonzales Zevallos y M. Saldaña Romero, “Evaluación del impacto ambiental de la empresa Cementos Pacasmayo S.A.A. en su área de influencia, del distrito de Pacasmayo”, Tesis de Titulación, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, 2020.
- [5] S. Gómez, “Efectos de la adición de microesferas huecas de vidrio hueca en concreto hidráulico”, Tesis de Titulación, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2019.
- [6] Ramirez Amando, Bustamante Antonio, Panamá Ivan, y Huerta Juan, “Concretos ligeros estructurales a base de microesferas de vidrio”, *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*, vol. 1, nov. 2010.
- [7] D. Oreshkin, V. Semenov, y T. Rozovskaya, “Properties of Light-weight Extruded Concrete with Hollow Glass Microspheres”, *Procedia Eng*, vol. 153, pp. 638–643, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.214.
- [8] S. Shahidan, E. Aminuddin, K. Mohd Noor, N. I. R. Ramzi Hannan, y N. A. Saiful Bahari, “Potential of Hollow Glass Microsphere as Cement Replacement for Lightweight Foam Concrete on Thermal Insulation Performance”, *MATEC Web of Conferences*, vol. 103, p. 01014, abr. 2017, doi: 10.1051/mateconf/201710301014.
- [9] N.R.M.C.A, “Concreto Autocompactante”, *Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado*, vol. 37, may 2010.
- [10] Castillo Flavio, *Tecnología del Concreto*, 3er Edición., vol. 1. Lima: Talleres Graficos Editorias San Marcos, 2004.
- [11] J. Niño, *Tecnología del concreto: materiales, propiedades y diseño de mezclas*, 3a ed., vol. 228. Bogotá: 2009, 2010.
- [12] BECOSAM - Concrete Floors Made Better, “Cemento Portland”, <https://www.becosan.com/es/cemento-portland/>.

- [13] Cemex, “Cemento Portland”, <https://www.cemex.com.pe/productos/cemento/uso-estructural>.
- [14] S. Gonzales, A. Landaverde, y C. Romero, “Concreto autocompactante: Propuesta para el diseño de mezcla. Beneficios técnicos y consideraciones basicas para su implementación en el Salvador”, Tesis para titulación, Universidad del Salvador, Ciudad Universitaria , 2005.
- [15] Z Aditivos, “Z Fluidizante SR - 1000”, 2020, *Chorillos*.
- [16] INDECOPI, “Agregado, análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global”, el 27 de junio de 2018, *INACAL, Lima*.
- [17] INDECOPI, “AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado”, el 21 de abril de 1999, *San Isidro*.
- [18] INDECOPI, “AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado”, el 16 de mayo de 2002, *San Borja, Lima*.
- [19] INDECOPI, “Agregado - Método de ensayo normalizado para el peso específico y absorción del agregado fino”, el 11 de mayo de 2002, *Cómite Técnico de Normalización de Agregado, Lima*.
- [20] INDECOPI, “Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso”, el 16 de mayo de 2002, *Cómite Técnico de Normalización de Agregado, Lima*.
- [21] INDECOPI, “Agregados. Agregado para el concreto. Requisitos”, el 30 de enero de 2018, *INACAL, Lima*.
- [22] Instituto americano del concreto, “Concreto autoconsolidante”, abril de 2007, *Country Club Drive, Estados Unidos*.
- [23] M. Bravo Sobrino, “Caracterización y utilización del hormigón autocompactable”, Tesina, Universidad de Barcelona, Barcelona, 2004.
- [24] Y. Arones, D. Castillo, G. Gutierrez, K. Huamani, y L. Muñico, “Peso unitario del concreto”, *Universidad Ricaldo Palma*, may 2021.
- [25] Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, “Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete”, el 16 de octubre de 2017, *Estados Unidos*.
- [26] E. Garrote Villar, “EL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA”, en *Normatividad y ensayos al concreto*, vol. 3, Catalunya: Universidad Politécnic de Catalunya, 2018, 2.

- [27] Univesidad Politécnica Selesiana, “ENSAYO – MÓDULO DE ELASTICIDAD Y COEFICIENTE DE POISSON”, Ecuador, jun. 2018.
- [28] F. G. ALMAGUER, “Análisis del uso de microesferas de vidrio en modelo de inyección”, *Centro de investigación en química aplicada*, vol. Saltillo, may 2011.
- [29] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “Adquisición de microesferas de vidrio para las actividades de mantenimiento de la carretera nacional ruta PE24, PE-3SZ, PE3S, tramo: Cañete – Lunahuana – Dv. Yauyos – Tomas – Ronchas – Chupaca – Huancayo – Dv. Pampas”, Huancayo, 2013.
- [30] Potters Ballotini Panamericana, “Microesferas Ballotini M 247 Tipo I”, el 17 de agosto de 2011, *Lima*.
- [31] R. Hernández, C. Fernández, y P. Baptista, “¿Cómo seleccionar una muestra?”, en *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*, Primera Edición., J. Pecina y Z. García, Eds., Colombia: McGRAW - HILL INTERAMERICANA DE MÉXICO, S.A. de C.V. , 1997, pp. 260–283.
- [32] P. Roldán y S. Fachelli, “METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN SOCIAL CUANTITATIVA”, 1er edición., vol. I, Universitat Autònoma de Barcelona, Ed., Barcelona, 2020, IV, pp. 19–42.
- [33] Carlos Eduardo Chero Sanchez, “Evaluación del concreto para elementos no estructurales empleando ceniza de bagazo de caña como material cementicio suplementario en el distrito de Pucalá, Chiclayo, Lambayeque”, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2023.
- [34] D. Rabanal y A. Su, “DISEÑO DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTABLE”, Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Señor de Sipan, Pimentel, 2017.
- [35] european federation for specialist construction chemicals and concrete systems, “Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete”, febrero de 2002, *West Street*.
- [36] S. A. Gómez Nemocón, J. M. Lizarazo Marriaga, y J. D. Puerto Suárez, “Rheological and hardened properties of self-compacting concrete using hollow glass microspheres as a partial replacement of cement”, *Constr Build Mater*, vol. 342, p. 128012, ago. 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128012.
- [37] E. Garay Curo y L. Sandoval Chapoñan, “Concreto Autocompactante y su influencia en el Diseño de Pavimentos Rígidos, Huaycán zona Z - Ate - Lima 2020”, Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2020.

**Anexos****ANEXO I: PANEL FOTOGRAFICO**

*Imagen 1: Proceso de zarandeo - ensayo de análisis granulométrico*



*Imagen 2: Taras con muestras del ensayo de granulometría para el agregado fino*





*Imagen 3: Peso unitario compactado - agregado grueso*



*Imagen 4: Peso unitario compactado - Agregado fino*



*Imagen 5: Proceso de compactación del agregado fino*



*Imagen 6: Tamizado por la malla N°4 - Ensayo de peso específico del agregado fino*



*Imagen 7: Prueba que determina visualmente la humedad del agregado fino*



*Imagen 8: Eliminación de aire atrapado - Fiola + Agua + muestra de arena*



*Imagen 9: Secado superficialmente de muestra de agregado grueso - ensayo para determinar el peso específico*



*Imagen 10: Muestra de agregado grueso superficialmente seca*



*Imagen 11: Muestra de agregado grueso sumergida sobre agua*





*Imagen 12: Peso de muestra de agregado fino - ensayo de % de humedad*



*Imagen 13: Ensayo de asentamiento - Cono de Abrams*



*Imagen 14: Ejecución del ensayo del cono de Abrams*



*Imagen 15: Toma de medidas del diámetro de escurrimiento*



*Imagen 16: Diámetro de escurrimiento - Slump*



*Imagen 17: Ensayo de resistencia a la compresión*





*Imagen 18: Ruptura y registro de resistencia a la compresión - Muestra Patrón 28 días de curado*



