

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



**Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos**

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

**AUTOR**

**Marcos Luis Chuquilin Vergara**

**ASESOR**

**Hector Augusto Gamarra Uceda**

<https://orcid.org/0000-0002-3653-1394>

**Chiclayo, 2024**

**Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y  
gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos**

PRESENTADA POR  
**Marcos Luis Chuquilin Vergara**

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

**INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

APROBADA POR

Cesar Eduardo Cachay Lazo  
PRESIDENTE

Angel Alberto Lorren Palomino  
SECRETARIO

Hector Augusto Gamarra Uceda  
VOCAL

## **Dedicatoria**

Al TODOPODEROSO, cediéndome sabiduría como fortaleza en vencer las adversidades, por las grandes lecciones de vida, que han hecho de mí una mejor persona.

A mis padres y a mi hermano, por sus sabios consejos y por enseñarme con ejemplo de superación, que todo se puede lograr con mucha dedicación y voluntad.

A mi hijo Christopher Marcos, por llenar mi vida de alegría, por ser el tesoro más grande que DIOS ha podido darme, por ser mi compañerito de vida.

## **Agradecimientos**

A JESUCRISTO, al concederme existencia como la valiosa pertinencia para culminar esta etapa académica.

A mi familia, por incondicionalmente apoyarme y ser el soporte moral e impulsarme a seguir adelante. A mi hijo Christopher Marcos, por ser mi luz, mi motor y motivo.

A mi mentor, por su dedicación de haberme transmitido los conocimientos necesarios para el desarrollo de mi investigación.

## TESIS

---

### INFORME DE ORIGINALIDAD

---

**3**%

INDICE DE SIMILITUD

**3**%

FUENTES DE INTERNET

**0**%

PUBLICACIONES

**2**%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

---

### FUENTES PRIMARIAS

---

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>2</b>	<b>Submitted to Ajou University Graduate School</b> Trabajo del estudiante	<b>1</b> %
<b>3</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>4</b>	<b>alicia.concytec.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>5</b>	<b>repositorio.unap.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>6</b>	<b>dokumen.tips</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>7</b>	<b>renati.sunedu.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>8</b>	<b>repositorio.unsaac.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>9</b>	<b>cybertesis.uni.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %

---

## Índice

<b>Resumen</b> .....	15
<b>Abstract</b> .....	16
<b>Introducción</b> .....	17
<b>Revisión de literatura</b> .....	30
Antecedentes .....	30
Bases teóricas científicas .....	32
<b>Materiales y métodos</b> .....	38
Tipo y nivel de investigación .....	38
Diseño de investigación .....	42
Población, muestra, muestreo .....	42
Población .....	42
Muestra .....	44
Muestreo .....	46
Criterios de selección .....	46
Operacionalización de variables .....	47
Variable dependiente .....	47
Variables independientes .....	47
Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	48
Técnicas .....	48
Instrumentos .....	49
Procedimientos .....	51
Matriz de consistencia .....	53
Consideraciones éticas .....	54
<b>Resultados</b> .....	55
Ensayos químicos .....	55
Estructuración química .....	55
En ceniza madera roble .....	55
En gránulos de silicio .....	57
Potencial de hidrógeno .....	58

Sustitución del CPTI al 20% por adición combinada (1 <sup>era</sup> adición) con agregados....	58
Sustitución del CPTI al 20% por adición combinada (2 <sup>da</sup> adición) con agregados ....	58
Sustitución del CPTI al 20% por adición combinada (3 <sup>era</sup> adición) con agregados ...	58
Ensayos físicos .....	60
Agregado fino .....	61
Agregado grueso .....	68
Ceniza de madera roble.....	75
Gránulos de silicio .....	79
Diseños de mezclas por resistencia y durabilidad (método ACI - 211) .....	82
Relaciones agua/cemento y factores cemento convencional y experimental .....	100
Cantidades totales para producción de concreto convencional y experimental .....	101
Peso unitario .....	102
Evaluación en estado fresco .....	102
Consistencia y asentamiento.....	102
Apariencia y trabajabilidad .....	104
Densidad .....	104
Evaluación del concreto en estado endurecido.....	110
Densidad .....	110
Rotura por compresión.....	116
Evaluación indirecta de la durabilidad del concreto.....	124
Prueba de desgaste por abrasión .....	124
Prueba a fuego .....	129
Análisis de viabilidad .....	136
Influencia técnica.....	139
Tendencia probabilística.....	140
Influencia económica.....	141
Costos de producción .....	141
Del concreto convencional.....	141
Del concreto experimental (1 <sup>era</sup> adicional) .....	142
Del concreto experimental (2 <sup>da</sup> adicional) .....	143
Del concreto experimental (3 <sup>era</sup> adicional) .....	144

Gastos generales .....	146
Utilidad .....	149
Del concreto experimental (1 <sup>era</sup> adicional) .....	149
Del concreto experimental (2 <sup>da</sup> adicional) .....	149
Del concreto experimental (3 <sup>era</sup> adicional) .....	150
VAN .....	152
TIR.....	156
Costos/Beneficios.....	158
Respuesta óptima experimental .....	160
<b>Discusión</b> .....	161
<b>Conclusiones</b> .....	180
<b>Recomendaciones</b> .....	182
<b>Referencias</b> .....	183
<b>Anexos</b> .....	185

## Lista de tablas

Tabla 1: Obras de pavimentación rígida ejecutadas por la MPCH (Período: 2012 - 2022).....	20
Tabla 2: Comercialización de madera en bruto en aserraderos de la Ciudad de Chiclayo .....	23
Tabla 3: Composición química de CPTI.....	33
Tabla 4: Rangos del agua en combinación y curado .....	34
Tabla 5: Distribución granulométrica en finos.....	34
Tabla 6: Granoclasificación en gruesos .....	35
Tabla 7: Correlación de la temperatura respecto al tiempo transcurrido (prueba a fuego) .....	40
Tabla 8: Calidad residual asociado al color, resistencia y temperatura incidente .....	40
Tabla 9: Adiciones combinadas de CMR y GS para concreto experimental .....	41
Tabla 10: Población para ensayos de compresión y durabilidad de los concretos.....	43
Tabla 11: Población para ensayos químicos de CMR, GS, adiciones y CPTI en 20% .....	43
Tabla 12: Muestra para rotura de probeta convencional y modificada .....	44
Tabla 13: Muestra para evaluación indirecta de la durabilidad de los concretos.....	45
Tabla 14: Muestra para determinación de composición química de CMR y GS .....	45
Tabla 15: Muestra para determinación del pH de CMR, GS, adiciones y CPTI en 20% .....	46
Tabla 16: Funcionamiento de variables .....	48
Tabla 17: Modelo de consistencia.....	53
Tabla 18: Composición química ceniza de madera roble .....	55
Tabla 19: CQ en los gránulos de silicio (artificial carburizado) .....	57
Tabla 20: Ph sustituciones del cemento en 20% por adiciones combinadas con agregados.....	59
Tabla 21: Porcentajes retenidos en tamiz estandarizado de finos .....	61
Tabla 22: Peso suelto de AF.....	63
Tabla 23: Peso compactado de AF.....	64
Tabla 24: Gravedad especif. y absorbencia de AF.....	65
Tabla 25: Módulo de finura en AF.....	66
Tabla 26: Contenido de humedad en fino .....	67
Tabla 27: Porcentajes retenidos en los tamices normalizados para agregado grueso .....	68
Tabla 28: Peso suelto de AG.....	70
Tabla 29: Peso compactado de AG .....	71
Tabla 30: Gravedad especif. y absorbencia de AG .....	73

Tabla 31: Contenido de humedad en AG .....	74
Tabla 32: Caracterización física de agregados .....	74
Tabla 33: Porcentajes retenidos en los tamices normalizados para ceniza madera roble .....	76
Tabla 34: Gravedad especif. y absorbencia en CMR .....	78
Tabla 35: Porcentajes retenidos en los tamices normalizados para gránulos de silicio .....	79
Tabla 36: Gravedad especif. y absorbencia en GS.....	82
Tabla 37: Tipo de mezcla según clima.....	83
Tabla 38: Resistencia mínima requerida .....	83
Tabla 39: Asentamiento según elemento .....	84
Tabla 40: Consistencia esperada .....	84
Tabla 41: Porcentaje de aire atrapado .....	85
Tabla 42: Relación a/c según $f^c$ .....	85
Tabla 43: Relación a/c según concentración de sulfatos (ppm) .....	87
Tabla 44: Cantidad de agua de mezcla.....	89
Tabla 45: Capacidad del AG .....	90
Tabla 46: Pesos específicos cementos nacionales.....	91
Tabla 47: Diseño de mezcla convencional por resistencia ( $\text{pie}^3$ ).....	96
Tabla 48: Mezcla experimental por resistencia ( $\text{pie}^3$ ) (1 <sup>era</sup> adición) .....	97
Tabla 49: Mezcla experimental por resistencia ( $\text{pie}^3$ ) (2 <sup>da</sup> adición).....	97
Tabla 50: Mezcla experimental por resistencia ( $\text{pie}^3$ ) (3 <sup>era</sup> adición) .....	98
Tabla 51: Diseños mezcla convencional y experimental resistencia ( $\text{pie}^3$ ).....	99
Tabla 52: Diseños convencional y experimental resistencia (bolsa).....	99
Tabla 53: Relaciones a/cem. y factores cemento (bls) de los concretos por resistencia .....	100
Tabla 54: Cantidades para la producción de concreto convencional y experimental .....	101
Tabla 55: Consistencia y slump del concreto convencional y experimental.....	103
Tabla 56: Apariencia y trabajabilidad del concreto convencional y experimental .....	104
Tabla 57: Densidad de probetas convencionales en estado fresco.....	105
Tabla 58: Densidad de probetas experimentales en estado fresco (1 <sup>era</sup> adición).....	106
Tabla 59: Densidad de probetas experimentales en estado fresco (2 <sup>da</sup> adición) .....	107
Tabla 60: Densidad de probetas experimentales en estado fresco (3 <sup>era</sup> adición).....	108
Tabla 61: Densidad promedio de probetas convencionales y experim en est fresco .....	109

Tabla 62: Densidad de probetas convencionales en estado endurecido.....	110
Tabla 63: Densidad de probetas experimentales en estado endurecido (1 <sup>era</sup> adición).....	111
Tabla 64: Densidad de probetas experimentales en estado endurecido (2 <sup>da</sup> adición) .....	112
Tabla 65: Densidad de probetas experimentales en estado endurecido (3 <sup>era</sup> adición).....	113
Tabla 66: Densidad promedio probetas convencionales y experimentales est endurecido.....	114
Tabla 67: Densidades teóricas y corregidas del concreto convencional y experimental .....	115
Tabla 68: Resistencias convencional.....	116
Tabla 69: Resistencias experimental (1 <sup>era</sup> adición) .....	118
Tabla 70: Resistencias diseño (2 <sup>da</sup> adición) .....	119
Tabla 71: Resistencias diseño (3 <sup>era</sup> adición).....	121
Tabla 72: Compresiones convencional experimental.....	122
Tabla 73: Desgaste del concreto convencional y exp. 60 días .....	124
Tabla 74: Desgaste concreto convencional exp. a los 90 días .....	125
Tabla 75: Desgaste del concreto convencional y experimental a los 120 días .....	126
Tabla 76: Desgaste superficial del concreto convencional y experimental .....	127
Tabla 77: Resistencias finales por desgaste en el concreto convencional y experimental.....	129
Tabla 78: Resistencia residual por temperatura del concreto convencional .....	130
Tabla 79: Resistencia residual por temperatura del concreto experimental (1 <sup>era</sup> adición) .....	131
Tabla 80: Resistencia residual por temperatura del concreto experimental (2 <sup>da</sup> adición).....	132
Tabla 81: Resistencia residual por temperatura del concreto experimental (3 <sup>era</sup> adición) .....	133
Tabla 82: Resistencias residuales por temperatura del concreto convencional y experim .....	135
Tabla 83: Costo del flete de materiales y mov./desmov. equipos/htas (DM = 25 km).....	136
Tabla 84: Ratio de costo fijo inicial de concreto convencional por m <sup>3</sup> .....	138
Tabla 85: Tendencia probabilística resistencias en los concretos experimentales.....	140
Tabla 86: Costos de producción de concreto convencional y experimental por m <sup>3</sup> .....	145
Tabla 87: Utilidad del concreto experimental (1 <sup>era</sup> adición) respecto al convencional.....	149
Tabla 88: Utilidad del concreto experimental (2 <sup>da</sup> adición) respecto al convencional.....	149
Tabla 89: Utilidad del concreto experimental (3 <sup>era</sup> adición) respecto al convencional.....	150
Tabla 90: Ganacias y utilidades de los concretos experimentales .....	150
Tabla 91: Ratio de costo oferta por m <sup>3</sup> para concreto convencional y experimental.....	152
Tabla 92: Ratio de costo fijo y de oferta por m <sup>3</sup> del concreto convencional y experimental .....	153

Tabla 93: Parámetros para cálculo de flujos por m <sup>3</sup> en concretos .....	153
Tabla 94: Flujos (beneficio, costo y neto) para concreto convencional y experimental .....	154
Tabla 95: VAN por m <sup>3</sup> para concreto convencional y experimental .....	155
Tabla 96: TIR por m <sup>3</sup> para concreto convencional y experimental.....	157
Tabla 97: Costos/Beneficios por m <sup>3</sup> para concreto convencional y experimental .....	158

## Lista de gráficos

Gráfico 1: Comp. fís. rsu en DJLO .....	22
Gráfico 2: Comp. química CMR.....	56
Gráfico 3: Comp. quím. gránulos silicio (carburizado) .....	57
Gráfico 4: pH de sustituciones del cemento en 20% por adiciones combinadas agregados .....	59
Gráfico 5: Curv. granulom. AF.....	62
Gráfico 6: Curv. granulom. AG .....	69
Gráfico 7: Propiedades físicas AF y AG.....	75
Gráfico 8: Curv. granulom. CMR .....	76
Gráfico 9: Curv. granulom. GS .....	80
Gráfico 10: Relaciones a/c y factores cemento (bls) concreto convencional y experim.....	100
Gráfico 11: Slump teórico y corregido del concreto convencional y experimental.....	103
Gráfico 12: Densidad conv. experimental est. fresco (kg/m <sup>3</sup> ) .....	109
Gráfico 13: Densidad patrón experimental est. endurecido (kg/m <sup>3</sup> ).....	114
Gráfico 14: Densidades teóricas y corregidas del concreto convencional y experimental .....	115
Gráfico 15: Resist. comp. convencional.....	117
Gráfico 16: Resist. comp. experimental (1 <sup>era</sup> adición) .....	118
Gráfico 17: Resist. comp. experimental (2 <sup>da</sup> adición).....	120
Gráfico 18: Resist. comp. experimental (3 <sup>era</sup> adición) .....	121
Gráfico 19: Resist. comp. convencional experimental.....	123
Gráfico 20: Desgaste del concreto convencional y experimental a los 60 días .....	125
Gráfico 21: Desgaste del concreto convencional y experimental a los 90 días .....	126
Gráfico 22: Desgaste del concreto convencional y experimental a los 120 días .....	127
Gráfico 23: Desgaste superficial del concreto convencional y experimental .....	128
Gráfico 24: Resistencia residual por temperatura del concreto convencional .....	130
Gráfico 25: Resistencia residual por temperatura del concreto experimental (1 <sup>era</sup> adición).....	131
Gráfico 26: Resistencia residual por temperatura del concreto experimental (2 <sup>da</sup> adición).....	132
Gráfico 27: Resistencia residual por temperatura del concreto experimental (3 <sup>era</sup> adición).....	134
Gráfico 28: Resistencias residuales por temperatura de los concretos.....	135
Gráfico 29: Costos de producción de concreto convencional y experimental por m <sup>3</sup> .....	145
Gráfico 30: Ganancias y utilidades de los concretos experimentales .....	151

Gráfico 31: VAN por m<sup>3</sup> del concreto convencional y experimental .....156

Gráfico 32: TIR por m<sup>3</sup> del concreto convencional y experimental .....157

Gráfico 33: Costos/Beneficios del concreto convencional y experimental por m<sup>3</sup> .....159

## Lista de figuras

Figura 1: Fisuramientos y agrietamientos paños losa concreto de pavimento rígido .....	17
Figura 2: Bacheos y ahuellamiento en paños (losa de concreto de pavimento rígido) .....	18
Figura 3: Evidencias de incineración de residuos de madera en la Av. Chiclayo - DJLO .....	24
Figura 4: Rastros de ceniza de madera en terrenos sin construir .....	25
Figura 5: Ceniza de madera roble en horno de ladrillera artesanal .....	25
Figura 6: Acopio ceniza de madera roble.....	26
Figura 7: Muestras para determinación del pH .....	249
Figura 8: pH de la 1 <sup>era</sup> adición: 80% CPTI + 20 % AC (25% CMR + 75% GS) + AF + AG .....	249
Figura 9: pH de la 2 <sup>da</sup> adición: 80% CPTI + 20 % AC (50% CMR + 50% GS) + AF + AG .....	250
Figura 10: pH de la 3 <sup>era</sup> adición: 80% CPTI + 20 % AC (75% CMR + 25% GS) + AF + AG .....	250
Figura 11: Granulometría de agregados .....	251
Figura 12: Pesos secos sueltos de agregados .....	251
Figura 13: Pesos secos compactados de agregados.....	252
Figura 14: Pesos específicos de agregados .....	252
Figura 15: Pesos específicos de ceniza de madera roble y gránulos de silicio .....	253
Figura 16: Contenido de hum. agreg. ....	253
Figura 17: Contenido de absorbencia agreg.....	254
Figura 18: Slump diseño de mezcla convencional .....	254
Figura 19: Slump de diseño de mezcla experimental (1 <sup>era</sup> adición) .....	255
Figura 20: Slump experimental (2 <sup>da</sup> adición) .....	255
Figura 21: Slump experimental (3 <sup>era</sup> adición) .....	256
Figura 22: Pesos de probetas convencionales y experimentales en estados frescos .....	256
Figura 23: Probetas convencionales y experimentales.....	257
Figura 24: Pesos de probetas convencionales y experimentales en estados endurecidos .....	257
Figura 25: Tratamiento testigos convencionales experimentales.....	258
Figura 26: Medición dimensiones rotura probetas convencionales y experimentales .....	258
Figura 27: Núcleos de concreto convencional y experimental para prueba de desgaste .....	259
Figura 28: Sondeo de desgaste en probetas convencionales y experimentales.....	259
Figura 29: Probetas convencionales y experimentales para prueba a fuego .....	260
Figura 30: Evaluación de temperatura en probetas convencionales y experimentales .....	260

## Resumen

La finalidad consistió en evaluar viablemente el uso combinado de la ceniza de madera roble y gránulos de silicio en concreto para pavimentos rígidos, bajo el reaprovechamiento de estos insumos. La metodología fue experimental, aplicada, cuantitativa y descriptiva. Se conformó 4 grupos para un  $f'c$  de  $280 \text{ kg/cm}^2$ , uno convencional y tres experimentales bajo sustitución del cemento en 20% por adición combinada de 25% CMR + 75% GS, 50% CMR + 50% GS y 75% CMR + 25% GS para las edades de 7, 14, 21 y 28 días. Del mismo modo, se evaluó indirectamente la durabilidad del concreto mediante prueba de desgaste por abrasión y fuego, bajo las mismas agrupaciones para las edades de 60, 90 y 120 días. El  $f'c$  (28 días) fue de 370.67, 305.23, 310.92 y  $281.09 \text{ kg/cm}^2$ . Respecto al ponderado por prueba a desgaste (120 días) fue de 0.13%, 0.13%, 0.31% y 0.18%; mientras que la valoración residual promedio por temperatura fue 296.54, 244.18, 248.74 y  $112.44 \text{ kg/cm}^2$ . En general, la 1<sup>era</sup> adición es la que ofreció mejor comportamiento mecánico, cuyo costo por  $\text{m}^3$  es de S/.576.03, representando un VAN de S/.181.77 y un TIR de 16%, siendo viable para la construcción con un índice de 1.40. En conclusión, la ceniza de madera roble y gránulos de silicio mejoraron la compresión y durabilidad del concreto en 11.04% y 26.13%, respectivamente.