*Imagen 19: Esgurrimiento - Muestra Patrón*



*Imagen 20: Esgurrimiento muestra con 2% de HGM*



*Imagen 21: Escurrimiento - muestra con 5% de HGM*



*Imagen 22: Escurrimiento - Muestra con 7% de HGM*





*Imagen 23: Llenado de caja vertical - Ensayo de caja de paso L*



*Imagen 24: Abertura de compuerta - Ensayo de caja de paso L*



*Imagen 25: Toma de altura H1 - Caja horizontal - Ensayo de Caja de paso L*



*Imagen 26: Reposo de muestra de CAC en la caja de paso L*



*Imagen 28: Ejecución del ensayo de caja de Paso L*

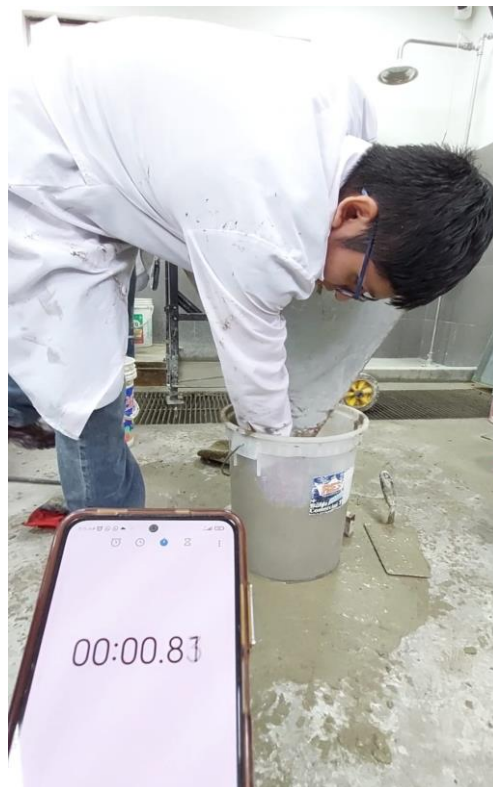


*Imagen 27: Toma de medida H2, Caja vertical - Ensayo de caja de paso L*





*Imagen 29: Ensayo del embudo V  
apertura de compuerta - Muestra  
patrón*



*Imagen 30: Ensayo del embudo V -  
Muestra al 2% de HGM*



*Imagen 31: Ensayo del embudo V -  
Muestra al 5% de HGM*



*Imagen 32: Ensayo del embudo V -  
Muestra al 7% de HGM*





*Imagen 33: Ejecución del ensayo del Anillo J*



*Imagen 34: Toma de medidas del diámetro de escurrimiento - Muestra con 7% de HGM*



*Imagen 35: Ensayo de Anillo J -  
Muestra con 5 de HGM*



*Imagen 36: Muestra con 2% de HGM -  
Ensayo del anillo J*



*Imagen 37: Ensayo de resistencia a la compresión - Muestra de 7% de HGM*



*Imagen 38: Falla de probeta cilíndrica - Muestra al 7% de HGM*





*Imagen 39: Ensayo de Tracción indirecta*



*Imagen 40: Falla de muestra cilíndrica por Tracción indirecta*



*Imagen 41: Deformaciones - Ensayo de módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson - Muestra Patrón*



*Imagen 42: Deformaciones - Ensayo de módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson - Muestra 2% de HGM*





*Imagen 43: Deformaciones - Ensayo de módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson - Muestra 5% de HGM*



*Imagen 44: Deformaciones - Ensayo de módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson - Muestra 7% de HGM*



*Imagen 45: Ejecución del ensayo del Módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson*



## ANEXO 2: FICHA TÉCNICA DE MICROESFERAS DE VIDRIO

**Especificación**

ES-MVDO-10

Rev.02 17/08/11

Página 1 de 1

**M 247 Tipo I**

## Especificación Producto

**Generalidades**

Descripción	Microesfera de Vidrio M 247 Tipo I
Tipo	Drop On
Aplicación	Highway Marking
Empaque	Saco de Polipropileno de 25 Kg.

**Especificaciones**

Requisito	Especificación	Método de Prueba
Esfericidad (%)	% 70 mínimo	MT-AC-05
Contenido de Silíce (%)	% 60 mínimo	MT-AC-13
Contenido de Plomo (ppm)	200 ppm máximo	MT-AC-06
Contenido de Arsénico (ppm)	75 ppm máximo	MT-AC-06
Índice de Refracción	1.50 - 1.51	MT-AC-09
Gravedad Especifica (gr./cm <sup>3</sup> )	2.3 - 2.6 gr./cm <sup>3</sup>	MT-AC-12
Flotación	Cumple	MT-AC-04
Resistencia a Agentes Químicos*	Cumple	MT-AC-10
Granulometría (%)	% Pasa	MT-AC-03
	US Std # 20	100
	US Std # 30	75 - 95
	US Std # 50	15 - 35
	US Std # 100	0 - 5
	Base	0

\* Agentes Químicos: Agua, Acido Clorhídrico, Sulfuro de Sodio y Cloruro de Calcio.

**Revisión y Aprobación**

Revisó  
Superintendente de Planta

Aprobó  
Gerente de Negocios

NOTA: La versión controlada de este documento se encuentra en el servidor de la compañía. La copia de este documento es válida sólo como referencia y para el día de su impresión, esta debe ser revisada contra la versión controlada para asegurar su vigencia.  
The controlled version of this document can be found on the company's server. Printed version are uncontrolled and are only valid on the day of printing.



## ANEXO 3: FICHA TÉCNICA DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE



EL MEJOR AMIGO DEL CONCRETO

Lima: Av. Los Héroes N° 675 Urb. La Campaña - Chorrillos  
Tel.: (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: [coltizacion@zaditivos.com.pe](mailto:coltizacion@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 - 998 268 456 | 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 Tito Condemayta 1032 - Wanchaq Tel. (084) 257 111 - 994 086 746

Arequipa: Calle Paucarpata 323A - Cercado Tel. (054) 203 388 - 994 044 894 | Trujillo: Av. América Sur 818 Urb. Palermo Tel. (044) 425 548 - 998 127 657



EL MEJOR AMIGO DEL CONCRETO

Lima: Av. Los Héroes N° 675 Urb. La Campaña - Chorrillos  
Telf.: (01) 2522058 Cel.: 988 128 514/ 998 330 130

Hoja Técnica - Edición 20 - Versión 03.20

#### Aplicación

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

Correo: cotizacionezaditivos.com.pe | ventas@zaditivos.com.pe | Página web : www.zaditivos.com.pe

Av. San Luis 3051 - San Borja Tel. (01) 715 5745 - 998 268 456 | 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 Tito Condemayta 1032 - Wanchaq Tel. (064) 257 111 - 994 065 746

Arequipa: Calle Paucarpata 323A - Cercado Tel. (054) 203 388 - 994 044 894 | Tujillo: Av. América Sur 818 Urb. Palermo Tel. (044) 425 548 - 998 127 657

## ANEXO 3: FICHAS DE ENSAYO DE LABORATORIO



**UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL**  
**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS**

INFORME N° LEM USAT 005-2023-II

FECHA: 31 de agosto 2023

## Validación de Ensayos de Laboratorio

ESTUDIANTE: MIGUEL ALONSO PISCOYA VELÁSQUEZ

TITULO DE LA TESIS: Evaluación técnico – económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante

El que suscribe, responsable del laboratorio de ingeniería Civil ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizado en 45 días por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

*Propiedades físicas del Agregado Fino y Agregado grueso*

- Granulometría
- Peso unitario
- Contenido de humedad
- Peso específico y absorción

*Propiedades mecánicas del concreto en estado fresco*

- Asentamiento
- Temperatura
- Peso unitario
- Embudo V
- Anillo J
- Caja de paso L

*Propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido*

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la tracción indirecta
- Módulo de elasticidad
- Coeficiente de Poisson

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto

*Rivadeneira Oblitas Henry*  
**TECNICO DE LABORATORIO**

*Rivadeneira Oblitas Henry*  
**Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental**







UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

**Tesista** : Miguel Alonso Piscoya Velásquez  
**Escuela** : Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación técnico - económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 11 de Enero del 2023

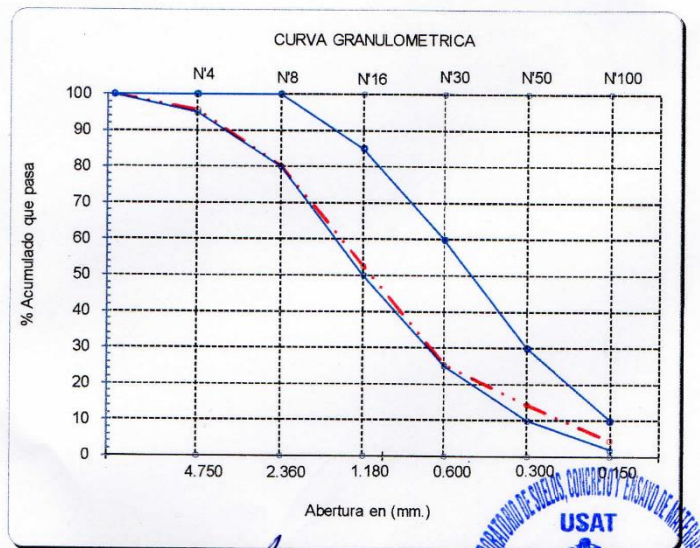
**Muestra A.F** : Cantera La Victoria-Pátapo.

**Ensayo** : Granulometría Arena  
**Norma** : N.T.P.400.012

**Peso seco** : 499.06 g

Malla		Peso Ret.	(% Ret.	(% Acum. Ret.	(% Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
(mm.)	Pulg.						
12.700	1/2"	0	0.0	0.0	100.0	100	100
9.500	3/8"	0	0.0	0.0	100.0	100	100
4.750	Nº 04	21.36	4.3	4.3	95.7	95	100
2.360	Nº 08	76.97	15.4	19.7	80.3	80	100
1.180	Nº 16	137.34	27.5	47.2	52.8	50	85
0.600	Nº 30	136.27	27.3	74.5	25.5	25	60
0.300	Nº 50	55.56	11.1	85.7	14.3	10	30
0.150	Nº 100	48.58	9.7	95.4	4.6	2	10
	Fondo	22.98	4.6	100.0	0.0		

- Modulo de Fineza 3.268  
 - Abertura de malla de referenci 9.500



Rivanderayo Oblitas Denis  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

**Tesista** : Miguel Alonso Piscocoya Velásquez  
**Escuela** : Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación técnico - económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 11 de Enero del 2023

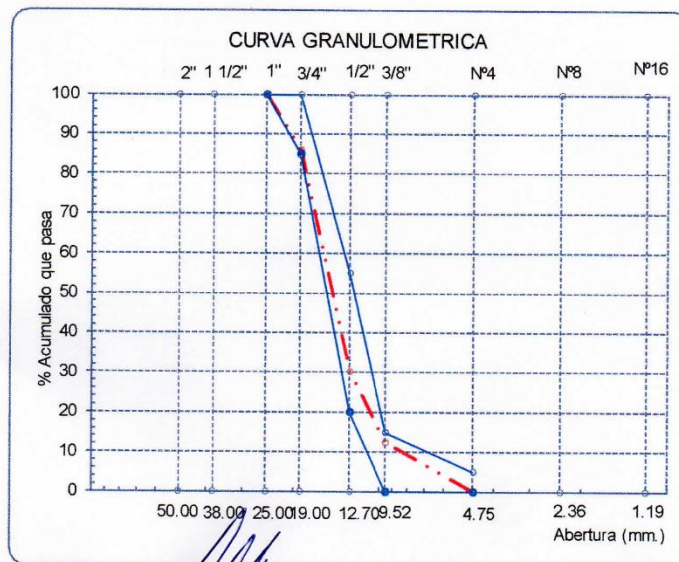
**Muestra A.G** : Cantera De Tres Tomas

**Ensayo** : Granulometría Grava  
**Norma** : N.T.P.400.012

**Peso seco** : 2017.00 g

Malla		Peso Ret.	(% Ret.	(% Acum. Ret.	(% Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
(mm.)	Pulg.						
38.00	1 1/2"	0	0.0	0.0	100.0	100	100
25.00	1"	0	0.0	0.0	100.0	100	100
19.00	3/4"	282.34	14.0	14.0	86.0	85	100
12.70	1/2"	1126.35	55.8	69.8	30.2	20	55
9.52	3/8"	355.05	17.6	87.4	12.6	0	15
4.75	Nº 04	250.9	12.4	99.9	0.1	0	5
2.36	Nº 08	1.01	0.1	99.9	0.1	0	0
1.19	Nº 16	0.54	0.0	100.0	0.0	0	0
	Fondo	0.81	0.0	100.0	0.0		

- Tamaño Maximo 1" 38.00  
 - Tamaño Maximo Nominal 3/4" 19.00



Rivadeneiro Vilmas Jenry  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

**Tesista** : Miguel Alonso Piscocoy Velásquez  
**Escuela** : Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación técnico - económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 11 de Enero del 2023


**Muestra** : Cantera La Victoria-Pátapo.  
 : Cantera De Tres Tomas  
**Ensayo** : Contenido de Humedad  
**Norma** : N.T.P.339.185

#### 1. Agregado Fino

- Peso de muestra húmeda	<b>518.08 g</b>
- Peso de muestra seca	<b>499.06 g</b>
- Peso de recipiente	0 g
- Contenido de humedad	3.81 %

#### 2. Agregado Grueso

- Peso de muestra húmeda	<b>1319.03 g</b>
- Peso de muestra seca	<b>1314.57 g</b>
- Peso de recipiente	0 g
- Contenido de humedad	0.34 %

  
 Rivaldo Neyra Obilitas Henry  
 TÉCNICO DE LABORATORIO







UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

**Tesista** : Miguel Alonso Piscoya Velásquez  
**Escuela** : Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación técnico - económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 11 de Enero del 2023

**Muestra A.F** : Cantera La Victoria-Pátapo.

**Ensayo** : Peso Unitario  
**Norma** : N.T.P.400.017

1. Peso Unitario Suelto

- Peso de la muestra suelta + recipiente	<b>8590 g</b>	<b>8570 g</b>
- Peso del recipiente	0 g	0 g
- Peso del material	8590 g	8570 g
- Constante ó Volumen	0.00548 m3	0.00548 m3
- Peso unitario suelto húmedo	1568 g	1564 g
- Peso unitario suelto seco (Promedio)	1508 g	

2. Peso Unitario Compactado

- Peso de la muestra suelta + recipiente	<b>9290 g</b>	<b>9270 g</b>
- Peso del recipiente	0 g	0 g
- Peso del material	9290 g	9270 g
- Constante ó Volumen	0.00548 m3	0.00548 m3
- Peso unitario compactado húmedo	1695 g	1692 g
- Peso unitario compactado seco (Promedio)	1631 g	

  
 Raimundo Jblitas Henry  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

**Tesista** : Miguel Alonso Piscocoya Velásquez  
**Escuela** : Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación técnico - económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