**Palabras clave:** Ceniza de madera roble, gránulos de silicio, concreto, compresión, durabilidad, viabilidad.

### Abstract

The purpose was to feasibly evaluate the combined use of oak wood ash and silica granules in concrete for rigid pavements, under the reuse of these inputs. The methodology was experimental, applied, quantitative and descriptive. Four groups were formed for an  $f'c$  of  $280 \text{ kg/cm}^2$ , one conventional and three experimental groups under 20% cement substitution by combined addition of 25% CMR + 75% GS, 50% CMR + 50% GS and 75% CMR + 25% GS for the ages of 7, 14, 21 and 28 days. Similarly, the durability of the concrete was indirectly evaluated by abrasion and fire wear test under the same groupings for the ages of 60, 90 and 120 days. The  $f'c$  (28 days) was 370.67, 305.23, 310.92 and  $281.09 \text{ kg/cm}^2$ . The weighted by wear test (120 days) was 0.13%, 0.13%, 0.31% and 0.18%; while the average residual temperature rating was 296.54, 244.18, 248.74 and  $112.44 \text{ kg/cm}^2$ . In general, the 1<sup>st</sup> addition is the one that offered the best mechanical behavior, whose cost per  $\text{m}^3$  is S/.576.03, representing an VAN of S/.181.77 and an TIR of 16%, being viable for construction with an index of 1.40. In conclusion, oak wood ash and silica granules improved the compression and durability of concrete by 11.04% and 26.13%, respectively.

**Keywords:** Oak wood ash, silica granules, concrete, compression, durability, viability.

## Introducción

Son muchas las razones que enmarcan la problemática para llevar a cabo la ejecución de una pavimentación rígida de una determinada vía. En muchos casos, prima el criterio económico de minimizar costos respecto a alternativas convencionales, que, aunque no sean ideales, al menos las soluciones propuestas buscan cada vez minimizar el impacto de problemas, como las fallas típicas en las losas de concreto de pavimentos rígidos (formación de fisuras, grietas, bacheos y ahuellamientos) y el levantamiento de polvo producidos por el flujo vehicular. En otros casos, por la inaccesibilidad de conformar mejores vías, caminos o pavimentos dentro de nuestras zonas urbanas y rurales, incrementa la dificultad de preservar mejores estructuras viales, ya que existen muchas deficiencias en cuanto a pavimentos rígidos en nuestro país.

En cualquiera de estos casos, nuestras vías pavimentadas, sobre todo las rígidas, requieren de altos costos de ejecución y mantenimiento, puesto que cualquier vía, una vez pavimentada, percibe mayor carga vehicular que la estipulada inicial, y al no concebirse adecuadamente estos cambios de flujo vehicular, la capa de concreto sufre un desgaste prematuro por condiciones de humedad o flujos vehiculares mucho mayores que los previstos. Por lo tanto, debe alcanzarse un estado estable para evitar los asentamientos diferenciales y que se garantice la durabilidad y resistencia ante las deformaciones permanentes originadas por la fatiga y efectos de temperatura.



Figura 1. Fisuramientos y agrietamientos de paños de losa de concreto de pavimento rígido.



Figura 2. Bacheos y ahuellamiento en paños (losa de concreto de pavimento rígido).

Las infraestructuras viales repercuten sobre la economía de nuestra región, debido al alto costo de ejecución que implican durante su tiempo de vida útil, por lo que se tienen que adicionar los sobrecostos que generan tener nuestras vías en pésimo estado, razón por la cual, es muy considerable proveer de pavimentos rígidos ideales con presupuestos cada vez más ajustados, cuyos materiales a usar, particularmente en las losas, sean apropiados y garanticen la correcta función estructural, primando siempre su eficiencia y eficacia operativa y duradera.

Las autoridades locales deben preocuparse y trabajar de manera conjunta por la ejecución, supervisión y fiscalización de cada vía que se pretenda pavimentar rígidamente, puesto que también deben de considerar adecuadamente la estimación de los sobrecostos de rehabilitación y mantenimiento, justamente por mala asignación de materiales y por malos procesos de diseño y construcción que minimizan el tiempo de vida útil y aumentan los tiempos de viaje.

Circunstancialmente, en la ejecución de pavimentos rígidos se observa un déficit de supervisión, ya que en muchos de estos proyectos se suscitan vicios ocultos. Si hablamos de la etapa de diseño, se toman valores errados en los diseños de mezclas, en los cuales, muchos de ellos son asumidos en base a estudios ya realizados, generando que no se logren alcanzar las resistencias mínimas requeridas, razón por la cual, muchas empresas manipulan y alteran los resultados reales, justamente por la carencia de controles de calidad, antes, durante y después del vaceado de los paños de un pavimento rígido, lo que conlleva a que se generen informes con poca validez técnica, que al cabo de pocos años de su ejecución, el concreto sufre desgaste prematuro tanto de resistencia como durabilidad, debido a los malos diseños de mezcla que obedecen a relaciones agua/cemento inadecuadas y a dosificaciones incorrectas (cemento: agregado fino: agregado grueso: agua: aditivos), como también, por erróneos procesos constructivos y por mala selección de materiales, que en muchos casos, no cumplen con las granulometrías normadas.

Este panorama genera aún mucha más controversia, puesto que las entidades públicas no destinan el presupuesto adecuado, y cada vez, dichos montos de ejecución son cada vez más ajustados, por lo que se debe buscar nuevos materiales de construcción que sirvan a optimizar los costos de ejecución, puesto que una pavimentación rígida es mucho más costosa que una pavimentación flexible.

La red vial local tiene 20000 km, del cual, solamente el 60% están asfaltados y el 40% restantes de los caminos están a nivel de afirmado. En el esquema 1, se señalan algunos costos de obras ejecutadas por el Municipio Chiclayano mediante pavimentación rígida durante período de los años 2012 – 2022.

A su vez, se describe la implicancia que genera la ejecución de las partidas de concreto en pavimentos rígidos, dado que representa el 40% aproximadamente del valor contractual de la construcción de este tipo de pavimentos. Este es el principal motivo por el que no se opta por este tipo de pavimentación, debido a sus altos costos de ejecución y sobrevalorización que encarecen aún más su construcción.

Por ejemplo, la Av. Chiclayo, cuyo monto contractual fue de S/23'000'000.00 y no de S/53'000'000.00, donde las pérdidas económicas superan los S/2'000'000.00 en infraestructura. Por lo que debe sumarse este serio problema, como es la mala administración pública.

Tabla 1. Obras de pavimentación rígida ejecutadas por la Municipalidad Provincial de Chiclayo (Período: 2012 - 2022)

<b>Obra</b>	<b>Valor (S/.)</b>	<b>Inauguración</b>	<b>Monto obras de concreto (40% VC) (S/.)</b>
Calle Rodrigo de Triana, Av. Antenor Orrego, Víctor Raúl y Calle Ama Quella	836 381	20/08/2012	334 552
Av. Lloque Yupanqui, Sinchi Roca, Unión, Los Andes, Fraternidad, Calle las Ñustas, los Quipus y Mayta Cápac	2 709 050	12/10/2012	1 083 620
Calles del Pueblo Joven José Olaya	5 000 000	28/09/2021	2 000 000
Calles Leoncio Prado, Alfonso Ugarte, Av. Pedro Ruiz, Luis Gonzales, Arica, Juan Cuglievan, 7 de enero, 8 de octubre, Alfredo Lapoint y Héroes Civiles	8 300 000	30/01/2014	3 320 000
Av. Chiclayo	53 000 000	17/06/2012	20 000 000
Av. Soberanía, 9 de octubre, Elvira García y García	1 426 820	24/08/2022	570 728

Calle Jorge Chávez desde la Avenida Agricultura hasta Avenida México	2 936 967	14/09/2022	1 174 786
--	-----------	------------	-----------

Fuente: Gerencia de Infraestructura Pública (MPCH).

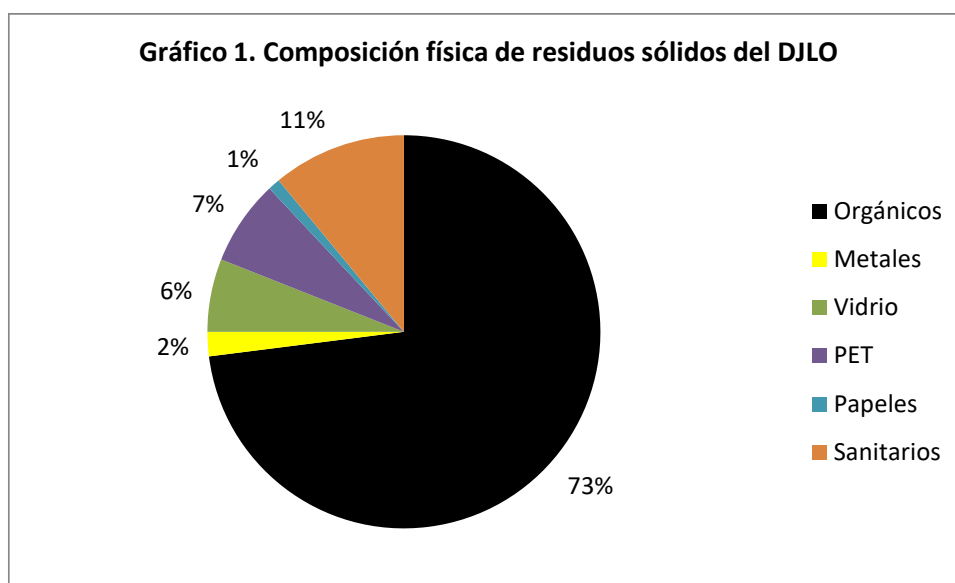
Si hacemos un análisis de la coyuntura local, precisamente de la Ciudad de Chiclayo, existe aproximadamente solo un 15% a 20% de vías con pavimentación rígida, que, al sumarle el mal estado de las mismas, generan sobrecostos de mantenimiento, los cuales no son atendidas de manera inmediata, y, por ende, degradan mucho más nuestra ciudad, y esto se agrava aún más, por la pésima gestión municipal de disposición de residuos sólidos urbanos.

El sumar esfuerzos para minimizar de una u otra forma la contaminación ambiental, reutilizando insumos que pueden generar grandes beneficios para la ingeniería y la sociedad misma, como también, la de generar costos justificados más rentables para la construcción, sobre todo en los costos de producción de concreto para pavimentos rígidos, conlleva a buscar mejoras empleando materiales eco sostenibles que garanticen su funcionalidad. Razón por la cual, nació el afán en estudiar peculiarmente el desarrollo físico mecánico que puedan otorgar la ceniza de madera roble y gránulos de silicio bajo ciertos porcentajes de adición combinada al sustituir el cemento en un 20%.

Existen investigaciones en las cuales se han obtenido resultados positivos adicionando ceniza de madera, pero solo hasta un 15% de adición combinada se ha logrado aumentar en un 3% el  $f'c$ , pero para adiciones en 20%, bajan considerablemente. Dichos estudios realizados han sido empleando cenizas de maderas flexibles como el cedro, lupuna, eucalipto, capulí, tornillo y pino, cuya compresión están entre 104 y 180  $kg/cm^2$  respectivamente, pero no existen investigaciones con cenizas de madera mucho más densas y rígidas.

De acuerdo a los resultados de dichas investigaciones, nace la intención en aumentar el factor de compresión del concreto empleando ceniza madera roble, siendo esta una madera más dura, cuya compresión promedio es de 513 kg/cm<sup>2</sup>, la cual podría aportar incremento de manera significativa con adiciones mayores.

Ahora, si hacemos énfasis a la disponibilidad de este insumo, existen alrededor de 48 aserraderos en toda la Ciudad de Chiclayo, de los cuales 32 de ellos se sitúan en JLO. Este distrito presenta altas concentraciones de acumulación de basura, careciendo de sistemas eficientes de gestión ambiental.



Fuente: PDUA – MDJLO (2011)

La actividad maderera en los aserraderos de Chiclayo, específicamente, los del DJLO, conforman aproximadamente el 25% del 73% del volumen de desechos urbanos del distrito mencionado. El municipio solo cuenta con 43 unidades (16 compactadoras, 6 cargador frontal, 3 tractor oruga, 4 motoniveladora, 10 volquetes, 4 cisternas). La mayoría de ellos averiadas. Más del 60% de residuos son depositados en la vía pública, convirtiendo al distrito en foco de contaminación latente que está trayendo graves consecuencias económicas y de salud a toda la Ciudad de Chiclayo en general. Los aserraderos comercializan diversos tipos de madera, entre las más comerciales: tornillo; y para el caso de mueblerías: el cedro, lupuna, entre otras.

Aproximadamente se comercializan más de 1300000 tn de madera en bruto al mes, del cual, producto del tronzado, cepillado, fresado, entre otros, se desperdician más de 100000 tn al mes. Del cual, dicho volumen (aserrín y palizada) es nuevamente comercializado por pobladores de escasos recursos y por personas dedicadas al rubro de ladrillos artesanales (barro y arcilla), cuyos costos oscilan entre S/. 10.00 a S/. 15.00 el quintal (25 kg).

Se indican los volúmenes aproximados de residuos madereros en el cuadro 2 según estudio de Castañeda, Altamirano & Rivera (2012):

Tabla 2. Producción de comercialización de madera en bruto en aserraderos de la Ciudad de Chiclayo

	<b>Producción de comercialización de madera en bruto</b>	
	<b>Toneladas en bruto (mes)</b>	<b>Desperdicio procesado (tronzado, cepillado, fresado) (mes)</b>
Cedro	420000	21000
Copaiba	100000	10000
Pino	110000	11000
Tornillo	250000	16000
Lupuna	63000	6300
Roble	187000	18700
Caoba	59000	5900
Nogal	56000	5600
Otros	55000	5500
	1300000	100000

*Fuente: Castañeda, Altamirano & Rivera (2012) - PDU MDJLO (2011).*

*Equipo técnico de trabajo de desarrollo urbano y ecológico. MDJLO - Chiclayo.*

La incineración de madera, especialmente, la madera roble, se dan en los sectores más arrinconados del DJLO, donde la unidad fiscalizadora de medio ambiente municipal no llega. Dichos puntos fueron identificados observándose la mala práctica de la quema de madera de forma inapropiada, muchas veces a la intemperie, mientras que otra parte del residuo maderero, son incineradas en hornos de ladrillo artesanales que están en diferentes puntos, cerca de la Av. Chiclayo.



Avenida Chiclayo



Esta vía sirve de entrada y salida de camiones que transportan alimentos hacia el Mercado Moshoqueque, observándose en los laterales, cúmulos de residuos de madera y ceniza de la misma.



Se pudo observar la mala práctica de la quema de madera a la intemperie por los mismos pobladores, quienes acumulan el residuo en pequeñas cantidades, pero notorias.



Rastros de ceniza de madera cerca a zonas agrícolas que empeora la calidad de vida.

Figura 3. Evidencias incineración de restos de madera en tres zonas de la Av. Chiclayo - DJLO.

A continuación, se muestran evidencias, y a su vez, el acopio de la misma:



Figura 4. Rastros de ceniza de madera en terrenos sin construir.



Figura 5. Ceniza de madera roble en horno de ladrillera artesanal.



Figura 6. Acopio ceniza de madera roble.

La actividad maderera e industrial, generan residuos sólidos que no son reaprovechados de manera correcta. La ceniza de madera roble es un insumo derivado de la calcinación de la madera del mismo nombre en un horno bajo una determinada temperatura, la cual puede otorgar principalmente propiedades de flexibilidad y durabilidad a un concreto convencional. Del mismo modo, los gránulos de silicio es un insumo resultante de la trituración de la piedra silicio, que al igual que la ceniza de madera roble, no son sustancialmente reaprovechados en la obtención de nuevos productos de construcción para pavimentos rígidos, como el caso de concretos modificados, ya que no se conocen con exactitud, si mejoran las resistencias de compresión, al sustituirse cemento en 20% con la adición combinada de la ceniza y de los gránulos descritos.

Se vienen realizando numerosas investigaciones sobre el uso de la ceniza de madera roble y gránulos de silicio en la producción de concretos, las cuales buscan encontrar una dosificación idónea incorporando ciertos porcentajes de adición, cuyos resultados permitan la obtención de concretos mucho más rentables y óptimos que brinden ciertas ventajas de mayor resistencia y durabilidad que los concretos tradicionales.

Timoteo, concluyó que reemplazar 10% del cemento con CM para las edades: 7, 14, 28 días, obtuvo 164, 191 y 236 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Al 15% de sustitución, las resistencias fueron de 157, 187 y 231 kg/cm<sup>2</sup>. En tanto, para 20% por ceniza madera, las resistencias disminuyeron a 157, 206 y 205 kg/cm<sup>2</sup> en comparación al tradicional de 238 kg/cm<sup>2</sup>. [1]

Por otro lado, actualmente, el silicio es un material importante en la industria de la construcción, ya que brinda más dureza como resistencia al concreto. Además, ayuda a que un proyecto sea respetuoso con el medio ambiente, ya que es un producto que se descartaría en la misma.

En tal sentido, de lo descrito anteriormente, fue indispensable estudiar la durabilidad y resistencia a la compresión que puedan aportar o generar la ceniza de madera roble y los gránulos de silicio bajo tres adiciones combinadas, sustituyendo parcialmente el cemento en 20% por los materiales propuestos, con el fin de obtener concretos para pavimentos rígidos sustentables con el medio ambiente de manera experimental.

De acuerdo a lo descrito líneas arriba, podemos hacer énfasis de la gran utilidad de estos dos materiales como componentes sustituyentes de cemento para concreto de pavimentos rígidos. Por lo cual, se pueden determinar nuevas alternativas de solución eco sostenibles que permitan mejorar la funcionalidad de este tipo de pavimentos. En consecuencia, el estudio estuvo basado bajo premisas: la ceniza de madera roble y gránulos de silicio no son reaprovechados correctamente, y emplearlos para producción concretera, aún no es definida, ya que las dosificaciones y porcentajes de adición dependerán exclusivamente de las condiciones físicas – químicas de estos materiales.