**Fecha de emisión** : Chiclayo, 11 de Enero del 2023

**Muestra A.G** : Cantera De Tres Tomas

**Ensayo** : Peso Unitario

**Norma** : N.T.P.400.017

#### 1. Peso Unitario Suelto

- Peso de la muestra suelta + recipiente	<b>7580 g</b>	<b>7590 g</b>
- Peso del recipiente	0 g	0 g
- Peso del material	7580 g	7590 g
- Constante ó Volumen	0.00548 m3	0.00548 m3
- Peso unitario suelto húmedo	1383 g	1385 g
- Peso unitario suelto seco (Promedio)	1379 g	

#### 2. Peso Unitario Compactado

- Peso de la muestra suelta + recipiente	<b>8600 g</b>	<b>8620 g</b>
- Peso del recipiente	0 g	0 g
- Peso del material	8600 g	8620 g
- Constante ó Volumen	0.00548 m3	0.00548 m3
- Peso unitario suelto húmedo	1569 g	1573 g
- Peso unitario suelto seco (Promedio)	1566 g	

  
 Rivaldo Henríquez Oblitas Henríquez  
 TÉCNICO DE LABORATORIO







UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

**Tesista** : Miguel Alonso Piscocoya Velásquez  
**Escuela** : Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación técnico - económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 11 de Enero del 2023

**Muestra A.F** : Cantera La Victoria-Pátapo.

**Ensayo** : Peso Especifico y Absorción  
**Norma** : N.T.P.400.021

Datos

- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	<b>944.97 g</b>	<b>944.97 g</b>
- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	<b>640.86 g</b>	<b>640.86 g</b>
- Peso del Agua	304.11 g	304.11 g
- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	636.91 g	636.91 g
- Peso del Frasco	<b>140.86 g</b>	<b>140.86 g</b>
- Peso de la Arena Secada al Horno	<b>496.05 g</b>	<b>496.05 g</b>
- Volumen del frasco	500 g	500 g

Resultados

- PESO ESPECIFICO DE MASA	2.532 g/cm <sup>3</sup>
- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	2.552 g/cm <sup>3</sup>
- PESO ESPESIFICO APARENTE	2.584 g/cm <sup>3</sup>
- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	0.80%

**Muestra A.G** : Cantera De Tres Tomas

**Ensayo** : Peso Especifico y Absorción  
**Norma** : N.T.P.400.022

Datos

- Peso de la muestra secada al horno	<b>1963.28 g</b>	<b>1963.28 g</b>
- Peso de la muestra superficialmente seca	<b>1990.38 g</b>	<b>1990.38 g</b>
- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	<b>2145.00 g</b>	<b>2145.00 g</b>
- Peso de la canastilla	<b>879.00 g</b>	<b>879.00 g</b>
- Peso de la muestra saturada dentro del agua	1266.00 g	1266.00 g

Resultados

- PESO ESPECIFICO DE MASA	2.710 g/cm <sup>3</sup>
- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	2.748 g/cm <sup>3</sup>
- PESO ESPESIFICO APARENTE	2.816 g/cm <sup>3</sup>
- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	1.38%

*Rivero de... Oblitas Henr...*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

**Tesista** : Miguel Alonso Piscocoy Velásquez  
**Escuela** : Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación técnico - económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 11 de Enero del 2023

**Diseño de Mezcla Concreto Autocompactante de 350 kg/cm<sup>2</sup>**

**Criterios de diseño norma ACI 237 - R**

- Relación w/finos (Volumen)	-
- Relación a/c (peso)	0.32 - 0.45
- Contenido total de finos (kg/m <sup>3</sup> )	386 - 485
- Agregado grueso (% de volumen)	28 - 32
- Agua	-
- Fracción en pasta (% en volumen)	34 - 40
- Fracción en mortero (% en volumen)	68 - 72
- Cantidad de cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	386 - 475

**Datos de agregados**

Muestra A.F : Cantera La Victoria-Pátapo.  
 Muestra A.G : Cantera De Tres Tomas

Descripción	Arena	Piedra
- Peso Unitario Suelto	1508 kg/m <sup>3</sup>	1379 kg/m <sup>3</sup>
- Peso unitario compactado	1631 kg/m <sup>3</sup>	1566 kg/m <sup>3</sup>
- Peso específico	2.532 gr/cm <sup>3</sup>	2.710 gr/cm <sup>3</sup>
- Módulo de fineza	3.268	-
- T.M.N	-	3/4"
- % Absorción	0.80%	1.38%
- % De Humedad	3.81%	0.34%

**Cálculo de la resistencia promedio de diseño requerida  $f'_{cr}$**

Para un:  $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$

$$f'_{cr} = 435 \text{ kg/cm}^2$$

Seguimos los lineamientos de la norma

Relacion a/c= 0.45

**Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso**

- Tipo	Piedra chancada
- TMN	3/4" (19mm)
- Procedencia	: Cantera La Victoria-Pátapo.

*Rivindereyra Oblitas Aenti*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

**Selección del escurrimiento (Slump)**

**Table 2.5—Slump flow targets (Daczko and Constantiner 2001)**

		Slump flow		
		<22 in. ( $<550$ mm)	22 to 26 in. (550 to 650 mm)	>26 in. ( $>650$ mm)
Member characteristics	Reinforcement level	Low		
		Medium		
		High		
	Element shape intricacy	Low		
		Medium		
		High		
	Element depth	Low		
		Medium		
		High		
	Surface finish importance	Low		
		Medium		
		High		
	Element length	Low		
		Medium		
		High		
	Wall thickness	Low		
		Medium		
		High		
Coarse aggregate content	Low			
	Medium			
	High			
Placement energy	Low			
	Medium			
	High			

Fuente: Norma ACI - 237 R - 07

Para fines del diseño de mezcla se escogió un Slump promedio de 600mm

Flujo de asentamiento = **600 mm**

**Selección del contenido del material cementicio**

**Table 4.1—Suggested powder content ranges**

	Slump flow of <22 in. ( $<550$ mm)	Slump flow of 22 to 26 in. (550 to 600 mm)	Slump flow of >26 in. ( $>650$ mm)
Powder content, lb/yd <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	600 to 650 (355 to 385)	650 to 750 (385 to 445)	750- (458+)

Fuente: Norma ACI - 237 R - 07

Para un asentamiento de : **600 mm**

Cantidad de cemento = **475 kg/m3**

Cantidad de bolsas = **11.2 Bolsas/m3**

**Cálculo del contenido de agua**

Para:

Relación a/c = **0.45**

Cantidad de cemento = **475 kg/m3**

Cantidad de agua = **213.75 L/m3**

**Cálculo del contenido de aditivos**

Aditivo superplastificante: Z Fluidizante SR-1000

**1.50%**

Aditivo por el peso del cemento = **7.13 kg/m3**



*[Handwritten Signature]*  
**Rivadeneira Soltas Jent**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

**Volumen de la pasta**

Descripción	Cantidad
- Cemento Portland Tipo I	0.152 m <sup>3</sup>
- Agua Potable	0.214 m <sup>3</sup>
- Aditivo 1	0.007 m <sup>3</sup>
- Total	0.372 m <sup>3</sup>

**Volumen del agregado**

Volumen del agregado en la mezcla = 0.628 m<sup>3</sup>

Descripción	Proporción	Vol. Total	Vol. Absoluto
- Agregado fino - Arena	60%	0.628 m <sup>3</sup>	0.377 m <sup>3</sup>
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	40%	0.628 m <sup>3</sup>	0.251 m <sup>3</sup>

**Proporción de agregados en la mezcla**

Material	Peso seco (Kg)	Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen unitario (m <sup>3</sup> )
- Cemento Tipo I	475.00	3130	0.152
- Agregado Fino - Arena	954.10	2532.288529	0.377
- Agregado grueso - Piedra Chancada de 3/4"	680.78	2710.290179	0.251
- Agua Potable	213.75	1000	0.214
- Aditivo 1- Z Fluidizante SR - 1000	7.13	1090	0.007
Total			1.00

**Corrección por humedad**

Áridos	% de humedad (A)	Peso seco (kg) (B)	Peso húmedo(kg) (1+A)x(B)
- Agregado fino - Arena	3.81%	954.10	990.462
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	0.34%	680.78	683.087

**Aporte de agua a la mezcla**

Áridos	%w - %abs (A)	Peso seco (kg) (B)	Aporte (L) (A)x(B)
- Agregado fino - Arena	3.01%	954.10	28.765
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	-1.04%	680.78	-7.087
Total			21.678

**Agua efectiva**

Agua efectiva = 192.07 L

*Rivendeyra Obiitas Henis*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

Valores corregidos

Material	Peso de diseño (Kg)	Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen unitario (m <sup>3</sup> )	Dosificación en peso (Kg)
- Cemento Tipo I	475.00	3130	0.152	1.000
- Agregado Fino - Arena	990.46	2532.29	0.391	2.085
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	683.09	2710.29	0.252	1.438
- Agua Potable	192.07	1000	0.192	0.404
- Aditivo 1-Z Fluidizante SR - 1000	7.13	1090	0.007	0.015

Dosificación en volumen de los materiales (pie<sup>3</sup>)

Material	Dosificación en peso (Kg) ... (1)	Contenido neto de cemento ... (2)	Volumen unitario (kg) (1)x(2)
- Cemento Tipo I	1.000	42.5	42.500
- Agregado Fino - Arena	2.085	42.5	88.620
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	1.438	42.5	61.118
- Agua Potable	0.404	42.5	17.185
- Aditivo 1-Z Fluidizante SR - 1000	0.015	42.5	0.638

Áridos	Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	% de humedad	Peso unitario suelto humedo (kg/m <sup>3</sup> )	Peso unitario suelto humedo (pie <sup>3</sup> )
- Agregado fino - Arena	1508.20	3.81%	1565.677	44.335
- Agregado grueso - Piedra Chancada 3/4"	1379.43	0.34%	1384.110	39.194

Volúmenes por bolsa de cemento

Cemento	Arena fina	Piedra	Agua	Aditivo 1
1.00	2.00	1.56	17.185	0.64

*Rivero Reyna Jolitas Henry*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO







UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

**Tesista** : Miguel Alonso Piscocoya Velásquez  
**Escuela** : Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 11 de Enero del 2023

**Ensayo** : Resistencia a la compresión

Descripción f'c = 350 kg/cm2	Fechas		Edad (Día)	Dia metr	Área (cm2)	Cargas		Porcen taje	Prome dio	Prome dio
	Vaciado	Ruptura				kg/cm2	kg/cm2			
Diseño de muestra patrón	25/05/2023	22/06/2023	3	15.3	183.85	36860	200.49	57%	197.55	56%
	25/05/2023	22/06/2023	3	15.3	183.85	35780	194.61	56%		
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	58350	317.37	91%	313.26	90%
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	57120	310.68	89%		
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	57310	311.71	89%	377.66	108%
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	66950	364.15	104%		
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	72600	394.88	113%		
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	68750	373.94	107%		
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	79470	432.25	123%	417.54	119%
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	75720	411.85	118%		
25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	75110	408.53	117%			
Diseño con un 2% de microesferas de vidrio	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	52540	285.77	82%	291.30	83%
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	54180	294.69	84%		
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	53950	293.44	84%	350.17	100%
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	61970	337.06	96%		
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	64850	352.73	101%	399.52	114%
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	66320	360.72	103%		
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	75910	412.88	118%		
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	71890	391.02	112%		
25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	72560	394.66	113%			
Diseño con un 5% de microesferas de vidrio	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	54570	296.81	85%	306.08	87%
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	57710	313.89	90%		
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	56540	307.53	88%	354.58	101%
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	62290	338.80	97%		
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	65570	356.64	102%	410.14	117%
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	67710	368.28	105%		
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	77700	422.62	121%		
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	75560	410.98	117%		
25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	72960	396.84	113%			
Diseño con un 7% de microesferas de vidrio	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	47800	259.99	74%	244.38	70%
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	45190	245.79	70%		
	29/05/2023	5/06/2023	7	15.3	183.85	41800	227.35	65%	318.70	91%
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	59290	322.48	92%		
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	58910	320.42	92%	362.52	104%
	6/05/2023	20/05/2023	14	15.3	183.85	57580	313.18	89%		
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	68230	371.11	106%		
	25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	65300	355.17	101%		
25/05/2023	22/06/2023	28	15.3	183.85	66420	361.27	103%			

*[Firma]*  
 Ronaldenegro Oblitas Ferris  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

Tesista : Miguel Alonso Piscoya Velásquez  
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Evaluación técnico - económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 11 de Enero del 2023

Ensayo : Resistencia a la tracción indirecta

Descripción	Edad (días)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Resistencia a la tracción		Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
					Kgf	Kg/cm <sup>2</sup>	
Diseño de muestra patrón	28	350	30.2	15.3	24650	33.96	30.56
	28	350	30.2	15.3	21950	30.24	
	28	350	30.2	15.3	19950	27.49	
Diseño con un 2% de microesferas de vidrio	28	350	30.2	15.3	15520	21.38	21.38
	28	350	30.2	15.3	15570	21.45	
	28	350	30.2	15.3	15470	21.31	
Diseño con un 5% de microesferas de vidrio	28	350	30.2	15.3	16430	22.64	22.24
	28	350	30.2	15.3	15900	21.91	
	28	350	30.2	15.3	16100	22.18	
Diseño con un 7% de microesferas de vidrio	28	350	30.2	15.3	14910	20.54	19.85
	28	350	30.2	15.3	15010	20.68	
	28	350	30.2	15.3	13310	18.34	

*[Handwritten Signature]*  
 RUI GENEVRA JOLITAS HENRY  
 TÉCNICO DE LABORATORIO







UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

**Tesista** : Miguel Alonso Piscocya Velásquez  
**Escuela** : Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación técnico - económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 11 de Enero del 2023

**Ensayo** : Ensayo de asentamiento (Slump) y tiempo T50

Muestra	Slump 1	Slump 2	Slum Promedio
Patrón	64 cm	63 cm	63.5 cm
2% de microesferas de vidrio	67 cm	68 cm	67.5 cm
5% de microesferas de vidrio	65 cm	66 cm	65.5 cm
7% de microesferas de vidrio	69 cm	70 cm	69.5 cm

Muestra	T50
Patrón	9.10 s
2% de microesferas de vidrio	8.50 s
5% de microesferas de vidrio	8.30 s
7% de microesferas de vidrio	7.90 s

*Rivandeyra Jblitas Henry*  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

**Tesista** : Miguel Alonso Piscocoy Velásquez  
**Escuela** : Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación técnico - económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 11 de Enero del 2023

**Ensayo** : Ensayo de caja de paso L

Medida (mm)	Altura X1 (Caja vertical)	Altura X2 (Caja Horizontal)	Altura de caja vertical	Altura de caja horizontal	H1 (mm)	H2 (mm)	Relación H2/H1	Promedio
M. Patrón	510 mm	85 mm	600 mm	155 mm	90 mm	70 mm	0.78	0.79
	508 mm	81 mm	600 mm	155 mm	92 mm	74 mm	0.80	
	504 mm	79 mm	600 mm	155 mm	96 mm	76 mm	0.79	