En cuanto a la realidad nacional, las construcciones civiles dependen del cemento, cuya obtención degrada el suelo de las canteras de piedra caliza por las grandes explotaciones tanto a tajo abierto como cerrado. Por otra parte, los residuos de la actividad maderera e industrial como la ceniza de madera roble y gránulos de silicio, no son dispuestos correctamente, por lo que agrava la situación ambiental de nuestro país, mucho más aún, la de nuestra localidad. En tal sentido, fue sumamente importante, buscar mejoras continuas en cuanto al reaprovechamiento de la ceniza de madera roble y gránulos de silicio, con el propósito de minimizar la contaminación que tanto nos aqueja. Por lo tanto, se planteó la siguiente cuestión: ¿qué resultados de resistencia de compresión y durabilidad, obtendríamos al sustituir cemento en 20% mediante la combinación de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos? Igualmente, se concibió la posterior hipótesis: la ceniza de madera de roble y gránulos de silicio lograron desarrollar capacidades cementantes que aumentarían la compresión como durabilidad en el concreto para pavimentos rígidos.

La investigación hace énfasis de los diversos estudios que se han realizado por medio del empleo de diversos materiales como huevo, bagazos, esquisto, fibra vegetal, piña, coco, etc., los cuales han dado lugar a muchos enfoques para mejorar mecánicamente el concreto. Este estudio con ceniza madera roble más gránulos silicio, implicó evaluar y analizar su viabilidad para dar un nuevo enfoque técnico y económico, mediante el empleo con estos materiales para producción en concretos de pavimentos rígidos.

Teniendo en cuenta la situación problemática expuesta y los antecedentes recopilados, este estudio se centró en mejorar la propiedad mecánica de la resistencia a la compresión de concretos convencionales para pavimentos rígidos, cuya sustitución parcial del cemento al 20%, permitió alcanzar y superar las resistencias de diseño para un  $f'c$  de  $280 \text{ kg/cm}^2$ , cuyas dosificaciones experimentales, reducen los costos de producción por  $\text{m}^3$ , como también, mediante la evaluación indirecta de la durabilidad por prueba de desgaste por abrasión y fuego, de manera superficial, han otorgado resultados idóneas de durabilidad ante efectos de rozamiento y de contracción térmica. No obstante, no se contempló la evaluación de los ensayos de tracción indirecta, dado que las losas de concreto en pavimentos rígidos, por lo general, están sometidos más a esfuerzos de compresión que de tracción.

Es por ello, que, de acuerdo a las deficiencias de los diseños de mezclas de concreto para pavimentos rígidos, el campo de estudio se limitó solo a mejorar el  $f'c$  y la durabilidad de las mismas, cuyos niveles de respuesta mecánica, han otorgado resultados favorables de viabilidad técnica y económica. A su vez, este estudio se justificó:

Social y ambientalmente: en encontrar nuevos materiales de construcción, que sirvan a economizar, y, sobre todo, a solucionar los problemas ambientales, beneficiando a la población en general, ayudando a reducir la contaminación ambiental, el cual a diario apreciamos en nuestra localidad. Por ende, el uso de la ceniza de madera roble y gránulos de silicio es factible, ya que hay disponibilidad de estos insumos en cantidades considerables.

Técnica y económicamente: permitió sintetizar mejores respuestas de diseño en cuanto a la producción de concreto para pavimentos rígidos, mediante métodos estudiados que nos ayudarán satisfactoriamente a reducir los costos de producción, a la vez, los resultados encontrados servirán de referencia que ampliará el campo de conocimiento del área de la tecnología del concreto.

A partir de lo descrito, se planteó como objetivo general: analizar la viabilidad del uso combinado de CMR con gránulos de silicio en producción concretera para pavimentos rígidos. Como objetivos específicos: a) precisar la comp. quím. y potencial de hidrógeno en el CMR, GS, adición combinada con agregados, CPTI, sustitución de CPTI en 20% por adición combinada con agregados, mediante el ensayo espectral por rayos X (FRXDE), b) determinar las características físicas (granulom., hum., absorc., peso unitario y específico, módulo fineza) de los agregados para el concreto convencional y experimental, c) efectuar la mezcla por mét. ACI 211 convencional y experimental, d) cuantificar las cantidades necesarias para las adiciones combinadas de ceniza de madera roble y gránulos de silicio bajo sustitución del cemento en 20%, para producción de concreto experimental, mediante disposiciones del ACI 211, e) hallar la compresión convencional y experimental para las edades de 7, 14, 21 y 28 días respectivamente, f) evaluar indirectamente la durabilidad del concreto convencional y experimental a los 60, 90 y 120 días mediante prueba de desgaste por abrasión y fuego, g) determinar la viabilidad de la mejor respuesta experimental en base a los resultados técnicos y económicos obtenidos.

## Revisión de literatura

### Antecedentes

**Mogollón Otero, L. J. & Oliva Wong, S.** [2], incorporaron residuo maderero de tornillo (CVMT) con sustituciones cementeras en 1%, 3%, 5% y 10% para 210 kg/cm<sup>2</sup>. Emplearon divisiones a/c en 0.45 como 0.55, determinando que la compresión crece proporcionalmente hasta un 5% de adición, superando al convencional en 6%.

**Castillo Salas, C. C. & Pastor Norabuena, S. A.** [3], evaluaron 4 grupos experimentales con ceniza de eucalipto (CE) y madera capulí (MC), cuyas dosis de sustitución de cemento fueron de 6%, 6.5%, 7% y 7.5% para 7, 14, 28 días (210 kg/cm<sup>2</sup>). Los resultados máximos del concreto modificado no fueron favorables, siendo de 201.88, 26.72, 100.8 y 92.4 kg/cm<sup>2</sup> a comparación del tradicional de 239.26 kg/cm<sup>2</sup>.

**Ccana Tairo, E.** [4], analizó el incorporamiento del excedente maderal de capulí (CMC) con sustituciones del cemento en 5%, 10% y 15% (210 kg/cm<sup>2</sup>). Precisó que la compresión mejoró en relación al convencional, cuyas adiciones óptimas fueron de 5% y 10%

**Valencia Puma, Jhalmar F.** [5], evaluó la influencia del desarrollo mecánico de compresión a 210 kg/cm<sup>2</sup>, reemplazando piedra chancada (1/2 in) por concreto reciclado en 15, 20, 25, 30, 40, 60%, utilizando humo sílico, determinando un incremento significativo al 25%.

**Cruzado Castillo, M. Y. & Olivera Payano, R.** [6], evaluaron el desempeño residual de la hoja y madera eucalipto (CHE - CME) para 210 kg/cm<sup>2</sup>. Del obtenido según sustitución del cemento en 5%, 10% y 15%, fue que la compresión disminuyó respecto al patrón en 22%, 31%, 29%, 8.6%, 7.6% y 14.43%, mientras que la flexión incrementó 4.4% en relación del convencional con 5% CME. Sin embargo, en el resto disminuyó.

**Ponceca Anca, F. & Ponceca Quispe, W.** [7], analizaron como influye el CM con PV cuya resistencia fue de  $280 \text{ kg/cm}^2$ . Los resultados de la adición de CM al 8, 12, 16% del cemento con 15, 25, 35% de fino por polvo vidrio (PV), fueron que el  $f'c$  con 8% de CM alcanza más resistencia. Sustituyendo el PV al 25% aumenta la resistencia. La flexión con 8% CM creció, donde los otros fueron inferiores que el convencional. El polvo de vidrio mejora la resistencia del convencional, disminuyendo gradualmente a partir del 35%.

**Chuqui huaccha Montoro, H. J. & Malca Vásquez, A. Y.** [8], determinaron la influencia de sustituir el cemento con 5%, 10% y 15% de residuo madera pino en concreto de  $210 \text{ kg/cm}^2$ . Concluyeron que el  $f'c$  patrón fue  $335 \text{ kg/cm}^2$ , del segundo grupo,  $304 \text{ kg/cm}^2$ , del tercero  $220.25 \text{ kg/cm}^2$  y del cuarto  $167.50 \text{ kg/cm}^2$ . Por ende, el segundo grupo fue que más se aproximó al convencional.

**García Cahuana, E. R.** [9], estudió el agregamiento del  $\text{SiO}_2$  que proviene del equiseto bajo 5 grupos experimentales de resistencia  $210 \text{ kg/cm}^2$ . Se demostró que el  $\text{SiO}_2$  es oportuno, logrando ser superior en 13.38% ( $320 \text{ kg/cm}^2$ ) con 1.5% y 15.54% ( $326 \text{ kg/cm}^2$ ) al 2.0% a los 28 días. Mientras que, a los 90 días, superó en un 21.27% ( $468 \text{ kg/cm}^2$ ) al 1.5% y 30.05% ( $476 \text{ kg/cm}^2$ ) a 2.0% en comparación al convencional.

**Espinal Hinostroza, J. & Rimachi Araujo, G.** [10], estudiaron el añadimiento del  $\text{SiO}_2$  con  $\text{TiO}_2$  sustituyendo el cemento en 0.5, 1.0, 1.5% para  $280 \text{ kg/cm}^2$ , empleando un superplastificante. Con 0.5 y 1.0% de  $\text{SiO}_2$ , a los 14 días de  $384.06$  y  $377.21 \text{ kg/cm}^2$ . Al cabo de 28 días,  $393.84$ ,  $394.85 \text{ kg/cm}^2$ , teniendo un aumento de 4% más que el concreto patrón. Al 1.0% de  $\text{TiO}_2$ , en la edad de 7 días,  $308.31 \text{ kg/cm}^2$ , por último, a 28 días,  $407.16 \text{ kg/cm}^2$ , obteniendo un aumento de 1% en compresión y 1.12% a tracción.

## **Bases teóricas científicas**

### **Bases teóricas**

Las bases teóricas necesarias para elaborar la investigación son de forma cuantitativa, utilizando diversos materiales, diseños de mezclas y ensayos. Por ende, es importante mencionar los siguientes términos que serán utilizados en cuanto a diversas pruebas se refieren:

**Cemento portland:** Producto de construcción empleado en diferentes elementos estructurales de concreto ciclópeo, simple y armado. Resulta del proceso de trituración del clinker e incineración mixta de productos calcáreos y arcillosos [11].

#### **Tipos de cementos portland**

I: Para uso general, pues no requiere características especiales.

II: Cuando se desea resistencia media a sulfatos.

III: Resistencia inicial alta.

IV: Cada vez que deseemos poco calor de hidratación.

V: Mayor resistencia ante sulfatos.

Tabla 3. Composición química del cemento tipo I

Elementos	Símbolo	CPTI (%)
Óxido de calcio	CaO	62.92
Silicato tricálcico	C <sub>3</sub> S	44.70
Óxid. sílice	SiO <sub>2</sub>	20.50
Óxid. fierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.14
Óxid. aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.07
Óxid. magnesio	MgO	2.10
Pérdida por calcinación	P.C	1.93
Óxid. azufre	SO <sub>3</sub>	1.83
Cal libre	CaO	1.10
Insolubilidad residual	I.R	0.68
Álcalis	Na <sub>2</sub> O	0.22

IECA (2013).

**Adiciones:** Es la combinación de uno o más elementos añadidos a cualquier mezcla homogénea o heterogénea [11].

**Madera:** Compuesta de tejidos cuya corteza sólida forma los árboles [12].

**Roble:** Clasificada como madera dura cuya altura promedio es de 25 m y tiene rigidez relativa de 48 052 kN.m<sup>2</sup> [13].

**Gránulos de silicio:** Proveniente de la trituración o desgaste del silicio, el cual es el segundo elemento químico con mayor abundancia en la corteza terrestre (28%). Se usa en múltiples sectores de la industria. Es una roca muy dura y es constituyente en la producción de cementos. Mayormente se halla en SiO<sub>2</sub> [5].

**Ceniza:** Es resultante de la incineración de cualquier material bajo una determinada temperatura, la cual otorga ciertas cualidades mecánicas [4].

**Viabilidad:** Probabilidad de éxito de un objeto, cuya tendencia de progreso implica análisis de rentabilidades económicas a corto y largo plazo [14].

**Agua:** No debe contener impurezas o cualquier otra sustancia contaminante. Reacciona con el cemento, incidiendo en la formación de la pasta, permitiendo que el concreto gane características mecánicas que lo vuelven manipulable, de fácil colocamiento y al endurecerse, es un material con excelentes propiedades [11].

Tabla 4. Rangos de preparación y curado con agua

Descrip.	Margen (ppm)
Sólidos suspendidos	1500
Sales totales	1500
Sulfatos	300
Cloruros	300
Sales de magnesio	150
Mat. org.	10
pH	> 7%

ASTM C1602

**Agregado fino:** Insumo que conforma el concreto, el cual interviene químicamente en el agua con cemento, pasando por la malla 3/8", el cual debe cumplir según rangos dados por NTP 400.037. Como también, los granos deben ser angulares, duras, libre de material orgánico [19].

Tabla 5. Granulometría fina

Zaranda	% Peso que pasa
3/8"	100
#4	95 a 100
#8	80 a 100
#16	50 a 85
#30	25 a 60
#50	5 a 30

Fuente: Harmsen (2005).

**Agregado grueso:** Es un componente retenido en la malla N° 4, el cual estará sujeto a la ASTM C136, considerándose granulometría apropiada, a la que permite obtener una mezcla más densa y trabajable [19].

Tabla 6. Granulometría agregado grueso

HG	TMN	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 50
2	2 1/2" - 1 1/2"	10 0	90 - 100	35 - 70 90 - 100	0 - 15	-	0 - 5	-	-	-	-	-	-
3	2" - 1"	-	100	100	35 - 70	0 - 15	-	0 - 5	-	-	-	-	-
35				95 -									
7	2" - N° 4	-	100	100	-	35 - 70	-	0 - 30	-	0 - 5	-	-	-
4	1 1/2" - 3/4"	-	-	100	100	20 - 55	0 - 5	-	0 - 5	-	-	-	-
46				95 -									
7	1 1/2" - N° 4	-	-	100	100	-	35 - 70	-	10 a 30	0 - 5	-	-	-
5	1" - 1/2"	-	-	-	100	100	20 - 55	0 - 10	0 - 5	-	-	-	-
56	1" - 3/8"	-	-	-	100	100	40 - 85	10 a 40	0 - 15	0 - 5	-	-	-
57	1" - N° 4	-	-	-	100	100	-	25 - 60	-	0 - 10	0 - 5	-	-
6	3/4" - 3/8"	-	-	-	-	100	100	20 - 55	0 - 15	0 - 5	-	-	-
67	3/4" - N° 4	-	-	-	-	100	100	-	20 - 55	0 - 10	0 - 5	-	-
7	1/2" - N° 4	-	-	-	-	-	100	100	40 - 70	0 - 15	0 - 5	-	-
8	3/8" - N° 8	-	-	-	-	-	-	100	100	10 a 30	0 - 10	0 - 5	-
89	3/8" - N° 16	-	-	-	-	-	-	100	100	20 - 35	5 a 30	10	0 - 5
9	N° 4 - N° 16	-	-	-	-	-	-	-	100	100	40	10	0 - 5

Fuente: NTP 400.037

### Propiedades en estado fresco

**Trabajabilidad:** Es una característica de calidad que define la mezcla, manipulación, transporte y colocación, sin que esta segregue ni sea inadecuado.

**Contenido de aire:** Es la medida de huecos presentes en el aglomerado del concreto, reduciendo su resistencia por incremento de la porosidad, cuya perdida se estima en 5% al añadirse 1% de aire [20].

**Peso unitario:** Unidad de medida del espécimen comprimido respecto al volumen del contenedor, cuya clasificación para concreto se debe a la variabilidad del agregado, los cuales son de condición liviana, normal como pesada.

### **Atributos por endurecimiento**

**Ensayo de compresión:** Comprende la representación de cargas axiales aplicadas al concreto para sostener diversos esfuerzos, que, en efecto, permita determinar su capacidad última de diseño.

Se determina por ensayos de laboratorio en probetas cilíndricas, regulados por disposiciones normadas, especificándose:

- ✓ La elaboración para las probetas puede ser de 4" x 8" o 6 in x 12 in.
- ✓ El curado garantiza determinar la efectividad de la resistencia del elemento.
- ✓ Los ensayos.

## **Bases científicas**

### **NTP E.060. 2018. RNE.**

Establece especificaciones especiales para la selección de materiales, requisitos de ensayos, mezclado, transporte, protección, estándares de calidad y aceptación del concreto como elemento estructural, dadas en los capítulos 3, 4 y 5 correspondientemente. [15]

Se revisó esta parte de la norma, debido a que se pueden utilizar los métodos establecidos para la producción de los testigos tradicionales y experimental.

### **ACI 211 (Instituto Americano del Concreto).**

Estipula alcances para concreto, cuyas dosificaciones pueden darse por pesos y volúmenes, determinando las cantidades necesarias por m<sup>3</sup> o pi<sup>3</sup> según resistencia requerida. [16]

### **Norma Británica. Ensayos químicos. 1988. Reino Unido. Parte 812.**

Se normalizan los procedimientos de estudios químicos de materiales orgánicos, inorgánicos y modificados para cualquier campo de la ingeniería, los cuales fijan los materiales, equipos, rangos permisibles de validación experimental, en cuanto a la toma de datos cuantitativos que determinarán la estructura o composición química de cualquier material en estudio, entre otros parámetros. [17]

## **Materiales y métodos**

### **Tipo y nivel de investigación**

Este investigable fue aplicado, porque usó la ceniza madera roble y gránulos de silicio para producir concreto experimental, cuyo fin estuvo dirigido a mejorar la propiedad mecánica de resistencia de una mezcla convencional mediante combinación residual de ceniza madera roble con gránulos silicio, y que, a su vez, proporcione mejores características de durabilidad para pavimentos rígidos en beneficio de la ingeniería y la sociedad misma.

La metodología fue experimental basándose en la observación, puesto que el  $f'c$  del concreto tiende a cambiar por la sustitución de cemento al incorporarse una determinada proporción de ceniza de madera roble y gránulos de silicio. Se realizó un estudio cuantitativo y experimental en el laboratorio de la EICA - USAT de Chiclayo. Los resultados encontrados de la rotura en probetas tanto para las muestras convencionales y experimentales, fueron comparados entre las condiciones iniciales, cuyo  $f'c$  fue igual a 280  $\text{kg/cm}^2$  y bajo ciertas proporciones de ceniza de madera roble y gránulos de silicio con una sustitución del 20% de cemento tipo I para pavimentos rígidos.

Los pavimentos rígidos, básicamente están sometidos a acciones de fatiga y de temperatura. Aquellos factores como el desgaste, afecta la duración del concreto, singularmente, las losas con concreto quedan expuestas ante las acciones mecánicas de desplazamiento de los vehículos, y con el tiempo, estas sufren un desgaste considerable por la fricción que ejercen las cargas vehiculares. Estos elementos de concreto, a menudo se ven dañados por fricción, exclusivamente, las de estricto desempeño por concentrar mayor carga vehicular. Por ende, la durabilidad de las losas de concreto está afectadas por la fricción superficial, causando niveles bajos de operatividad.