Medida (mm)	Altura X1 (Caja vertical)	Altura X2 (Caja Horizontal)	Altura de caja vertical	Altura de caja horizontal	H1 (mm)	H2 (mm)	Relación H2/H1	Promedio
2% Microesferas de vidrio	508 mm	69 mm	600 mm	155 mm	92 mm	86 mm	0.93	0.85
	505 mm	73 mm	600 mm	155 mm	95 mm	82 mm	0.86	
	493 mm	74 mm	600 mm	155 mm	107 mm	81 mm	0.76	

Medida (mm)	Altura X1 (Caja vertical)	Altura X2 (Caja Horizontal)	Altura de caja vertical	Altura de caja horizontal	H1 (mm)	H2 (mm)	Relación H2/H1	Promedio
Muestra de CAC 5% Microesferas de vidrio	510 mm	69 mm	600 mm	155 mm	90 mm	86 mm	0.96	0.88
	500 mm	67 mm	600 mm	155 mm	100 mm	88 mm	0.88	
	498 mm	74 mm	600 mm	155 mm	102 mm	81 mm	0.79	

Medida (mm)	Altura X1 (Caja vertical)	Altura X2 (Caja Horizontal)	Altura de caja vertical	Altura de caja horizontal	H1 (mm)	H2 (mm)	Relación H2/H1	Promedio
7% Microesferas de vidrio	508 mm	80 mm	600 mm	155 mm	92 mm	75 mm	0.82	0.83
	498 mm	70 mm	600 mm	155 mm	102 mm	85 mm	0.83	
	504 mm	75 mm	600 mm	155 mm	96 mm	80 mm	0.83	

*[Firma]*  
 Ryszard Henryk Jblitas Henryk  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

**Tesista** : Miguel Alonso Piscocya Velásquez  
**Escuela** : Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación técnico - económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 11 de Enero del 2023

**Ensayo** : Ensayo de embudo V y Anillo J

**Anillo J**

Muestra	Diametro 1	Diametro 2	Diametro Promedio
Patrón	64 cm	65 cm	64.5 cm
2% de microesferas de vidrio	67 cm	69 cm	68.0 cm
5% de microesferas de vidrio	69 cm	72 cm	70.5 cm
7% de microesferas de vidrio	70 cm	72 cm	71.0 cm

Muestra	H1 interna	H2 externa	Relacion H2/H1
Patrón	10.10 cm	9.50 cm	0.94
2% de microesferas de vidrio	10.20 cm	9.80 cm	0.96
5% de microesferas de vidrio	10.40 cm	10.80 cm	1.04
7% de microesferas de vidrio	10.10 cm	9.80 cm	0.97

**Embudo V**

Muestra de CAC	Tiempo (s)
M. Patrón	11.35 s
2% Microesferas de vidrio	10.51 s
5% Microesferas de vidrio	10.02 s
7% Microesferas de vidrio	9.87 s

  
 Rivaldo Obilias Anco,  
 TÉCNICO DE LABORATORIO







UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

**Tesista** : Miguel Alonso Piscoya Velásquez  
**Escuela** : Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación técnico - económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 11 de Enero del 2023

**Ensayo** : Peso unitario del concreto

Muestra	Peso del molde (g)	Molde + Muestra (g)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )
M. Patrón	350	13320	30.2	15.3	0.0056	2398.97
2% Microesferas de vidrio	350	13180	30.2	15.3	0.0056	2373.75
5% Microesferas de vidrio	350	12915	30.2	15.3	0.0056	2326.03
7% Microesferas de vidrio	350	12802	30.2	15.3	0.0056	2305.68

  
 Rivaldo Héniz  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES – CHICLAYO  
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

**Tesista** : Miguel Alonso Piscoya Velásquez  
**Escuela** : Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación técnico - económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 11 de Enero del 2023  
**Ensayo** : Temperatura del concreto

Muestra	Temperatura promedio °C
Muestra Patrón	27.5 °C
Muestra con 2% de microesferas de vidrio	27.5 °C
Muestra con 5% de microesferas de vidrio	27.3 °C
Muestra con 7% de microesferas de vidrio	28.0 °C

  
 Rina Mercedes Oblitas Arriola  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





Prolongación Bolognesi Km. 3.5  
Chiclayo – Lambayeque  
R.U.C. 20480781334  
Email: lemswyceirl@gmail.com

## CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA EL RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Chiclayo, 26 de octubre del 2023

Quien suscribe:

**Sr. Wilson Arturo Olaya Aguilar**

**Representante Legal – LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS  
W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L.**

**AUTORIZA:** Permiso para recojo de información pertinente en función del proyecto de investigación, denominado “Evaluación técnico-económica de la incorporación de la microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante”.


Por el presente, el que suscribe, Wilson Arturo Olaya Aguilar representante legal de la empresa LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L. **AUTORIZO** al estudiante Miguel Alonso Piscocya Velásquez identificado con DNI N° 72486443 estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Ambiental de la UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO y autor del trabajo de investigación denominado “Evaluación técnico-económica de la incorporación de la microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante” para el uso de laboratorio técnico y formatos de procesamiento de datos y cálculo para obtención de resultados de control de calidad en efectos exclusivamente académicos de la elaboración de tesis, enunciada líneas arriba de quien solicita se garantice la absoluta confidencialidad de la información solicitada.

Ensayos realizados:

- Método Estándar de Módulo de Elasticidad Estático - ASTM C-469 (8)
- Método Estándar de Relación de Poisson - ASTM C-469 (8)

Atentamente.


**LEMS W&C EIRL.**  
**WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR**  
 GERENTE GENERAL

  
**Rivadeneiro Jhitas Henry**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

  
**USAT**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





Certificado INDECOPI N°00137704 RNP Servicios 9090559

Prolongación Bolognesi Km. 3.5  
Chiclayo - Lambayeque  
R.U.C. 20480781334  
Email: lemswyceir@gmail.com

Solicitud de Ensayo: **2310A-23/ LEMS W&C**  
 Tesista: Miguel Alonso Piscocya Velásquez  
 Título de la tesis: Evaluación técnico - económica de la incorporación de microesferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante  
 Ubicación: Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque  
 Fecha de Apertura: Lunes, 23 de octubre del 2023.  
 Inicio de Ensayo: Lunes, 23 de octubre del 2023.  
 Fin de Ensayo: Lunes, 23 de octubre del 2023.  
 Ensayo: (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión).  
 Referencia: ASTM C-496

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	EDAD	$\sigma_u$	Esfuerzo S2	$\epsilon$ unitaria	$\epsilon$ unitaria	$\epsilon$ unitaria	v	Promedio v
				(DIAS)	(Kg/cm2)	(40% $\sigma_u$ ) Kg/cm2	Longitudinal (S2)	Transversal (0.40 $\Delta$ Max)	Transversal ( $\Delta$ 0.000050)		
01	PC - f'c= 350 kg/cm2	22/09/2023	20/10/2023	28	365.15	146.06	0.000494868	0.000157627	0.000018	0.3136	0.304
02	PC - f'c= 350 kg/cm2	22/09/2023	20/10/2023	28	371.78	148.713	0.000471325	0.000144335	0.000020	0.2953	
03	PC - f'c= 350 kg/cm2 + 2%HGM	22/09/2023	20/10/2023	28	348.17	139.27	0.00049662	0.00016115	0.000018	0.3202	0.304
04	PC - f'c= 350 kg/cm2 + 2%HGM	22/09/2023	20/10/2023	28	338.96	135.58	0.00048819	0.000144331	0.000018	0.288	
05	PC - f'c= 350 kg/cm2 + 5%HGM	22/09/2023	20/10/2023	28	359.73	143.89	0.00049662	0.000157619	0.000018	0.3123	0.285
06	PC - f'c= 350 kg/cm2 + 5%HGM	22/09/2023	20/10/2023	28	365.98	146.39	0.00049485	0.000123978	0.000009	0.2583	
07	PC - f'c= 350 kg/cm2 + 7%HGM	22/09/2023	20/10/2023	28	330.83	132.33	0.000496642	0.00011422	0.000009	0.2354	0.213
08	PC - f'c= 350 kg/cm2 + 7%HGM	22/09/2023	20/10/2023	28	339.21	135.69	0.000494847	9.38651E-05	0.000009	0.1906	