De acuerdo a la ASTM C779/C779M, el desgaste por abrasión fue efectuado con muestras circulares de  $\phi = 0.10$  m por 0.05 m de altura, cuyo ensayo fue efectuado de manera externa en el laboratorio LEMS W&C EIRL mediante la máquina de abrasión, consistiendo en provocar el desgaste de la probeta mediante un rodillo giratorio que opera a 200 revoluciones por minuto, bajo una carga de  $98 \pm 1$  N ( $22 \pm 0.20$  lb/f). Una vez concluida la aplicación del número estandarizado de revoluciones, se pesó el área desgastada de la probeta 3 veces. Este ancho desgastado se ajustó de acuerdo con la calibración de la máquina. El desgaste en las probetas de concreto experimental se restaron a la medida obtenida en la probeta de concreto convencional, el cual pudo ser evaluada en base a la siguiente ecuación de modelo lineal de correlación:

$$\text{Desgaste} = 43.686 - 0.070 * f'c$$

A su vez, los efectos de temperatura afectan la durabilidad del concreto. De acuerdo a la zona de estudio, nuestra ciudad de Chiclayo presenta un clima cálido, pero el calentamiento global ha generado aumento del gradiente en su temperatura ambiental. Por ende, las probetas convencionales y experimentales fueron sometidas a una evaluación indirecta de durabilidad mediante prueba a fuego, ya que como se sabe muy bien, la porosidad del agregado repercute sobre su comportamiento cuando está sometido a altas temperaturas, y dependientemente de la humedad y tamaño de las mismas, pueden ser vulnerables ante el efecto de expansión, generando formaciones de grietas por contracción térmica.

De acuerdo a la ASTM E-119, para la prueba a fuego, las probetas de concreto fueron expuestas a un horno a temperatura constante, en el cual se determinó la calidad residual en base de la temperatura, resistencia y coloración. Todo ello, con el fin de conocer si las muestras experimentales ofrecen una mejor respuesta de durabilidad respecto a las muestras convencionales (ver tablas 3 y 4).

Tabla 7. Correlación de la temperatura respecto al tiempo transcurrido (prueba a fuego)

<b>t (hrs)</b>	<b>Temp. llegada (°C)</b>
0.083	538 ≤
0.17	538 ≤ 704
0.5	704 ≤ 843
1	843 ≤ 927
2	927 ≤ 1010
4	1010 ≤ 1093
> 8	≥ 1260

Fuente: ASTM E-119.

Tabla 8. Calidad residual asociado al color, resistencia y temperatura incidente (prueba en fuego)

<b>Color</b>	<b>Temp. (°C)</b>	<b>Resistencia residual (% inicial)</b>
Ninguno	- 300	100 ≤ 80
Rosado	300 ≤ 600	80 ≤ 40
Grisáceo	600 ≤ 900	40 ≤ 20
Amarillento	900 ≤ 1200	20 ≤ 0

Fuente: ASTM E-119.

En lo que respecta a la evaluación química, se realizaron externamente en la FIQIA (UNPRG), cuyos resultados permitieron determinar la composición y potencial de hidrógeno en ceniza de madera roble, gránulos silicio, adición combinada con agregados, CPTI y sustitución de CPTI en 20% con adición combinada con agregados.

La composición química y el potencial de hidrógeno se determinaron secuencialmente a través de la prueba espectral por luminiscencia con rayos X, cuyo valor es un factor que se insertó en la presente investigación, ya que el potencial de hidrogeno está ligado directamente al grado de absorción que tiene un material al estar mezclada en agua, lo cual varía en fracción a/c, de igual forma, en la durabilidad de la misma.

La investigación fue aplicada, ya que también se procedió a experimentar por medio de ensayos, los cuales permitieron analizar la utilidad de la ceniza de madera roble y gránulos de silicio al convertirse en componentes sustituyentes del cemento.

En cuanto a la preparación de probetas de concreto, se formaron cuatro grupos de muestras que permitieron medir la resistencia a la comprensión de las mismas. El primer grupo sirvió para analizar el concreto convencional, mientras que los tres grupos restantes, las experimentales bajo tres adiciones, cuyas combinaciones de ambos materiales se observan en el cuadro 6.

De acuerdo a las especificaciones generales de construcción (EG 2013), se consideran dosificaciones no menores a 1% de adición para cualquier proceso modificado, siendo de libre elección del investigador la toma de los porcentajes de adición. [18]

Tabla 9. Adiciones combinadas de CMR y GS para concreto experimental

<b>Adición</b>	<b>Combinación</b>
1 <sup>era</sup> adición	25% CMR + 75% GS
2 <sup>da</sup> adición	50% CMR + 50% GS
3 <sup>era</sup> adición	75% CMR + 25% GS

Fuente: Elaboración.  
propia.

Leyenda: CMR = Ceniza de madera roble.  
GS = Gránulos de silicio.

## **Diseño de investigación**

La indagación fue cuantitativa, agenciándose de la estadística para procesar los resultados obtenidos en laboratorio, de acuerdo a las pruebas repetitivas de rotura y evaluación indirecta de la durabilidad, cuyos resultados permitieron determinar el mejor comportamiento de los materiales constituyentes mencionados.

## **Población, muestra y muestreo**

### **Población**

La finalidad fue evaluar las resistencias de compresión tanto convencional y experimental para pavimentos rígidos, por la cual se usó la ceniza de madera roble y gránulos de silicio para estudiar su desempeño.

Es por ello, que se efectuaron probetas de concreto experimental con las tres adiciones combinadas de ceniza de madera roble y gránulos de silicio, cuyos resultados esperados sirvieron de parámetro comparativo entre las probetas convencionales.

Respecto a la población para ensayos de rotura, se obtuvo 12 especímenes para la parte convencional, mientras que para la parte experimental 36 especímenes; en total, se obtuvo una población de 48 especímenes de  $\phi = 0.10$  m y  $h = 0.20$  m. Mientras que, en la evaluación indirecta de la durabilidad convencional y experimental, se obtuvieron 3 especímenes por cada grupo, conformando una población total de 12 especímenes en cada prueba, especificados en la tabla 10.

Tabla 10. Población para ensayos de rotura del concreto y evaluación indirecta de la durabilidad convencional y experimental

Grupo	Tipo	Combinación	Resistencia	Durabilidad	Población
1	Convencional	-	12	6	18
2	1 <sup>era</sup> adición	25% CMR + 75% GS	12	6	18
3	2 <sup>da</sup> adición	50% CMR + 50% GS	12	6	18
4	3 <sup>era</sup> adición	75% CMR + 25% GS	12	6	18
					<b>72</b>

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda: CMR = Ceniza de madera roble.

GS = Gránulos de silicio.

En cuanto a la población para ensayos químicos, de acuerdo a los alcances técnicos de la Norma Británica (Parte 812), se consideraron 2 especímenes para la composición química (ceniza de madera roble y gránulos de silicio). A su vez, para la determinación del potencial de hidrógeno se consideraron 5 especímenes (ceniza de madera roble, gránulos de silicio, adición combinada con agregados, CPTI y sustitución de CPTI en 20% por adición combinada con agregados).

Tabla 11. Población para análisis químicos CMR, GS, adición combinada con agregados, CPTI y sustitución de CPTI en 20% con adición combinada con agregados

Grupo	Tipo	Combinación	Composición química	Potencial de hidrógeno	Población
2	1 <sup>era</sup> adición	25% CMR + 75% GS	2	5	7
3	2 <sup>da</sup> adición	50% CMR + 50% GS			
4	3 <sup>era</sup> adición	75% CMR + 25% GS			

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda: CMR = Ceniza de madera roble.

GS = Gránulos de silicio.

CPTI = Cemento portland tipo I.

## Muestra

La ASTM C109 estipula que para cualquier diseño de mezcla se deben ensayar 3 especímenes de concreto a los 7, 14, 21 y 28 días, por ende, se consideraron 3 especímenes mínimos por edad para cada grupo. Teniendo en cuenta las consideraciones por norma, se obtuvo una muestra de 12 ejemplares convencionales, como también, 36 experimentales en las tres adiciones combinadas de ceniza de madera roble y gránulos de silicio. En la tabla 9 se detalla la muestra correspondiente.

Tabla 12. Muestra para rotura de probeta convencional y modificada

Tipo	Combinación	Concreto convencional y experimental				Total de especímenes
		7 días	14 días	21 días	28 días	
Convencional	-	3	3	3	3	12
1 <sup>era</sup> adición	25% CMR + 75% GS	3	3	3	3	12
2 <sup>da</sup> adición	50% CMR + 50% GS	3	3	3	3	12
3 <sup>era</sup> adición	75% CMR + 25% GS	3	3	3	3	12
						<b>48</b>

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda: CMR = Ceniza de madera roble.

GS = Gránulos de silicio.

Del mismo modo, para evaluar indirectamente la durabilidad en los concretos, se tuvo cuenta 1 espécimen por grupo para la edad de 60, 90 y 120 días en las dos pruebas.

Tabla 13. Muestra para evaluación indirecta de la durabilidad del concreto convencional y experimental

Tipo	Combinación	Concreto convencional y experimental			
		60 días	90 días	120 días	Total de especímenes
Convencional	-	1	1	1	3
1 <sup>era</sup> adición	25% CMR + 75% GS	1	1	1	3
2 <sup>da</sup> adición	50% CMR + 50% GS	1	1	1	3
3 <sup>era</sup> adición	75% CMR + 25% GS	1	1	1	3
					<b>12</b>

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda: CMR = Ceniza de madera roble.

GS = Gránulos de silicio.

Para la composición química de los insumos sustituyentes, se consideraron 2 especímenes, mostrado en la tabla 14.

Tabla 14. Muestra para determinación de composición química de CMR y GS

Grupo	Tipo	Combinación	Composición química	Total especímenes
2	1 <sup>era</sup> adición	25% CMR + 75% GS	2	2
3	2 <sup>da</sup> adición	50% CMR + 50% GS		
4	3 <sup>era</sup> adición	75% CMR + 25% GS		
				<b>2</b>

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda: CMR = Ceniza de madera roble.

GS = Gránulos de silicio.

Referente al pH para la ceniza de madera roble, gránulos de silicio, adición combinada con agregados, CPTI, sustitución de CPTI en 20% por adición combinada con agregados, se consideraron 5 especímenes en total, descritos en la tabla 15.

Tabla 15. Muestra para determinación del potencial de hidrógeno de CMR, GS, adición combinada con agregados, CPTI y sustitución de CPTI en 20% con adición combinada con agregados

Grupo	Tipo	Combinación	Potencial de hidrógeno	Total especímenes
2	1 <sup>era</sup> adición	25% CMR + 75% GS	5	5
3	2 <sup>da</sup> adición	50% CMR + 50% GS		
4	3 <sup>era</sup> adición	75% CMR + 25% GS		
				5

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda: CMR = Ceniza de madera roble.

GS = Gránulos de silicio.

CPTI = Cemento portland tipo I.

### Muestreo

Se aplicó rastreo aleatorio en selección para ceniza madera roble y gránulos de silicio, con el fin de estudiar los distintos porcentajes que se emplearon en los ensayos de laboratorio, cuyo entorno ha sido identificado, siendo desarrollada en la ciudad de Chiclayo.

### Criterios de selección

Los materiales para este estudio fueron los siguientes:

El cemento fue de la marca Pacasmayo, el cual es comercializado en diferentes ferreterías de Chiclayo.

La arena gruesa y piedra chancada son del yacimiento Tres Tomas de Ferreñafe.

La ceniza de madera roble fue obtenida del aserradero “Costa y Asociados SRL”, ubicado en Av. Tahuantinsuyo N° 1598. Los gránulos de silicio fueron de origen artificial carburizado, adquirido en “Inversiones Casa Blanca & Ferretería” ubicado en Av. Agricultura N° 655 del Distrito de José Leonardo Ortiz.

#### **A. Diseños de mezclas**

Según consideraciones técnicas del ACI 211 y NTP E.060.

#### **B. Ensayos de rotura en laboratorio y evaluación indirecta de la durabilidad**

Se basaron en fundamentos normados por la MTC E 609 - 2000. La evaluación indirecta de la durabilidad, según alcances de la NTC y ASTM E-119.

#### **C. Ensayos químicos**

Se realizaron ensayos de acuerdo a las normas del laboratorio químico especializado.

### **Operacionalización de variables**

#### **Variable dependiente**

Concreto producido mediante ceniza de madera roble y gránulos de silicio.

#### **Variables independientes**

Agregado fino, agregado grueso, ceniza de madera roble, gránulos de silicio, cemento portland tipo I.

Tabla 16. Operac. variab.

Variab. dependiente	Dimens.	Indicad.	Instrumentos	Índ.
Concreto con ceniza madera roble y gránulos de silicio	Propiedad física/mecánica	Asentamiento	NTP 339.035	in
		Densidad	NTP 339.046	kg/m <sup>3</sup>
		Compresión	ASTM C140	kg/cm <sup>2</sup>
VARIABLES INDEPENDIENTES	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Índice
Agregado fino/grueso	Propiedad física	Ensayo de tamizado	NTP 339.128	%
		Humedad	NTP 339.127	%
		Absorción	ASTM C566.97	%
		Peso unitario	ASTM C29.97	g/cm <sup>3</sup>
		Peso propio	Norma Peruana 400.022 ASTM C29.97	g/cm <sup>3</sup>
Ceniza de madera roble, gránulos de silicio, cemento portland tipo I	Composición química y potencial hidrógeno	Fineza	Norma Peruana 400.012 ASTM C136.5.1	Adimensional
		Ensayo espectral por rayos X	Norma Británica (Parte 812)	%

Fuente: Propia.

## Técnicas e instrumentos de recolección de datos

### Técnicas

En su mayoría fueron interpretados y analizados de manera visual, como son los aspectos de homogeneidad.

Los resultados fueron cuantitativos, creándose formatos de control que ayudaron a interpretar los resultados de forma ordenada, siendo estas diseñadas para cada ensayo realizado: absorción, finura, compresión, test diagnóstico en evaluación indirecta de durabilidad por prueba de desgaste por abrasión y fuego, costos de producción y viabilidad, pudiéndose analizar en muestras convencionales como experimentales para pavimentos rígidos.

### **Instrumentos**

Se emplearon los siguientes:

- **Programas de cómputo**

Word, excel, power point.

- **Suelos**

**Granulométrico:** ASTM D422

Equipos: Cucharas, tamices, etc.

Und: %

**Humedad:** ASTM D2216

Equipos: Taras, espátulas, horno, cucharas.

Und: %.

**Contenido de absorción:** NTP 399.604 - ASTM C566.97

Equipos: Balanza, horno de secado, recipiente.

Und: %.

**Peso suelto:** NTP 400.017 - ASTM C29.97

Equipos: Balanza electrónica, cucharas, recipiente cilíndrico, plancha de vidrio, varilla de acero  $\Phi$  5/8".

Und:  $\text{g/cm}^3$ .

**Peso específico aparente:** NTP 400.022 - ASTM C29.97

Equipos: Balanza, picnómetro, frasco, molde, barra compactadora.

Und:  $\text{g/cm}^3$ .

**Módulo de finura:** NTP 400.012 - ASTM C136.5.1

Equipos: Balanza, etc.

Und: adimensional.

- **Laboratorio concreto**

**Asentamiento:** ASTM C143.

Equip.: Bandeja, barreta, wincha, cucharón, cono.

Und: in.

**Densidad:** ASTM C39.

Equipos: Balanza, wincha, vernier.

Und:  $\text{kg/m}^3$ .

**Ensayo de rotura:** ASTM C140.

Equipos: Prensa hidráulica electrónica, bloques de apoyo con base de neopreno.

Und:  $\text{kg/cm}^2$ .

- **Laboratorio químico**

Se emplearon todos los instrumentos inmersos para est. quím. y potencial hidrogeno del CMR, gránulos silicio y demás componentes.

## **Procedimientos**

Para la producción del concreto convencional y experimental, como para el análisis comparativo y evaluación correspondiente de resultados, es necesario puntualizar la descripción de los siguientes procedimientos realizados:

1. **Ensayos químicos:** Se precisó la composición química de los materiales sustituyentes, como también, se determinó el pH experimental en base a una muestra dosificada de 0.80 (cemento): 0.20 (CMR + GS): 2 (arena gruesa): 2 (piedra chancada) para las 3 adiciones combinadas descritas en la tabla 5.
2. **Ensayos físicos:** Se realizaron las granulometrías, pesos unitarios (suelto, compactado), pesos específicos, módulo de finura, humedad, absorc. de agregados, cuyos valores resultantes han sido empleados en la mezcla tradicional como experimental.
3. **Diseños mezclas:** Se realizó el cálculo respectivo de mezclas por ACI-211, los cuales permitieron hallar las proporciones totales en producción convencional y experimental.
4. **Prueba de asentamiento:** Se verificó mediante la prueba con cono de Abrams para pavimento rígido, cuyo asentamiento teórico fue de 3" para todos los concretos elaborados.
5. **Elaboración de probetas:** 72 muestras ( $\varnothing = 4'' \times h = 8''$ ) han sido elaboradas bajo un estricto control de calidad, para posteriormente ser curadas durante el período de 7, 14, 21, 28, 60, 90 y 120 días.
6. **Medición de densidad en estado fresco y endurecido:** Se procedió a pesar las probetas, para posteriormente determinar su densidad promedio en concretos producidos.

7. **Rotura de probetas:** Se cuantificó por medio del compresor, cuyas compresiones para períodos a 7, 14, 21, 28 días fueron tabuladas en cada grupo del estudio, determinándose la tendencia probabilística de desarrollo en base a la desviación estándar por muestra, cuyo valor resultante de dicho proceso estadístico matemático, sirvió para medir la influencia de los insumos sustituyentes del cemento.
8. **Durabilidad de probetas:** Se llevó a cabo las pruebas de desgaste por abrasión de manera externa en laboratorio especializado, localizada en Prolongación Bolog. (km 3.50), a través del equipo abrasivo. Del mismo modo, las probetas de concreto fueron incineradas en un horno artesanal ubicado en la Av. El Dorado N° 2955 por un tiempo de 0.50 hora. Ambas pruebas corresponden a la evaluación indirecta de la durabilidad del concreto para el período de 60, 90 y 120 días (descripción del procedimiento general en resultados).
9. **Costos de producción:** Se efectuaron los ACU correspondientes por m<sup>3</sup>, determinándose un análisis comparativo entre los precios obtenidos, teniendo en cuenta la influencia técnica de desarrollo en base a la tendencia probabilística calculada, que permitió definir el costo más óptimo del concreto experimental respecto a la convencional.
10. **Viabilidad:** De acuerdo a los resultados técnicos y económicos obtenidos, se tuvo presente todas las variables financieras para determinar primeramente la rentabilidad del proyecto, y en base a ello, se pudo hallar el costo – beneficio de la misma, considerando flujos de caja en base a ratios de producción de pavimentos rígidos ejecutados con anterioridad según tabla 1, las cuales sirvieron para calcular un ratio en función al área de paño de losa de un pavimento rígido por carril (3.50 m x 3.00 m). Todo ello, sirvió para dar una respuesta mucho más real y consistente, teniendo en cuenta los factores resistentes y durables para pavimentos rígidos.
11. **Discusión:** Se comparó los resultados obtenidos, respecto a los rangos permisibles de la normatividad vigente y resultados de otras investigaciones.
12. **Conclusiones y recomendaciones:** De acuerdo a objetivos específicos y resultados.

## Matriz de consistencia

Tabla 17. Matriz cons.

Prob.	Obj.	Hipótesis	Variab. e indicadores
<p>¿Qué resultados de resistencia de compresión y durabilidad, obtendríamos al sustituir cemento en 20% mediante la combinación de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos?</p>	<p><b>Objetivo gral.:</b></p> <p>Analizar la viabilidad del uso combinado de CMR con gránulos de silicio en producción del concreto para pavimentos rígidos.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <p>a) Precisar comp. quím. y potencial hidrógeno en CMR, gránulos silicio, adición combinada con agregados, CPTI, sustitución de CPTI en 20% por adición combinada con agregados, mediante el ensayo espectral por rayos X (FRXDE), b) determinar las características físicas del agregado para el concreto convencional y experimental, c) efectuar la mezcla convencional y experimental por ACI-211, d) cuantificar las cantidades necesarias para las adiciones combinadas de ceniza de madera roble y gránulos de silicio bajo sustitución del cemento en 20%, para producción de concreto experimental, mediante disposiciones del ACI-211, e) cuantificar la compresión convencional y experimental para las edades de 7, 14, 21 y 28 días respectivamente, f) evaluar indirectamente la durabilidad del concreto convencional y experimental a los 60, 90 y 120 días mediante prueba de desgaste por abrasión y fuego, g) determinar la viabilidad de la mejor respuesta experimental de acuerdo al facto técnico y económico.</p>	<p>La ceniza madera roble y gránulos de silicio lograron desarrollar capacidades cementantes que aumentarían la durabilidad y resistencia del concreto para pavimentos rígidos.</p>	<p><b>Variable dep.:</b></p> <p>Concreto producido mediante ceniza de madera roble y gránulos de silicio.</p> <p><b>Variables independientes:</b></p> <p>Agregado fino, agregado grueso, ceniza de madera roble, gránulos de silicio, cemento portland tipo I.</p>

Fuente: Elaboración propia.

### **Consideraciones éticas**

Conforme a las convicciones científicas regidas por reglamento ético del CIP, el estudio se desarrolló bajo las siguientes consideraciones: la información recolectada es verdadera e inalterada, puesto que este proyecto buscó ser tomada como referencia, teniendo en cuenta el uso combinado de la ceniza de madera roble y gránulos de silicio en concreto para pavimentos rígidos, las cuales permitieron mejorar la compresión como durabilidad en la misma.

Con relación a los resultados de fractura en probetas por compresión, fueron obtenidos mediante fórmulas matemáticas, las cuales están estrictamente regidas en las bases científicas expuestas con anterioridad. Del mismo modo, los ensayos físicos de los agregados e insumos sustituyentes son legítimos y confiables, ya que fueron realizados en el laboratorio de la EICA - USAT. Referente a los resultados de la prueba de desgaste por abrasión, son veraces, los cuales fueron realizados externamente en el laboratorio LEMS W&C EIRL. Los resultados de la prueba a fuego fueron obtenidos mediante la incineración de las probetas en un horno artesanal, cuya valoración producto de la observación, es totalmente real. Mientras que los resultados de los ensayos químicos de la ceniza de madera roble y gránulos de silicio (composición química y pH) fueron obtenidos en el laboratorio de la FIQIA de la UNPRG.

El proyecto de viabilidad del uso combinado de la ceniza de madera roble y gránulos de silicio en concreto para pavimentos rígidos, tuvo la aprobación y autorización de la EICA - USAT. Este estudio contribuyó al desarrollo sostenible y aportó nuevos conocimientos en cuanto a nuevos concretos ecosostenibles con el medio ambiente, cuya obtención de datos para el procesamiento de los diversos ensayos realizados, respetan todas las disposiciones normadas.

## Resultados

### Ensayos químicos

Los resultados de este acápite fueron obtenidos de manera secuencial, los cuales influyen directamente sobre a/c, el cual puede aumentar o disminuir dependiendo del signo resultante del valor obtenido. Como se sabe, toda reacción química genera cambios en la masa molecular de un determinado material, es por ello, que se consideró precisar la composición química y potencial de hidrógeno de los materiales sustituyentes del cemento, con el fin de obtener la variación de los porcentajes de partículas para masas concentradas, las cuales fueron insertadas en los diseños correspondientes.

### Composición química

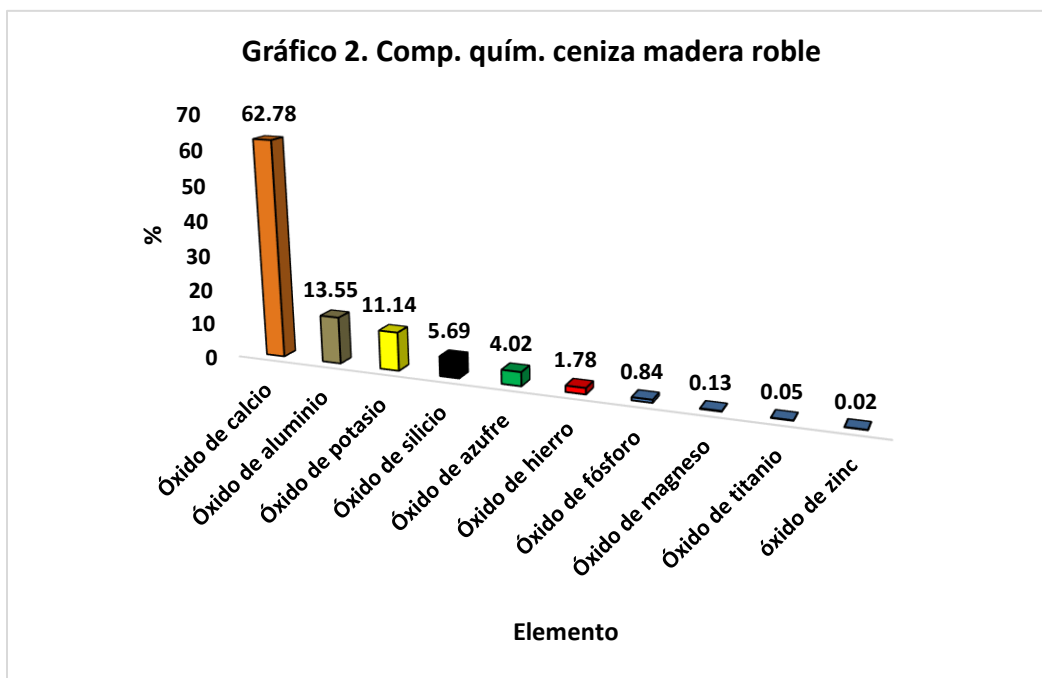
Conforme a datos secuenciales de FRXDE logrados en la FIQIA - UNPRG, según estándares de la Norma Británica (parte 812), se precisan las siguientes materializaciones químicas: (ver anexo 1) (página 186)

#### De ceniza madera roble

Tabla 18. CQ ceniza de madera roble

Elemento	Símbolo	%
Óxido de calcio	CaO	62.78
Óxid. aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.55
Óxid. potasio	K <sub>2</sub> O	11.14
Óxid. silicio	SiO <sub>2</sub>	5.69
Óxid. azufre	SO <sub>3</sub>	4.02
Óxid. hierro	FeO <sub>3</sub>	1.78
Óxid. fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.84
Óxid. magnesio	MnO	0.13
Óxid. titanio	TiO <sub>2</sub>	0.05
Óxid. zinc	ZnO	0.02

Laboratorio FIQIA – UNPRG.



La ceniza de madera roble está constituida por óxido de calcio (CaO) (62.78%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (13.55%),  $\text{K}_2\text{O}$  (11.14%),  $\text{SiO}_2$  (5.69%),  $\text{SO}_3$  (4.02%),  $\text{FeO}_3$  (1.78%),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0.84%),  $\text{MnO}$  (0.13%),  $\text{TiO}_2$  (0.05%) y  $\text{ZnO}$  (0.02%).

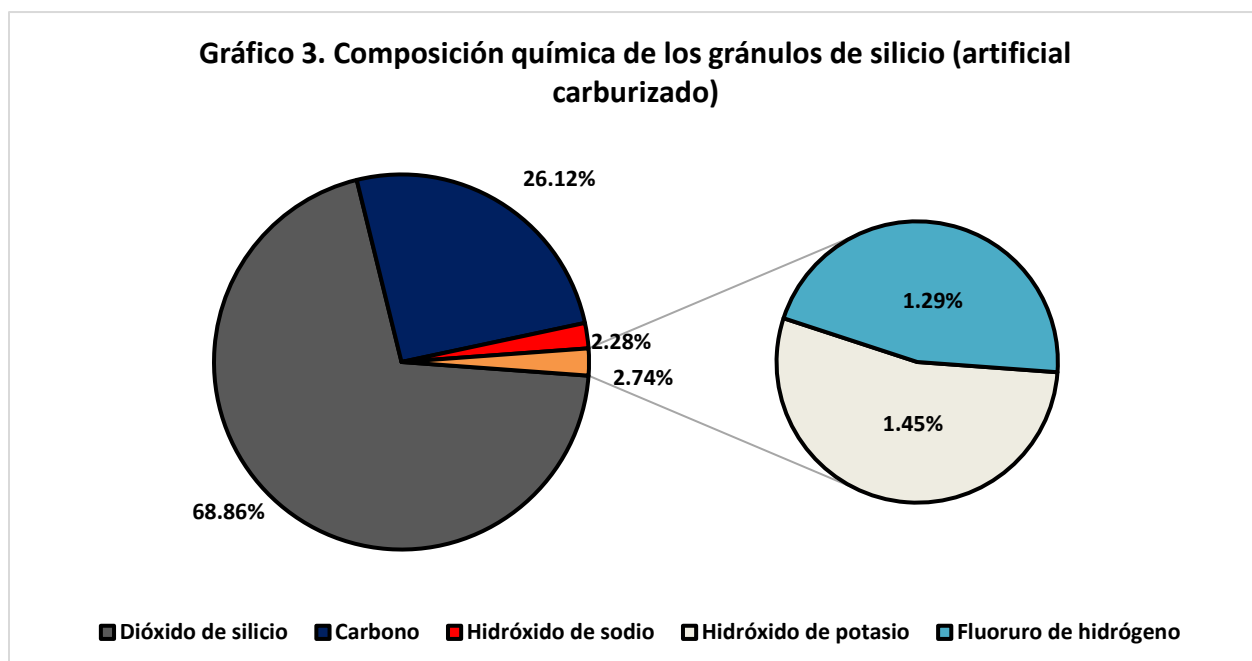
Cabe mencionar, que la madera roble otorga un factor compresión de  $513 \text{ kg/cm}^2$ , que, por ser activada térmicamente, pierde aproximadamente un total del 90% de su masa concentrada al 100%, siendo de gran utilidad el reaprovechamiento residual de este insumo, ya que otorga entre 5% a 10% de su compresión inicial ( $25.65$  a  $51.30 \text{ kg/cm}^2$ ).

## De los gránulos de silicio

Tabla 19. Composición química del gránulo de silicio (artificial carburizado)

Elemento	Símbolo	%
Dióxido de silicio	SiO <sub>2</sub>	68.86
Carbono	C	26.12
Hidróxido de sodio	NaOH	2.28
Hidróxido de potasio	KOH	1.45
Fluoruro de hidrógeno	HF	1.29

Fuente: Laboratorio FIQIA - UNPRG.



Los gránulos de silicio están compuestos por dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) (70.00%), carbono (C) (25.50%), hidróxido de sodio (NaOH) (2.18%), hidróxido de potasio (KOH) (1.25%) y fluoruro de hidrógeno (HF) (1.07%). El dióxido de silicio es el elemento químico responsable de brindarle las características de resistencia y dureza, la cual se estima en 4.60 kg/cm<sup>2</sup>. Esto es muy importante, ya que le ofrece al concreto múltiples características mecánicas ante agentes químicos como son los ácidos y sales, repercutiendo positivamente en la durabilidad de la misma.

## **Potencial de hidrógeno**

Los ensayos de potencial de hidrógeno de las sustituciones parciales del cemento en 20% por las 3 adiciones combinadas de ceniza de madera roble y gránulos de silicio con agreg., han sido ejecutados externamente en la FIQIA - UNPRG, mediante ensayo de potenciómetro de mesa para pH, bajo una muestra relativa de 500 g dosificadas en 0.80 (CPTI): 0.20 (CMR + GS): 2 (AF): 2 (AG).

De acuerdo al informe emitido por los responsables de dicho laboratorio, se consignó los siguientes valores de potencial de hidrógeno:

### **Sustitución del CPTI al 20% por adición combinada (1<sup>era</sup> adición) con agregados**

Del primer experimental (25% CMR + 75% GS), el valor de pH fue de 12.56%.

### **Sustitución del CPTI al 20% por adición combinada (2<sup>da</sup> adición) con agregados**

Del segundo experimental (50% CMR + 50% GS), el valor de pH fue de 12.57%.

### **Sustitución del CPTI al 20% por adición combinada (3<sup>era</sup> adición) con agregados**

Del tercer experimental (75% CMR + 25% GS), el valor de pH fue de 12.61%.

Los valores generales son exhibidos seguidamente (anex. 2) (página 188).

Tabla 20. Potencial de hidrógeno de sustituciones del cemento en 20% por adiciones combinadas con agregados

Mezclas	pH (%)
80% CPTI + 20 % AC (25% CMR + 75% GS) + AF + AG	12.56
80% CPTI + 20 % AC (50% CMR + 50% GS) + AF + AG	12.57
80% CPTI + 20 % AC (75% CMR + 25% GS) + AF + AG	12.61

Fuente: Laboratorio FIQIA - UNPRG.

Leyenda: CPTI = Cemento portland tipo I Pacasmayo.

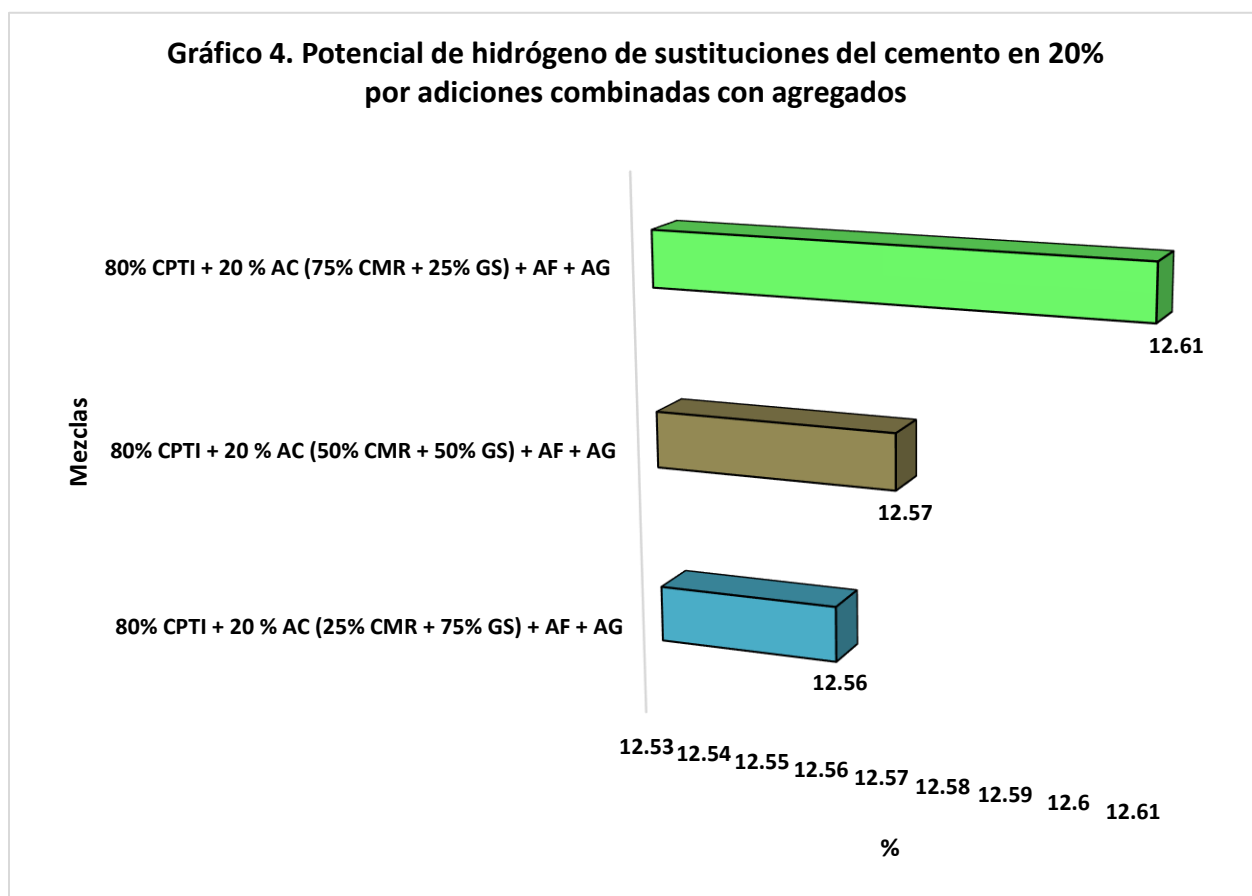
AC = Adición combinada.

CMR = Ceniza de madera roble.

GS = Gránulos de silicio.

AF = Agregado fino.

AG = Agregado grueso.



Como se puede apreciar, los resultados del potencial de hidrógeno son positivos, y de acuerdo a ley conservatoria de materia, toda masa prevalece siempre y cuando sean positivos, o sea, el material consumido es idéntico a la masa resultante del nuevo producto. En este caso, el uso combinado de la ceniza de madera roble y gránulos de silicio, bajo los distintos enfoques técnicos establecidos por norma, influyó de manera positiva sobre el factor compresión y durabilidad de concreto en pavimento rígido.

En pH de la ceniza de madera roble y gránulos de silicio, se tuvo en cuenta sus pesos específicos, los cuales son variables que permitieron medir la calidad de los concretos experimentales, las cuales influyen directamente sobre su eficiencia, masa, volumen, interfaz mecánico como durabilidad. Estas mediciones son necesarias porque permiten cuantificar la consistencia del concreto, la cual puede reducir la capacidad de respuesta si es que no se llega a tomar el valor adecuado en los diseños de mezclas.

En pocas palabras, estos ensayos ayudaron a identificar una mezcla, como también, a determinar cuánta cantidad usaremos y si su composición y medición son correctas. Por lo que los valores determinados, influyeron de manera positiva sobre la compresión y durabilidad de los concretos evaluados, ya que la solución de la mezcla en agua no cambió su volumen ni masa.