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

  
**LEMS W&C EIRL.**  
 WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR  
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

  
**LEMS W&C EIRL.**  
 MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 246994

  
 Rivaldo Henry Obitas Henry  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

  
 USAT  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES  
 TÉCNICO DE LABORATORIO



Solicitud de Ensayo : 2310A-23/ LEMS W&C  
 Solicitante : Miguel Alonso Piscocoya Velásquez  
 Proyecto / Obra : Evaluación técnico – económica de la incorporación de microsferas de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante  
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque  
 Fecha de Apertura : Lunes, 23 de octubre del 2023.  
 Inicio de Ensayo : Lunes, 23 de octubre del 2023.  
 Fin de Ensayo : Lunes, 23 de octubre del 2023.  
 Ensayo : STANDARD TEST METHOD FOR STATIC MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO OF CONCRETE IN COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión).  
 Referencia : ASTM C-469

IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	$\sigma_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo S2 (40% $\sigma_u$ ) Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm <sup>2</sup>	$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S <sub>2</sub> )	E <sub>c</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio E <sub>c</sub> Kg/cm <sup>2</sup>
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup>	22/09/2023	20/10/2023	28	365.15	146	18.13326	0.000499	285218	292830.64
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup>	22/09/2023	20/10/2023	28	366.91	147	20.11032	0.000472	300443	
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup> + 2%HGM	22/09/2023	20/10/2023	28	352.83	141	17.57898	0.000495	277580	275027.89
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup> + 2%HGM	22/09/2023	20/10/2023	28	338.96	136	17.00200	0.000485	272476	
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup> + 5%HGM	22/09/2023	20/10/2023	28	359.73	144	18.22145	0.000487	287570	288107.74
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup> + 5%HGM	22/09/2023	20/10/2023	28	365.98	146	18.35475	0.000494	288646	
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup> + 7%HGM	22/09/2023	20/10/2023	28	330.83	132	18.07302	0.000473	270036	279534.18
PC - f'c= 350 kg/cm <sup>2</sup> + 7%HGM	22/09/2023	20/10/2023	28	339.21	136	18.65402	0.000455	289032	

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.




**LEMS W&C EIRL.**  
 WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR  
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS




**LEMS W&C EIRL.**  
 MIGUEL ÁNGEL RUIZ PERALES  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 246904



Rivaldo Obliatas Henríquez  
 TÉCNICO DE LABORATORIO




**USAT**  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE CONCRETO Y CEMENTO DE MATERIALES  
 TÉCNICO DE LABORATORIO





# PERUTEST S.A.C.

VENTA Y FABRICACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO  
SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FÍSICA - QUÍMICA

RUC N° 20602182721

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LP - 064 - 2023

Área de Metrología  
Laboratorio de Presión

Página 1 de 2

1. Expediente	2605-2023	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C.E.I.R.L. - LEMS W & C.E.I.R.L.	
3. Dirección	CALLA FE NRO. 0167 UPIS SEÑOR DE LOS MILAGROS LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO	
4. Instrumento de Medición	MANOMETRO	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
Alcance de indicación	0 PSI a 150 PSI	
División de Escala / Resolución	5 PSI	
Marca	NO INDICA	
Modelo	NO INDICA	PERUTEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Número de Serie	NO INDICA	
Procedencia	NO INDICA	
Identificación	LP-064	
Tipo	ANALOGICO	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
5. Fecha de Calibración	2023-05-16	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2023-05-16

Jefe del Laboratorio de Metrología

JOSE ALEJANDRO FLORES MINAYA

Sello

Rivadeneira Jhonas Henry  
TÉCNICO DE LABORATORIO



☎ 913 028 621 / 913 028 622  
☎ 913 028 623 / 913 028 624  
🌐 www.perutest.com.pe

📍 Av. Chillon Lote 50B Comas - Lima - Lima  
✉ ventas@perutest.com.pe  
🏢 PERUTEST SAC





# PERUTEST S.A.C.

VENTA Y FABRICACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO  
SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FÍSICA - QUÍMICA

RUC N° 20602182721

Área de Metrología  
Laboratorio de Presión

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LP - 064 - 2023

Página 2 de 2

### 6. Método de Calibración

La calibración se realizó por la comparación directa según el ME-003 "Procedimiento para la calibración de manómetros, vacuómetros y manovacuumetros" Edición digital 1 - CEM de España.

### 7. Lugar de calibración

Laboratorio de Presión de PERUTEST S.A.C.  
Avenida Chillón Lote 50B - Comas - Lima - Lima

### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	21.5 °C	21.5 °C
Humedad Relativa	53 % HR	53 % HR

### 9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración
INACAL	Manómetro Digital con Incertidumbre 0.15	LFP-018-2023
METROIL	TERMOHIGROMETRO DIGITAL BOECO	1AT-1704-2022

### 10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.

### 11. Resultados de Medición

En la siguiente tabla se presentan la serie de los resultados obtenidos

Indicación A Calibrar (psi)	Indicación Manómetro Patrón		Error			
	Ascendente (psi)	Descendente (psi)	de Indicación		de Histeresis (psi)	
			Ascendente (psi)	Descendente (psi)		
50	50.0	50.0	0.0	0.0	0.00	
100	100.1	100.3	0.1	0.3	0.20	
150	150.2	150.7	0.2	0.7	0.50	
200	200.8	200.9	0.8	0.9	0.10	
250	250.9	250.8	0.9	0.8	-0.10	
300	301.3	301.3	1.3	1.3	0.00	

Riverson Henry J. J. J.  
TÉCNICO DE LABORATORIO



☎ 913 028 621 / 913 028 622

☎ 913 028 623 / 913 028 624

🌐 www.perutest.com.pe

📍 Av. Chillón Lote 50B - Comas - Lima - Lima

✉ ventas@perutest.com.pe

📄 PERUTEST SAC





# PERUTEST S.A.C.

VENTA Y FABRICACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO  
SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FÍSICA - QUÍMICA

RUC N° 20602182721

Área de Metrología  
Laboratorio de Presión

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LP - 062 - 2023

Página 1 de 2

1. Expediente	2605-2023	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C.E.I.R.L. - LEMS W & C.E.I.R.L.	
3. Dirección	CAL.LA FE NRO. 0167 UPIS SEÑOR DE LOS MILAGROS LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO	
4. Instrumento de Medición	MANOMETRO	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
Alcance de indicación	0 PSI a 150 PSI	
División de Escala / Resolución	5 PSI	
Marca	NO INDICA	
Modelo	NO INDICA	PERUTEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aqui declarados.
Número de Serie	NO INDICA	
Procedencia	NO INDICA	
Identificación	LP-062	
Tipo	ANALOGICO	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
5. Fecha de Calibración	2023-05-16	

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión


Jefe del Laboratorio de Metrología

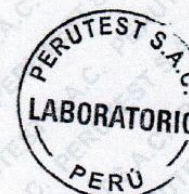
Sello

2023-05-16

  
JOSE ALEJANDRO FLORES MINAYA



  
Ripollmeyra Jblitas Henry  
TECNICO DE LABORATORIO



☎ 913 028 621 / 913 028 622  
☎ 913 028 623 / 913 028 624  
🌐 www.perutest.com.pe

📍 Av. Chillon Lote 50B - Comas - Lima - Lima  
✉ ventas@perutest.com.pe  
🏢 PERUTEST SAC





# PERUTEST S.A.C.

VENTA Y FABRICACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO  
SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FÍSICA - QUÍMICA

RUC N° 20602182721

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LP - 062 - 2023

Área de Metrología  
Laboratorio de Presión

Página 2 de 2

### 6. Método de Calibración

La calibración se realizó por la comparación directa según el ME-003 "Procedimiento para la calibración de manómetros, vacuómetros y manovacuumetros" Edición digital 1 - CEM de España.