### **Ensayos físicos**

Los valores resultantes de arena gru. como piedra triturada ½” provenientes del yacimiento Tres Tomas - Ferreñafe, son los siguientes:

## Agregado fino

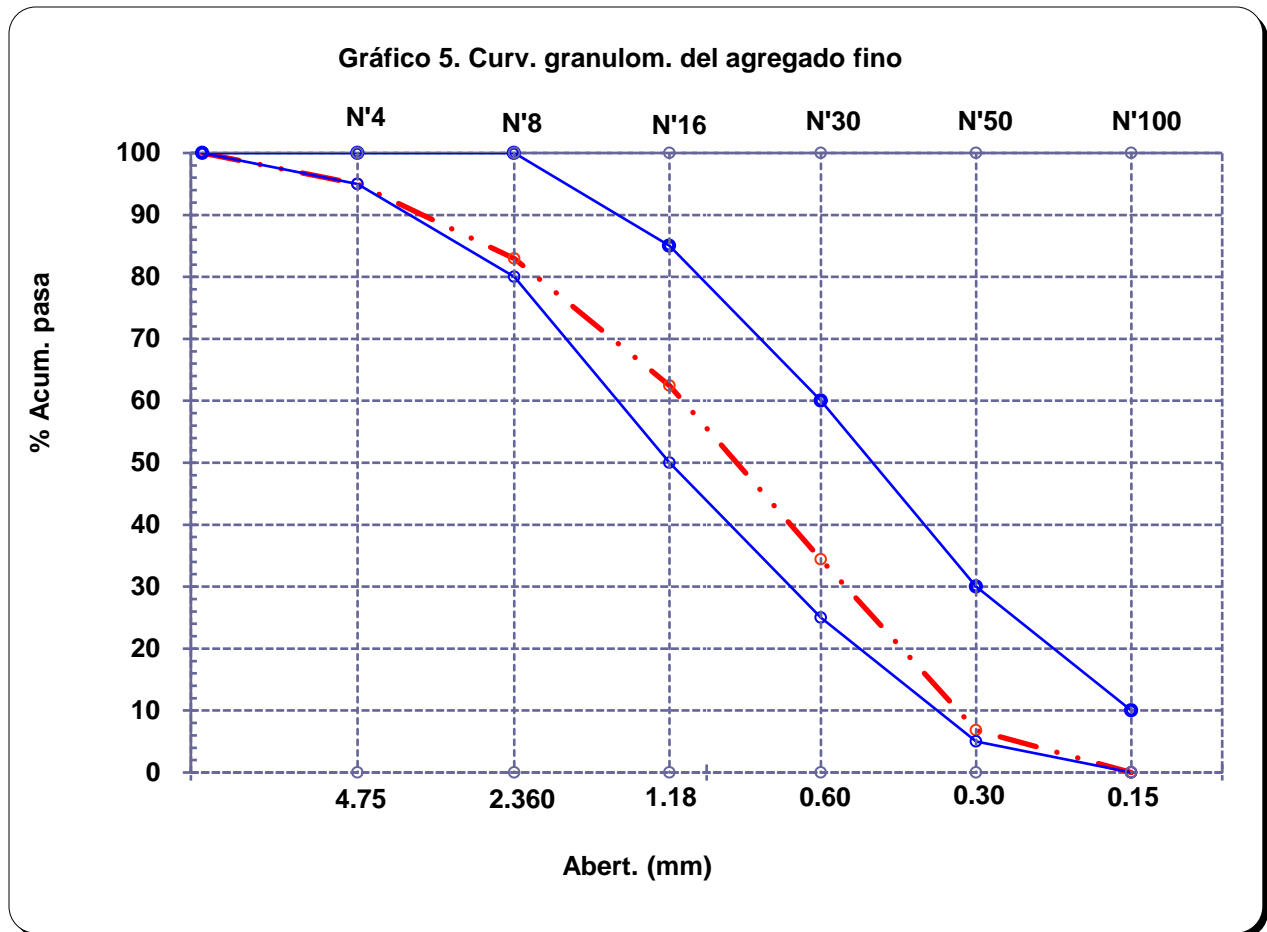
### Granulometría

Tomamos representativamente 772 g en estado húmedo, el cual, fue colocada al horno, cuyo valor de la muestra seca fue de 762 g. Este peso fue sometido mediante técnica de zarandeo en los tamices armados de ½”, 3/8”, N° 04, N° 08, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100, cuyos porcentajes del peso retenido se describen a continuación:

Tabla 21. Porcentajes retenidos en los tamices normalizados para AF

Filtro		P. ret.	(% ret.)	(% acum. ret.)	(% acum. pasante)	Especif.	
in	mm						
0.50	12.7	0	0	0	100	100	100
3/8"	9.5	0	0	0	100	100	100
N° 04	4.75	38	5	5	95	95	100
N° 08	2.36	92	12.1	17.1	82.9	80	100
N° 16	1.18	156	20.5	37.5	62.5	50	85
N° 30	0.6	214	28.1	65.6	34.4	25	60
N° 50	0.3	210	27.6	93.2	6.8	5	30
N° 100	0.15	52	6.8	100	0	0	10
Fondo	-	0	0	100	0	-	-

Fuente: ASTM C-136 - NTP 400.012



De acuerdo a los límites permisibles de la table 5 para granulometría del agregado fino, cuyos porcentuales reten. en mallas: ½", 3/8", #04, #08, #16, #30, #50, #100 cumplen en su totalidad, por lo que la gradación de la arena gruesa cumple con los husos granulométricos, la cual finalmente fue de buena gradación para los diseños de mezclas (ver anexo 3) (página 191).

### **Peso unitario seco suelto**

Se calculó por medio de la siguiente expresión matemática:

$$PUSS = \frac{W_{\text{suelto}}(\text{kg})}{V_{\text{recipiente}}(\text{m}^3)}$$

Dónde:

PUSS = Peso unitario seco suelto.

$W_S$  = P. esparcido.

$V_R$  = Vol. frasco.

Tabla 22. P. unit. seco suelto AF

Descripción	Und	Cantidad A	Cantidad B
1.- P. muestra + recip.	g	8350	8520
2.- P. recip.	g	0.0	0.0
3.- P. material	g	8350	8520
4.- Const.	m <sup>3</sup>	0.00548	0.00548
5.- P. unit. hum.	kg/m <sup>3</sup>	1524	1555
6.- P. unit. seco (prom.)	kg/m <sup>3</sup>	<b>1519</b>	

Fuente: Norma NTP-400.017

Cogimos dos muestras representativas en 8350 y 8520 g para un volumen de molde de ensayo de 0.00548 m<sup>3</sup> (0.152 m de diámetro x 0.302 m de altura), cuyo valor resultante del peso unitario seco suelto fue de 1519 g (ver anexo 4) (página 192).

### **Peso unitario seco compactado**

Se calculó por medio de la siguiente expresión matemática:

$$PUSC = \frac{W_{\text{compactado}}(\text{kg})}{V_{\text{recipiente}}(\text{m}^3)}$$

Dónde:

PUSC = Peso unitario seco compactado.

$W_C$  = P. compacto.

$V_R$  = Vol. vaso.

Tabla 23. P. unit. seco compactado AF

Descripción	Und	Cantidad A	Cantidad B
1.- P. muestra + recip.	g	<b>9620</b>	<b>9770</b>
2.- P. recip.	g	0.0	0.0
3.- P. material	g	9620	9770
4.- Const.	m <sup>3</sup>	0.00548	0.00548
5.- P. unit. hum.	kg/m <sup>3</sup>	1755	1783
6.- P. unit. seco (prom.)	kg/m <sup>3</sup>	<b>1746</b>	

Fuente: Norma ASTM C-29

Escogimos dos muestras representativas en 9620 y 9770 g para un volumen de molde de ensayo de 0.00548 m<sup>3</sup> (0.152 m de diámetro x 0.302 m de altura), cuyo valor resultante del peso unitario seco compactado fue de 1746 g (ver anexo 4) (página 192).

### Peso específico y contenido de absorción

Mediante correlaciones:

$$PE_{Masa} = \frac{G}{J - F}$$

En que:

$PE_{Masa}$  = P. especif.

G = P. arena seca en estufa.

J = Vol. contenedor.

F = P. agua.

$$PE_{Masa_{SSS}} = \frac{500}{J - F}$$

Dónde:

$PE_{Masa_{SSS}}$  = P. especif. masa sat. superf. seca.

J = Vol. envase.

F = P. agua.

$$PE_{\text{Apararente}} = \frac{G}{(J - F) - (500 - G)}$$

En que:

$PE_{\text{Apar.}}$  = P. específ. apar.

G = P. seca en estufa.

J = Vol. receptáculo.

F = P. agua.

$$\% \text{ Absorc.} = \frac{(500 - G)}{G} (100)$$

En que:

% Absorc. = Porciento absorc.

G = P. arena seca en estufa.

Tabla 24. Peso específ. contenido absorción AF

Descripción	Und	Cantidad A	Cantidad B
1.- P. arena sup. seca + p. recip. + p. agua	g	<b>949.9</b>	<b>949.9</b>
2.- P. arena sup. seca + p. recip.	g	642.77	642.77
3.- P. agua	g	307.08	307.08
4.- P. arena seca + p. recip.	g	642.09	642.09
5.- P. recip.	g	<b>142.77</b>	<b>142.77</b>
6.- P. arena seca	g	<b>499</b>	<b>499</b>
7.- Vol. recip.	g	500	500
A.- P. específ. masa	g/cm <sup>3</sup>	<b>2.588</b>	
B.- P. específ. masa sat. superf. seco	g/cm <sup>3</sup>	2.592	
C.- P. específ. apar.	g/cm <sup>3</sup>	2.597	
D.- Porciento absorc.	%	<b>0.14</b>	

Fuente: ASTM-C128

Se tomó dos muestras representativas saturadas superficialmente secas de 500 g, con un peso de frasco de 142.8 g y 949.9 g, el cual, al ser colocada en el horno, se obtuvo un peso seco de 499.3 g, cuyo valor resultante fue 2.588 g/cm<sup>3</sup> con un contenido absorbente a 0.14% (ver anexo 5) (página 193).

### Módulo de finura

Se calculó mediante la siguiente expresión:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenidos acumulados}_{\text{mallas}}(1/2'' \text{ hasta la N}^\circ 100)}{100}$$

Dónde:

MF = Mod. Fineza AF.

Tabla 25. Mod. fineza agreg. fino

<b>Malla</b>	<b>% ret.</b>
<b>Pulg.</b>	<b>acum.</b>
1/2"	0
3/8"	0
Nº 04	5
Nº 08	17.1
Nº 16	37.5
Nº 30	65.6
Nº 50	93.2
Nº 100	100
<b>MF =</b>	<b>3.184</b>

Fuente: Norma ASTM C-

Refleja la dimensión media de los granos de arena. Sirve para verificar la uniformización en finos. Del NTP 400.012 erige que la fineza esté comprendida entre 2.35 a 3.2, del cual, podemos notar que fue 3.184 (ver anexo 3) (página 191).

### Contenido de humedad

Se determinó mediante la siguiente expresión:

$$K(\%) = \frac{(L_h - L_s)}{L_s} * 100$$

En que:

K (%) = Humedad.

$L_h$  = P. agreg. est. húmedo (kg).

$L_s$  = Volumen agreg. est. seco (kg).

Tabla 26. Cont. Hum. AF

Descripción	Und	Cantidad A	Cantidad B
A.- P. muestra hum.	g	<b>772</b>	<b>772</b>
B.- P. muestra seca	g	<b>762</b>	<b>762</b>
C.- P. recip.	g	0.0	0.0
D.- Cont. hum.	%	1.3	1.3
E.- Cont. humedad (prom.)	%	<b>1.31</b>	

Fuente: Norma ASTM C-535 y NTP 339.185

Se tomó dos muestras representativas secas de 762 g y de 772 g como muestras húmedas, cuyo valor resultante del contenido de humedad fue de 1.31% (ver anexo 6) (página 194).

## Agregado grueso

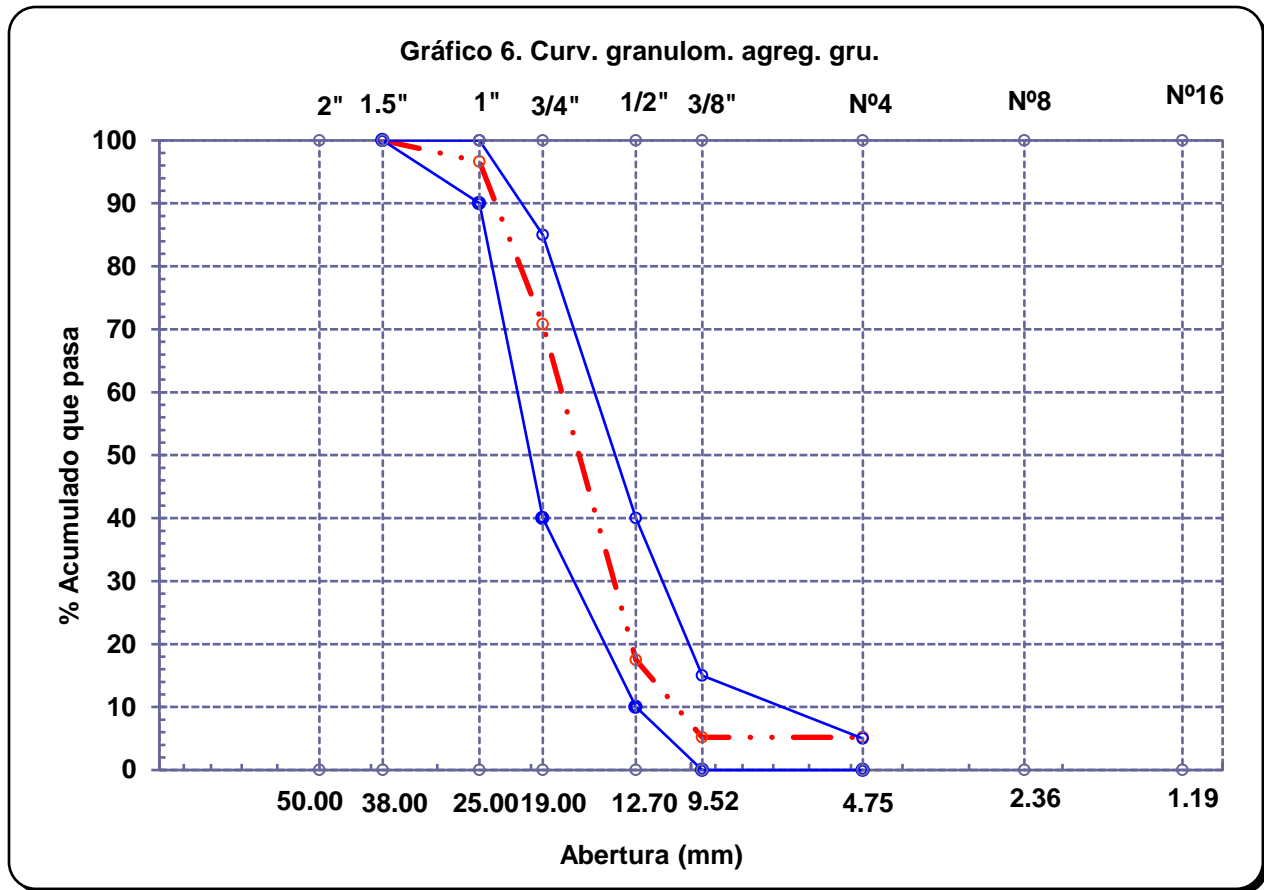
### Granulometría

Seleccionamos representativamente 2320 g de estado húmedo, el cual, fue colocada al horno, cuyo valor de la muestra seca fue de 2310 g. Este peso fue sometido mediante técnica de zarandeo en los tamices armados de 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 04, N° 08 y N° 16, cuyos porcentajes del peso retenido se describen a continuación:

Tabla 27. Porcentajes retenidos en los tamices normalizados para AG

Filtro		P. ret.	(% ret.	(% acum. ret.	(% acum. pasante	Especif. USO 56	
Pulg.	mm						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	78.0	3.4	3.4	96.6	90.0	100.0
3/4"	19.00	596.0	25.8	29.2	70.8	40.0	85.0
1/2"	12.70	1232.0	53.3	82.5	17.5	10.0	40.0
3/8"	9.52	284.0	12.3	94.8	5.2	0.0	15.0
N° 04	4.75	0.0	0.0	94.8	5.2	0.0	5.0
N° 08	2.36	30.0	1.3	96.1	3.9	0.0	0.0
N° 16	1.19	6.0	0.3	96.4	3.6	0.0	0.0
Fondo		0.7	0.0	96.4	3.6		

Fuente: ASTM-C136



De acuerdo a los límites permisibles de la table 6 para granulometría del agregado grueso, cuyos porcentos ret. en mallas: 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", #04, #08 y #16 cumplen en su totalidad, por lo que la gradación de la piedra chancada de 1/2" cumple con los husos granulométricos, la cual finalmente fue de buena gradación para los diseños de mezclas (ver anexo 7) (página 195).

### **Tamaño máximo y máx. nominal**

Se entiende por TM, a la malla inferior del cual totalmente la muestra puede ingresar, mientras el TMN, al mínimo tamiz donde la gran cantidad de muestra pasa.

Para efectos del ensayo granulométrico, precisamente el TM se da en la malla 1"; mientras que el TMN se da en la malla ¾" (ver anexo 7) (página 195).

### Peso unitario seco suelto

Se calculó por medio de la siguiente expresión matemática:

$$PUSS = \frac{W_{\text{suelto}}(\text{kg})}{V_{\text{recipiente}}(\text{m}^3)}$$

En que:

PUSS = P. unit. seco esparcido.

Ws = Peso suelto.

VR = Vol. vaso.

Tabla 28. P. unit. seco esparcido AG

Descripción	Und	Cantidad A	Cantidad B
1.- P. muestra + recip.	g	7920	7990
2.- P. recip.	g	0.0	0.0
3.- P. material	g	7920	7990
4.- Const.	m <sup>3</sup>	0.00544	0.00544
5.- P. unit. hum.	kg/m <sup>3</sup>	1455	1468
6.- P. unit. seco (prom.)	kg/m <sup>3</sup>	<b>1455</b>	

Fuente: Norma ASTM-C29

Separamos dos muestras representativas en 7920 y 7990 g para un volumen de molde de ensayo de 0.00544 m<sup>3</sup> (0.152 m de diámetro x 0.30 m de altura), cuyo valor resultante del peso unitario seco suelto fue de 1455 g (ver anexo 8) (página 196).

### Peso unitario seco compactado

Se calculó por medio de la siguiente expresión matemática:

$$PUSC = \frac{W_{\text{compactado}}(\text{kg})}{V_{\text{recipiente}}(\text{m}^3)}$$

En que:

PUSC = P. unit. seco compactado.

WC = P. compacto.

VR = Vol. receptáculo.

Tabla 29. P. unit. seco compacto AG

Descripción	Und	Cantidad A	Cantidad B
1.- P. muestra + recip.	g	<b>8370</b>	<b>8390</b>
2.- P. recip.	g	0.0	0.0
3.- P. material	g	8370	8390
4.- Const.	m <sup>3</sup>	0.00544	0.00544
5.- P. unit. hum.	kg/m <sup>3</sup>	1538	1541
6.- P. unit. seco (prom.)	kg/m <sup>3</sup>	<b>1533</b>	

Fuente: Norma NTP-400.017

Elegimos dos muestras representativas en 8370 y 8390 g para un volumen de molde de ensayo de 0.00544 m<sup>3</sup> (0.152 m de diámetro x 0.30 m de altura), cuyo valor resultante del peso unitario seco compactado fue de 1533 g (ver anexo 8) (página 196).

### Peso específico y contenido de absorción

Calculado con correlaciones:

$$PE_{\text{Masa}} = \frac{G}{F}$$

En que:

$PE_{Masa} = P.$  específ. masa.

$G = P.$  seco aire.

$F = \text{Vol. masa} + \text{vol. huevos.}$

$$PE_{MasaSSS} = \frac{N}{F}$$

Dónde:

$PE_{MasaSSS} = P.$  específ. masa sat. superf. seca.

$N = P.$  muestra sat. superf. seca aire.

$F = \text{Vol. masa} + \text{vol. huecos.}$

$$PE_{Aparente} = \frac{G}{J}$$

Dónde:

$PE_{Apar.} = P.$  específ. apar.

$G = P.$  seco aire.

$J = \text{Vol. masa.}$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(N - G)}{G} * 100$$

En que:

$\% \text{ Absorc.} = \text{Porciento absorc.}$

$N = P.$  muestra sat. Superf. seca aire.

$G = P.$  seco aire.

Tabla 30. P. específ. con contenido de absorc. agreg. gru.

Descripción	Und	Cantidad A	Cantidad B
1.- P. muestra secada en estufa	g	1610	1560
2.- P. muestra superf. seca	g	1620	1580
3.- P. muestra en agua + p. canastilla	g	1850	1820
4.- P. canastilla	g	880	880
5.- P. muestra sat. en agua	g	970	940
A.- P. específ. masa	g/cm <sup>3</sup>	2.457	
B.- P. específico masa saturada superficialmente seco	g/cm <sup>3</sup>	2.481	
C.- P. específico apar.	g/cm <sup>3</sup>	2.516	
D.- Por ciento absorc.	%	0.95	

Fuente: ASTM-C128

Se tomó dos muestras representativas secas al horno de 1610 y 1560 g, con pesos saturados superficialmente secos de 1620 y 1580 g, 880 g (peso de la canastilla), 1850 y 1820 g, en los cuales hallamos 2.457 g/cm<sup>3</sup> con contenido absorbente a 0.95% (ver anexo 5) (página 193).

### Contenido de humedad

Se determinó mediante la siguiente expresión:

$$K(\%) = \frac{(L_h - L_s)}{L_s} * 100$$

En que:

K(%) = Peso específico aparente.

L<sub>h</sub> = P. agreg. est. hum.

L<sub>s</sub> = Vol. agreg. est. seco.

Tabla 31. Cont. hum. agreg. gru.

Descripción	Und	Cantidad A	Cantidad B
A.- P. muestra hum.	g	<b>6110</b>	<b>6110</b>
B.- P. muestra seca	g	<b>6090</b>	<b>6090</b>
C.- P. recip.	g	0.0	0.0
D.- Cont. hum.	%	0.3	0.3
E.- Cont. hum. (prom.)	%	<b>0.33</b>	

Fuente: Norma ASTM C-535 y NTP 339.185

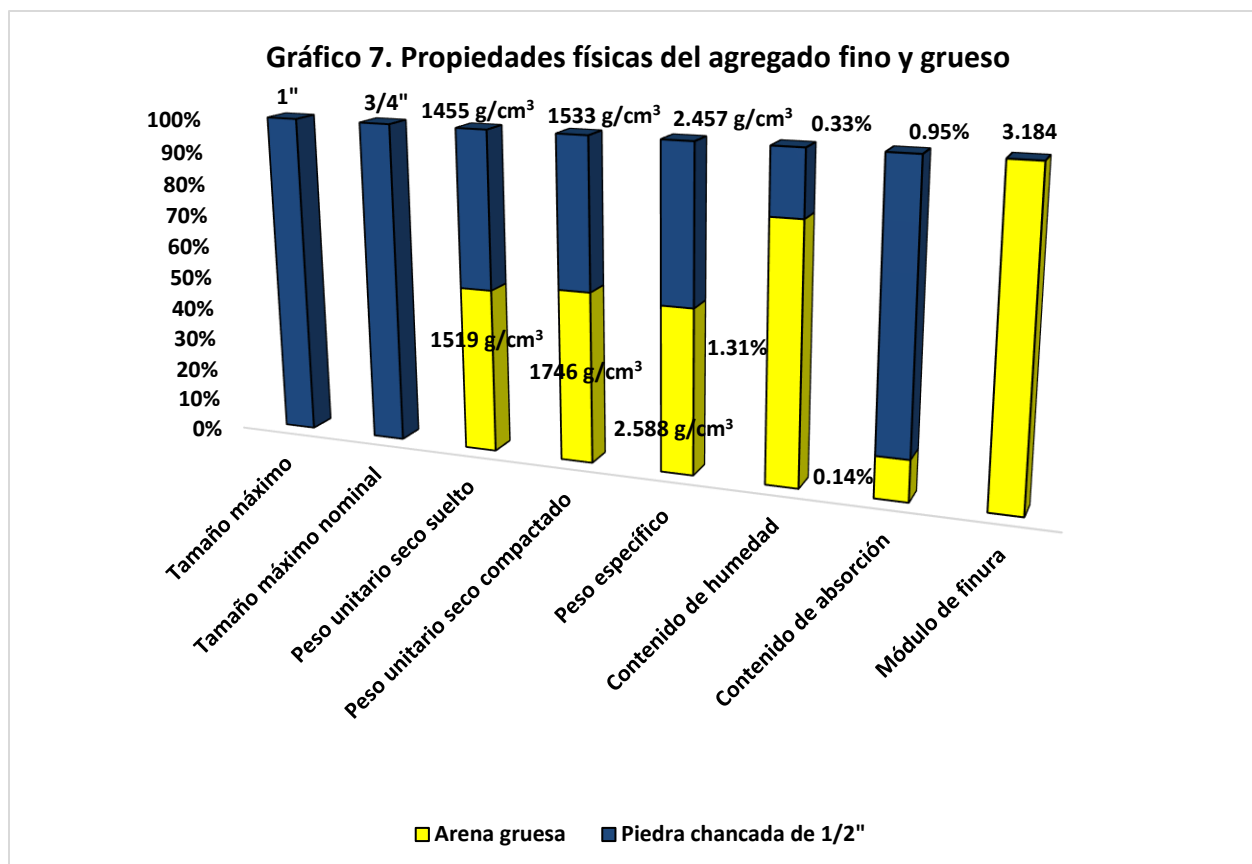
Se tomó dos muestras representativas secas de 6090 g y de 6110 g como muestras húmedas, cuyo valor resultante del contenido de humedad fue de 0.33% (ver anexo 6) (página 194).

En resumen, se indica la singularización física en la arena gruesa y piedra chancada de ½”.

Tabla 32. Caracterización física de los agregados

Descripción	Und	AF	AG
TM	in	-	1.00
TMN	in	-	0.75
P. unit. seco esparcido	g/cm <sup>3</sup>	1519	1455
P. unit. seco compacto	g/cm <sup>3</sup>	1746	1533
P. especif.	g/cm <sup>3</sup>	2.588	2.457
Cont. hum.	%	1.31	0.33
Contenido absorc.	%	0.14	0.95
Módulo de finura	Adimensional	3.184	-

Propia.



Estos resultados fueron empleados para los diseños de mezclas de concreto convencional y experimental respectivamente (ver anexos 3, 4, 5, 6, 7 y 8) (páginas 191, 192, 193, 194, 195 y 196).

## De la ceniza de madera roble

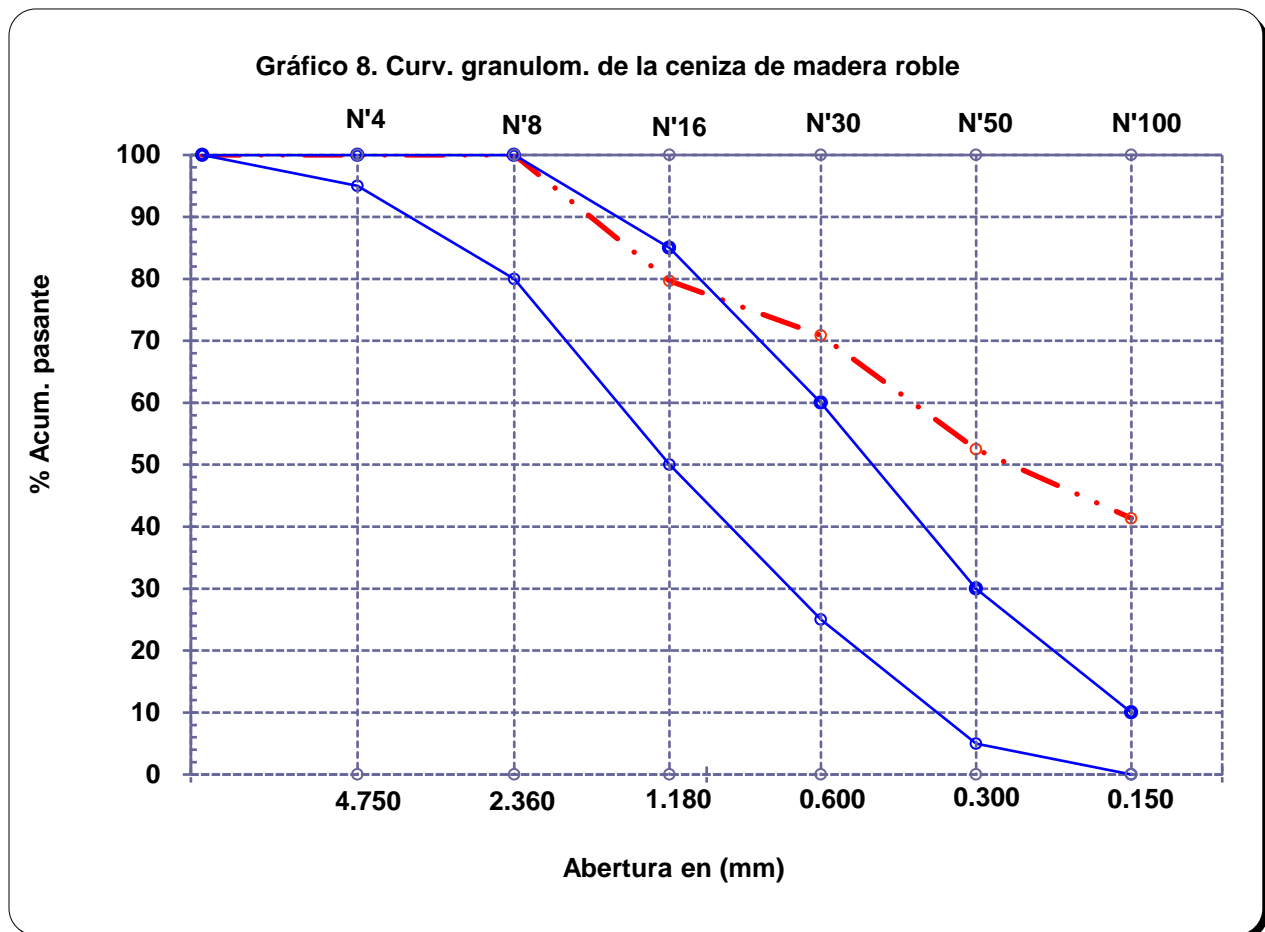
### Granulometría

Cogimos 50 g húmedo, el cual, fue colocada al horno, cuyo valor de la muestra seca fue de 50 g. Este peso fue sometido mediante técnica de zarandeo en los tamices armados de 1/2", 3/8", N° 04, N° 08, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100, cuyos porcentajes del peso retenido se describen a continuación:

Tabla 33. Porcentajes retenidos en los tamices normalizados para ceniza de madera roble

Filtro		Peso ret.	(% ret.)	(% acum. ret.)	(% acum. pasante)	Especif.	
in	mm						
0.50	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	0	0.0	0.0	100.0	95	100
Nº 08	2.360	0	0.0	0.0	100.0	80	100
Nº 16	1.180	10.153	20.3	20.3	79.7	50	85
Nº 30	0.600	4.388	8.8	29.1	70.9	25	60
Nº 50	0.300	9.194	18.4	47.5	52.5	5	30
Nº 100	0.150	5.6	11.2	58.6	41.4	0	10
Fondo	-	20.685	41.4	100.0	0.0	-	-

Fuente: ASTM-C136



De acuerdo a los límites permisibles de la table 5 para granulometría de agregados finos, cuyos porcentos ret. en mallas: 1/2", 3/8", #04, #08 y #16, cumplen en su totalidad, a excepción de las mallas N° 30, N° 50 y N° 100, por lo que la gradación de la ceniza de madera roble no cumple con los husos granulométricos, la cual finalmente fue de mala gradación para los diseños de mezclas (ver anexo 9) (página 197).

### **Peso específico y contenido de absorción**

Por medio de correlaciones:

$$PE_{Masa} = \frac{G}{J - F}$$

En que:

$PE_{Masa}$  = P. específ. masa.

G = P. muestra seca en estufa.

J = Vol. envase.

F = P. agua.

$$PE_{MasaSSS} = \frac{500}{J - F}$$

Dónde:

$PE_{MasaSSS}$  = P. masa sat. superf. seca.

J = Vol. vaso.

F = P. agua.

$$PE_{Apar.} = \frac{G}{(J - F) - (500 - G)}$$

En que:

$PE_{Apar.}$  = P. específ. apar.

G = P. muestra seca en estufa.

J = Vol. receptáculo.

F = P. agua.

$$\% \text{ Absorc.} = \frac{(500 - G)}{G} (100)$$

En que:

% Absorc. = Porciento absorc.

G = P. muestra seca en estufa.

Tabla 34. P. específ. con contenido absorc. ceniza madera roble

Descripción	Und	Cantidad A	Cantidad B
1.- P. muestra sup. seca + p. vaso + p. agua	g	<b>917.2</b>	<b>917.2</b>
2.- P. muestra sup. seca + p. vaso	g	642.77	642.77
3.- P. agua	g	274.45	274.45
4.- P. muestra secada en estufa + p, vaso	g	642.07	642.07
5.- P. vaso	g	<b>142.77</b>	<b>142.77</b>
6.- P. muestra secada en estufa	g	<b>499</b>	<b>499</b>
7.- Vol. vaso	g	500	500
A.- P. especif. masa	g/cm <sup>3</sup>	<b>2.214</b>	
B.- P. especif. masa sat. superf. seco	g/cm <sup>3</sup>	2.217	
C.- P. especif. apar.	g/cm <sup>3</sup>	2.221	
D.- Porciento absorc.	%	<b>0.14</b>	

Fuente: NTP-400.022

Se tomó dos muestras representativas saturadas superficialmente secas de 500 g, con un peso de frasco de 142.77 g y 917.2 g, el cual, al ser colocada en el horno, se obtuvo un peso seco de 499 g, cuyo valor resultante fue 2.214 g/cm<sup>3</sup> con un contenido absorbente a 0.14% (ver anexo 10) (página 198).

## De los gránulos de silicio

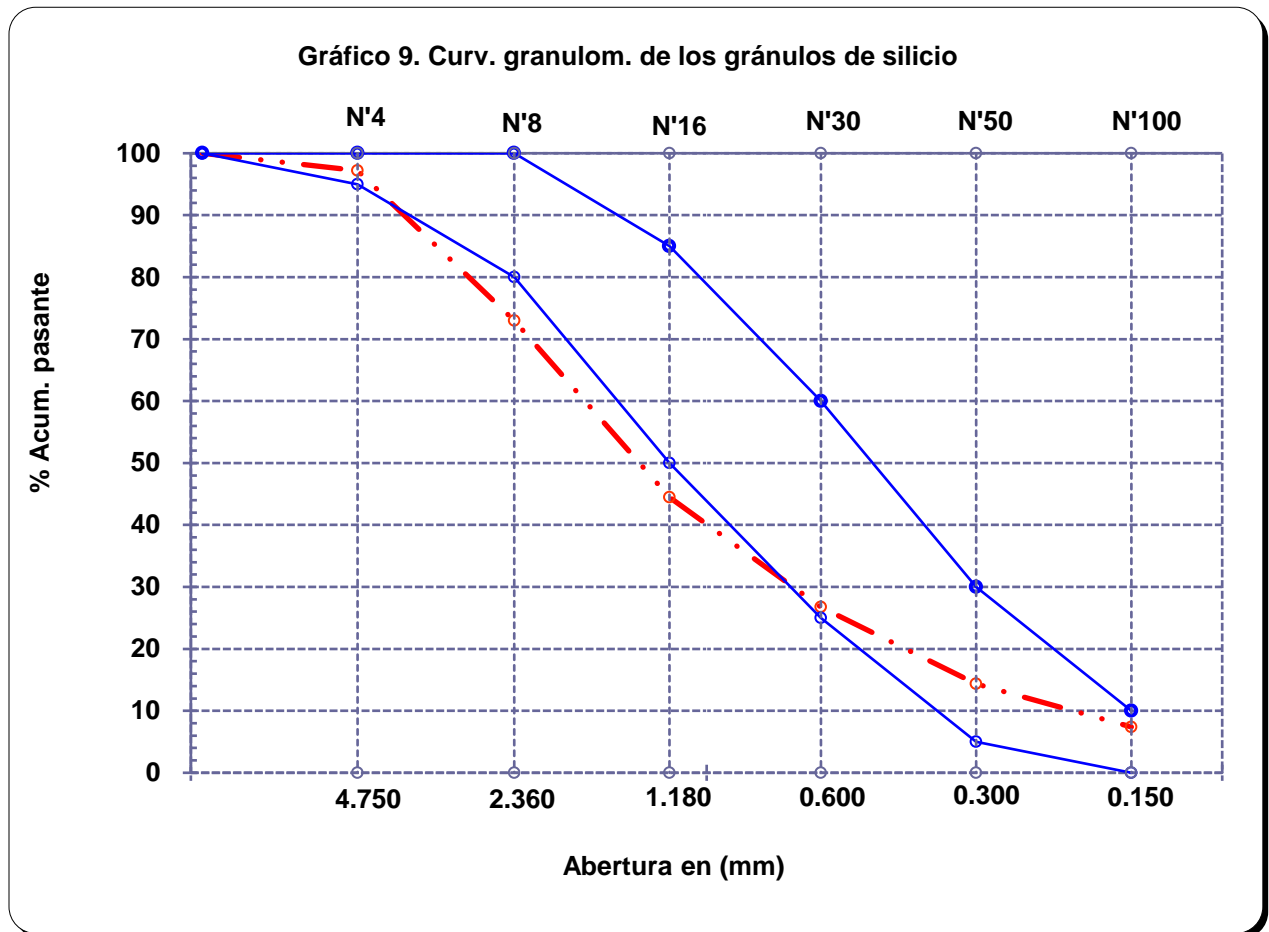
### Granulometría

Escogimos 885 g húmedo, el cual, fue colocada al horno, cuyo valor de la muestra seca fue de 885 g. Este peso fue sometido mediante técnica de zarandeo en los tamices armados de ½", 3/8", N° 04, N° 08, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100, cuyos porcentajes del peso retenido se describen a continuación:

Tabla 35. Porcentajes retenidos en los tamices normalizados para gránulos de silicio

Filtro		Peso ret.	(% ret.)	(% acum. ret.)	(% acum. pasante)	Especif.	
in	mm						
0.50	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
N° 04	4.750	24.8	2.8	2.8	97.2	95	100
N° 08	2.360	214.28	24.2	27.0	73.0	80	100
N° 16	1.180	252.46	28.5	55.5	44.5	50	85
N° 30	0.600	156.95	17.7	73.3	26.7	25	60
N° 50	0.300	109.31	12.4	85.6	14.4	5	30
N° 100	0.150	61.7	7.0	92.6	7.4	0	10
Fondo	-	65.5	7.4	100.0	0.0	-	-

Fuente: ASTM-C136



De acuerdo a los límites permisibles de la table 5 para granulometría de agregados finos, cuyos porcentos reten. en mallas: 0.50 in, 3/8", #04, #30, #50 y #100, cumplen en su totalidad, a excepción de las mallas N° 08 y N° 16, por lo que la gradación de los gránulos de silicio no cumple con los husos granulométricos, la cual finalmente fue de mala gradación para los diseños de mezclas (ver anexo 11) (página 199).