### 7. Lugar de calibración

Laboratorio de Presión de PERUTEST S.A.C.  
Avenida Chillon Lote 50B - Comas - Lima - Lima

### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	21.5 °C	21.5 °C
Humedad Relativa	53 % HR	53 % HR

### 9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración
INACAL	Manómetro Digital con Incertidumbre 0.15	LFP-018-2023
METROIL	TERMOHIGROMETRO DIGITAL BOECO	1AT-1704-2022

### 10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.

### 11. Resultados de Medición

En la siguiente tabla se presentan la serie de los resultados obtenidos

Indicación A Calibrar (psi)	Indicación Manómetro Patrón		Error		
			de Indicación		de Histeresis (psi)
	Ascendente (psi)	Descendente (psi)	Ascendente (psi)	Descendente (psi)	
50	50.0	50.0	0.0	0.0	0.00
100	100.1	100.3	0.1	0.3	0.20
150	150.2	150.7	0.2	0.7	0.50
200	200.8	200.9	0.8	0.9	0.10
250	250.9	250.8	0.9	0.8	-0.10
300	301.3	301.3	1.3	1.3	0.00

Rivindreyro Jbítas Henry  
TÉCNICO DE LABORATORIO



☎ 913 028 621 / 913 028 622

☎ 913 028 623 / 913 028 624

🌐 www.perutest.com.pe

📍 Av. Chillon Lote 50B - Comas - Lima - Lima

✉ ventas@perutest.com.pe

🏠 TÉCNICO DE LABORATORIO  
PERUTEST SAC





# PERUTEST S.A.C.

VENTA Y FABRICACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO  
SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FÍSICA - QUÍMICA

RUC N° 20602182721

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LF - 0104 - 2023

Área de Metrología  
Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

1. Expediente	4686-2023	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W &amp; C E.I.R.L. - LEMS W &amp; C E.I.R.L.</b>	
3. Dirección	CAL.LA FE NRO. 0167 UPIS SEÑOR DE LOS MILAGROS LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO	
4. Equipo	<b>PRENSA DE CONCRETO</b>	
Capacidad	2000 kN	
Marca	A Y A INSTRUMENT	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
Modelo	STYE-2000B	
Número de Serie	131214	
Procedencia	CHINA	
Identificación	NO INDICA	
Indicación	DIGITAL	
Marca	MC	
Modelo	STYLE-2000B	
Número de Serie	131214	
Resolución	0.01 / 0.1 kN (*)	
Ubicación	NO INDICA	PERUTEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
5. Fecha de Calibración	2023-09-02	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
		El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2023-09-02

Jefe del Laboratorio de Metrología

JOSE ALEJANDRO FLORES MINAYA

Sello

Rivadeneiro Mitas Henry  
TÉCNICO DE LABORATORIO



☎ 913 028 621 / 913 028 622  
☎ 913 028 623 / 913 028 624  
🌐 www.perutest.com.pe

📍 Av. Chillon Lote 50B - Comas - Lima - Lima  
✉ ventas@perutest.com.pe  
🏢 TÉCNICO PERUTEST S.A.C.





# PERUTEST S.A.C.

VENTA Y FABRICACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO  
SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FÍSICA - QUÍMICA

RUC N° 20602182721

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LF - 0104 - 2023

Área de Metrología  
Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 3

### 6. Método de Calibración

La calibración se realiza por comparación directa entre el valor de fuerza indicada en el dispositivo indicador de la máquina a ser calibrada y la indicación de fuerza real tomada del instrumento de medición de fuerza patrón siguiendo la PC-032 "Procedimiento para la calibración de máquinas de ensayos uniaxiales" Edición 01 de INACAL - DM

### 7. Lugar de calibración

En el laboratorio del cliente  
Laboratorio de Materiales de LEMS W & C E.I.R.L.

### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	26.0 °C	26.0 °C
Humedad Relativa	58 % HR	58 % HR

### 9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en PUCP - Laboratorio de estructuras antisísmicas	Celda de Carga Capacidad: 150,000 kg.f	INF-LE N° 093-23 (B)
ELICROM	TERMOHIGROMETRO DIGITAL BOECO	CCP-0102-001-23

### 10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de  $\pm 2,0$  °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 2.0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.

Rivindreyto Abitias Henry  
TÉCNICO DE LABORATORIO



☎ 913 028 621 / 913 028 622  
☎ 913 028 623 / 913 028 624  
🌐 www.perutest.com.pe

📍 Av. Chillón Lote 30B - Comas - Lima - Lima  
✉ ventas@perutest.com.pe  
📌 PERUTEST SAC





# PERUTEST S.A.C.

VENTA Y FABRICACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO  
SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FÍSICA - QUÍMICA

RUC N° 20602182721

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LF - 0104 - 2023

Área de Metrología  
Laboratorio de Fuerza

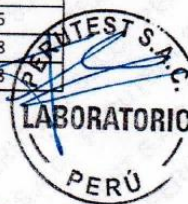
Página 3 de 3

### 11. Resultados de Medición

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia			
%	$F_i$ (kN)	$F_1$ (kN)	$F_2$ (kN)	$F_3$ (kN)	$F_{promedio}$ (kN)
10	100	100.8	101.1	100.9	101.0
20	200	201.0	201.4	201.1	201.3
30	300	301.6	301.6	301.5	301.5
40	400	400.8	400.8	400.7	400.8
50	500	501.7	500.7	501.6	501.2
60	600	600.5	600.0	600.4	600.2
70	700	700.7	700.7	700.5	700.7
80	800	799.6	790.9	799.3	795.2
90	900	899.8	900.5	899.6	900.1
100	1000	1001.6	1000.3	1001.3	1000.8
Retorno a Cero		0.0	0.0	0.0	

Indicación del Equipo F (kN)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre U (k=2) (%)
	Exactitud q (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Resol. Relativa a (%)	
100	-0.97	0.29	0.00	0.10	0.60
200	-0.62	0.19	0.00	0.05	0.58
300	-0.51	0.03	0.00	0.03	0.58
400	-0.20	0.04	0.00	0.03	0.58
500	-0.23	0.21	0.00	0.02	0.59
600	-0.04	0.07	0.00	0.02	0.58
700	-0.09	0.03	0.00	0.01	0.57
800	0.60	1.10	0.00	0.01	0.85
900	-0.01	0.11	0.00	0.01	0.58
1000	-0.08	0.13	0.00	0.01	0.58

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO ( $f_0$ )	0.00 %
---	--------



### 12. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$ , el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Rivadeneyra Jhonas Henry  
TÉCNICO DE LABORATORIO



☎ 913 028 621 / 913 028 622  
☎ 913 028 623 / 913 028 624  
🌐 www.perutest.com.pe

📍 Av. Chillón Lote 50B - Comas - Lima - Lima  
✉ ventas@perutest.com.pe  
🏢 PERUTEST SAC