### **Peso específico y contenido de absorción**

A través de correlaciones:

$$PE_{Masa} = \frac{G}{J - F}$$

En que:

$PE_{Masa} = P.$  específ. masa.

$G = P.$  muestra seca en estufa.

$J = \text{Vol. vaso.}$

$F = P.$  agua.

$$PE_{Masa_{SSS}} = \frac{500}{J - F}$$

Dónde:

$PE_{Masa_{SSS}} = P.$  específ. masa sat. superf. seca.

$J = \text{Vol. receptáculo.}$

$F = P.$  agua.

$$PE_{Apar.} = \frac{G}{(J - F) - (500 - G)}$$

En que:

$PE_{Apar.} = P.$  específ. apar.

$G = P.$  muestra seca en estufa.

$J = \text{Vol. envase.}$

$F = P.$  agua.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(500 - G)}{G} (100)$$

En que:

$\% \text{ Absorc.} = \text{Porciento absorc.}$

$G = P.$  muestra seca en estufa.

Tabla 36. P. específ. con cont. absorc. gránulos de silicio

Descripción	Und	Cantidad A	Cantidad B
1.- P. muestra sup. seca + p. envase + p. agua	g	<b>984.7</b>	<b>984.7</b>
2.- P. muestra sup. seca + p. envase	g	642.77	642.77
3.- P. agua	g	341.91	341.91
4.- P. muestra secada en estufa + p. envase	g	642.07	642.07
5.- P. envase	g	<b>142.77</b>	<b>142.77</b>
6.- P. muestra secada en estufa	g	<b>499</b>	<b>499</b>
7.- Vol. envase	g	500	500
A.- P. específ. masa	g/cm <sup>3</sup>	<b>3.158</b>	
B.- P. específ. masa sat. superf. seco	g/cm <sup>3</sup>	3.163	
C.- P. específ. apar.	g/cm <sup>3</sup>	3.172	
D.- Porcentaje absorc.	%	<b>0.14</b>	

Fuente: NTP-400.022

Se tomó dos muestras representativas saturadas superficialmente secas de 500 g, con un peso de frasco de 142.77 g y 984.7 g, el cual, al ser colocada en el horno, se obtuvo un peso seco de 499 g, cuyo valor resultante fue 3.158 g/cm<sup>3</sup> con un contenido absorbente a 0.14% (ver anexo 12) (página 200).

### Diseños de mezclas por resistencia y durabilidad (método ACI – 211)

Permitió obtener un producto resistente y durable, por ende, se describe el diseño con mezcla convencional en 280 kg/cm<sup>2</sup> para pavimentos rígidos. Del mismo modo, se detallan los diseños de mezclas experimentales con las tres adiciones combinadas de ceniza de madera roble y gránulos de silicio:

- ✓ 1<sup>era</sup> adición: 25% CMR + 75% GS.
- ✓ 2<sup>da</sup> adición: 50% CMR + 50% GS.
- ✓ 3<sup>era</sup> adición: 75% CMR + 25% GS.

Las adiciones mencionadas fueron sustituidas bajo el siguiente criterio: 80% CPTI + 20 % (CMR + GS). En tal sentido, se hicieron las mezclas por resistencia y durabilidad según ACI 211, con fin de observar y analizar los resultados obtenidos, cuyos cálculos realizados, se basan en los siguientes fundamentos (ver anexos 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20 y 21) (páginas 201, 204, 207, 210, 215, 218, 221 y 224):

- a. Se especificó los datos resultantes del cemento, agregados y materiales sustituyentes (pesos específicos, pesos secos sueltos y compactados, módulo de finura, hum. como de absorberencia), TMN AG, agua.
- b. Se definió el tipo de elemento a vaciar (pavimentos) para diseños de mezclas sin aditivo y sin aire incorporado según clima de la zona de estudio (Chiclayo).

Tabla 37. Tipo de mezcla según clima

Clima	Mezcla
Frío	Con aire incorporado
Cálido	Sin aire incorporado

Fuente: ACI - 211

- c. Se estableció la resistencia mínima requerida en base a  $280 \text{ kg/cm}^2$ .

Tabla 38. Resistencia mínima requerida

$f'c: \text{kg/cm}^2$	$f'cr: \text{kg/cm}^2$
$210 <$	$f'c + 70.00$
$210 - 350$	$f'c + 84.00$
$> 350$	$f'c + 98.00$

ACI 211

$$f'_{cr} = 280 + 84$$

$$f'_{crequerido} = 364 \text{ kg/cm}^2$$

- d. Se seleccionó un asent. teórico en pavimento rígido 3”.

Tabla 39. Asentamiento según elemento

Tipo de estructura	Slump <sub>mín</sub>	Slump <sub>máx</sub>
Zapatas y sobrecimientos reforzados	1.00	3.00
Cimentación simple y calzadura	1.00	3.00
Vigas y placas	1.00	4.00
Columnas	2.00	4.00
Losas	1.00	3.00
Pavimentos	1.00	3.00
Concreto ciclópeo	1.00	2.00

Fuente: ACI - 211

- e. Se eligió la consistencia esperada de 3” en función al asentamiento teórico.

Tabla 40. Consistencia esperada

Cons.	Asent.
Seca	2 pulg ≤
Moldeable	3 pulg – 4 pulg
Esparcida	> 5 pulg

ACI 211

- f. Definimos un contenido en aire atrapado de 2% según TMN del agreg. gru. 3/4”.

Tabla 41. Por ciento aire atrap.

Concreto sin aire								
TMN AG (in)	0.375	0.50	0.75	1	1.50	2	3	4
Aire atrap. (%)	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50	0.30	0.20
Concreto con aire								
TMN AG (in)	0.375	0.50	0.75	1	1.50	2	3	4
<u>Grado de exposición</u>								
Poca	4.50	4.00	3.50	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00
Intermedia	8.00	5.50	5.00	4.50	4.50	4.00	3.50	3.00
Bastante	7.50	7.00	6.00	6.00	5.50	5.00	4.50	4.00

Fuente: ACI - 211

**a/c en resistencia**

- g. Se estableció el a/c para concreto convencional por resistencia mediante interpolación, según  $f'_{cr}$ .

Tabla 42. a/c según edad

$f'_{c}$ 28 días	Sin aire	Con aire
450.00	0.38	-
400.00	0.43	-
350.00	0.48	0.40
300.00	0.55	0.46
250.00	0.62	0.53
200.00	0.70	0.61
150.00	0.80	0.71

ACI 211

$$400 = 0.43$$

$$364 = x$$

$$350 = 0.48$$

$$\frac{x - 0.43}{364 - 400} = \frac{0.48 - 0.43}{350 - 400}$$

**x = 0.466 (relación a/c concreto convencional por resistencia)**

- h. En base a la relación a/c del concreto convencional, se determinaron las relaciones a/c por resistencia para los concretos experimentales, teniendo en cuenta los pH de las sustituciones parciales del cemento en 20% por incorporación combinada del CMR con gránulos silicio con agregados.

$$\text{pH (1}^{\text{era}} \text{ adición)} = 12.56\%$$

$$\text{pH (2}^{\text{da}} \text{ adición)} = 12.57\%$$

$$\text{pH (3}^{\text{era}} \text{ adición)} = 12.61\%$$

$$a/c_{\text{experimental}} = a/c_{\text{convencional}} + (\text{pH}_{\text{adición}}/100)$$

$$a/c_{\text{experimental}} = 0.466 + (12.56/100)$$

$$a/c_{\text{experimental}} = \mathbf{0.592 \text{ (1}^{\text{era}} \text{ adición) por resistencia}}$$

$$a/c_{\text{experimental}} = 0.466 + (12.57/100)$$

$$a/c_{\text{experimental}} = \mathbf{0.592 \text{ (2}^{\text{da}} \text{ adición) por resistencia}}$$

$$a/c_{\text{experimental}} = 0.466 + (12.61/100)$$

$$a/c_{\text{experimental}} = \mathbf{0.592 \text{ (3}^{\text{era}} \text{ adición) por resistencia}}$$

### **Relación agua/cemento por durabilidad**

Se tuvo en cuenta datos técnicos obtenidos de investigaciones realizadas, con el fin de definir la concentración total de sulfatos presentes.

De acuerdo al estudio geotécnico para fines de cimentación de estructuras de un edificio comercial de 5 niveles, ubicado en la Calle Alfredo Lapoint (Chiclayo, 2012), dirigido por el Ing. Martínez Santos Jorge Luis, determinó una concentración total de sulfatos en el suelo de 106.80 ppm, siendo esta de condición moderada. Del mismo modo, Pérez Gonzales D. & Llauce Dávila Y., realizaron su investigación en el Pueblo Joven Las Dunas – Chiclayo, 2021”, en la cual, determinaron una concentración total de sulfatos moderada en el suelo de 524 ppm. De lo expuesto, se consideró una concentración total de sulfatos promedio de 600 ppm.

Tabla 43. a/c según concentración de sulfatos (ppm)

Exp. sulfatos	Sulfatos solubles suelo % masa	Sulfatos agua (ppm)	Clase cem.	a/c máx. masa (1)	f'c mín. (MPa)
Insignificante	0.00 - 0.10	0.00 - 150.00	-	-	-
Medio (2)	0.10 - 0.20	150.00 - 1500.00	II (3)	0.50	28.00
Fuerte	0.20 - 2.00	150.00 - 10000	V	0.45	32.00
Muy fuerte	> 2.00	> 10000.00	V puzolanas (4)	0.45	32.00

Fuente: ACI - 211

**a/c = 0.50 (relación a/c concreto convencional por durabilidad)**

Para concentraciones de sulfatos moderados, la norma ACI – 211 recomienda el empleo del cemento tipo II o MS, del cual, en pavimentos, optamos usar especificaciones técnicas cementantes de clase I, dado que suele emplearse comúnmente para estas estructuras, cuyo diseño de mezclas no cumplirá ninguna especificación especial ajena al de sulfatos.

De la relación a/c convencional por durabilidad, se determinaron las demás relaciones experimentales en función de los pH obtenidos.

$$\text{pH (1}^{\text{era}} \text{ adición)} = 12.56\%$$

$$\text{pH (2}^{\text{da}} \text{ adición)} = 12.57\%$$

$$\text{pH (3}^{\text{era}} \text{ adición)} = 12.61\%$$

$$a/c_{\text{experimental}} = a/c_{\text{convencional}} + (\text{pH}_{\text{adición}}/100)$$

$$a/c_{\text{experimental}} = 0.50 + (12.56/100)$$

$$a/c_{\text{experimental}} = \mathbf{0.6256 \text{ (1}^{\text{era}} \text{ adición) por durabilidad}}$$

$$a/c_{\text{experimental}} = 0.50 + (12.57/100)$$

$$a/c_{\text{experimental}} = \mathbf{0.6257 \text{ (2}^{\text{da}} \text{ adición) por durabilidad}}$$

$$a/c_{\text{experimental}} = 0.50 + (12.61/100)$$

$$a/c_{\text{experimental}} = \mathbf{0.6261 \text{ (3}^{\text{era}} \text{ adición) por durabilidad}}$$

Teniendo en cuenta la evaluación de las relaciones a/c por durabilidad, se optó diseñar la mezcla de concreto convencional y experimental empleando las relaciones a/c por resistencia.

- i. Se determinó la cantidad de agua de 205 L.

Tabla 44. Cant. agua de mezcla

Slump (pulg)	TMN AG							
	0.375	0.50	0.75	1	1.50	2	3	4
<b>Concreto sin aire</b>								
1 - 2	207.00	199.00	190.00	179.00	166.00	154.00	130.00	113.00
3 - 4	228.00	216.00	205.00	193.00	181.00	169.00	145.00	124.00
6 - 7	243.00	228.00	216.00	202.00	190.00	178.00	160.00	-
<b>Concreto con aire</b>								
1 - 2	181.00	175.00	168.00	160.00	150.00	142.00	122.00	107.00
3 - 4	202.00	193.00	184.00	175.00	165.00	157.00	133.00	119.00
6 - 7	216.00	205.00	197.00	184.00	174.00	166.00	154.00	-

Fuente: ACI - 211

- j. Se calcularon las cantidades del cemento en kg en función a las relaciones a/c y agua de mezcla.

$$a/c = \frac{205}{c}$$

$$0.466 = \frac{205}{c}$$

$$c = \frac{205}{0.466} = \mathbf{439.91 \text{ kg}} \text{ (convencional)}$$

$$c = \frac{205}{0.592} = \mathbf{346.52 \text{ kg}} \text{ (1}^{\text{era}} \text{ adición)}$$

$$c = \frac{205}{0.592} = \mathbf{346.46 \text{ kg}} \text{ (2}^{\text{da}} \text{ adición)}$$

$$c = \frac{205}{0.592} = \mathbf{346.23 \text{ kg}} \text{ (3}^{\text{era}} \text{ adición)}$$

- k. Se calcularon los factores cemento en bolsas de acuerdo a las cantidades de cemento obtenidos.

$$F.C = \frac{439.91}{42.50} = \mathbf{10.35 \text{ bolsas}} \text{ (convencional)}$$

$$F.C = \frac{346.52}{42.50} = \mathbf{8.15 \text{ bolsas}} \text{ (1}^{\text{era}} \text{ adición)}$$

$$F.C = \frac{346.46}{42.50} = \mathbf{8.15 \text{ bolsas}} \text{ (2}^{\text{da}} \text{ adición)}$$

$$F.C = \frac{346.23}{42.50} = \mathbf{8.15 \text{ bolsas}} \text{ (3}^{\text{era}} \text{ adición)}$$

1. Se determinó el volumen AG según tam. máx. nom. de  $\frac{3}{4}$ " como finura de 3.18, mediante extrapolación.

Tabla 45. Vol. AG

Vol. agre. gru. compactado seco				
TMN A.G (in)	Finura AF			
	2.40	2.60	2.80	3.00
0.375	0.50	0.48	0.46	0.44
0.50	0.59	0.57	0.55	0.53
0.75	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1.50	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.79	0.78	0.75
6	0.87	0.85	0.83	0.81

ACI - 211

$$3.18 = x$$

$$3.00 = 0.60$$

$$2.80 = 0.62$$

$$\frac{x - 0.60}{3.18 - 3.00} = \frac{0.62 - 0.60}{2.80 - 3.00}$$

$x = \mathbf{0.58 \text{ m}^3}$  (vol. agreg. gru. concreto convencional como experimentales)

- m. Se calculó el p. agreg. grueso, teniendo en cuenta el p. seco compacto de 1533 kg/m<sup>3</sup>.

$$\text{Peso}_{AG} = \text{PUSC} * \text{Volumen}_{AG}$$

$$\text{Peso}_{AG} = 1533 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.58 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso}_{AG} = \mathbf{891.59 \text{ kg}}$$
 (convencional y experimentales)

- n. Se determinaron los volúmenes absolutos del cemento en m<sup>3</sup> en función a las cantidades y peso específico de 3100 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 46. Pesos específicos de cementos nacionales

Cemento	Y <sub>c</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
Pacasmayo - Tipo I	3.10
Yura clas. I	3.15
Yura clas. IP	2.86
Yura clas. IPM	2.95
Sol clas. I	3.11
Andino clas. I	3.11
Andino clas. II	3.18
Andino clas. V	3.11
Atlas clas. IP	3.03

Ficha técnica en cada cemento

$$\text{Vol. abs.}_{\text{cemento}} = \frac{\text{F. C}}{Y_{\text{Cemento}}}$$

$$\text{Vol. abs.}_{\text{cemento}} = \frac{439.91 \text{ kg}}{3100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \mathbf{0.14 \text{ m}^3}$$
 (convencional)

$$\text{Vol. abs.}_{\text{cemento}} = \frac{346.52 \text{ kg}}{3100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \mathbf{0.11 \text{ m}^3}$$
 (1<sup>era</sup> adición)

$$\text{Vol. abs.}_{\text{cemento}} = \frac{346.46 \text{ kg}}{3100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \mathbf{0.11 \text{ m}^3}$$
 (2<sup>da</sup> adición)

$$\text{Vol. abs.}_{\text{cemento}} = \frac{346.23 \text{ kg}}{3100 \text{ kg/m}^3} = \mathbf{0.11 \text{ m}^3} \text{ (3}^{\text{era}} \text{ adición)}$$

- o. Se determinó vol. absoluto AG por  $\text{m}^3$  en función a su cantidad y peso específico de  $2457 \text{ kg/m}^3$ .

$$\text{Vol. abs.}_{\text{AG}} = \frac{\text{Peso}_{\text{AG}}}{Y_{\text{AG}}}$$

$$\text{Vol. abs.}_{\text{AG}} = \frac{891.59 \text{ kg}}{2457 \text{ kg/m}^3} = \mathbf{0.36 \text{ m}^3} \text{ (convencional y experimentales)}$$

- p. Se determinó el volumen absoluto del agua en  $\text{m}^3$  en función a su cantidad y peso específico de  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

$$\text{Vol. abs.}_{\text{agua}} = \frac{\text{Peso}_{\text{agua}}}{Y_{\text{agua}}}$$

$$\text{Vol. abs.}_{\text{agua}} = \frac{205 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = \mathbf{0.21 \text{ m}^3} \text{ (convencional y experimentales)}$$

- q. Se determinó vol. abs. contenido aire atrap. teniendo cuenta su porcentaje de 2%.

$$\text{Vol. abs.}_{\text{aire atrapado}} = \frac{\text{Porcentaje}_{\text{aire atrapado}}}{100}$$

$$\text{Vol. abs.}_{\text{aire atrapado}} = \frac{2.00\%}{100} = \mathbf{0.02 \text{ m}^3} \text{ (convencional y experimentales)}$$

- r. Se determinó vol. abs. del AF en base al diferencial de  $1.00 \text{ m}^3$  menos sumatoria vols. anteriormente calculados.

$$\text{Vol. abs.}_{AF} = 1.00 \text{ m}^3 - \sum (\text{Vol. abs.}_{\text{cemento,AG,agua y aire atrapado}}) \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. abs.}_{AF} = 1.00 \text{ m}^3 - \sum (0.14 + 0.36 + 0.21 + 0.02) \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. abs.}_{AF} = \mathbf{0.27 \text{ m}^3} \text{ (convencional)}$$

$$\text{Vol. abs.}_{AF} = 1.00 \text{ m}^3 - \sum (0.11 + 0.36 + 0.21 + 0.02) \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. abs.}_{AF} = \mathbf{0.30 \text{ m}^3} \text{ (experimentales)}$$

s. Hallamos p. AF en kg según vol. abs. y p. esp. en 2588 kg/m<sup>3</sup>.

$$\text{Peso}_{AF} = \text{Vol. abs.}_{AF} * Y_{AF}$$

$$\text{Peso}_{AF} = 0.27 \text{ m}^3 * 2588 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \mathbf{699.31 \text{ kg}} \text{ (convencional)}$$

$$\text{Peso}_{AF} = 0.30 \text{ m}^3 * 2588 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \mathbf{777.28 \text{ kg}} \text{ (1}^{\text{era}} \text{ adición)}$$

$$\text{Peso}_{AF} = 0.30 \text{ m}^3 * 2588 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \mathbf{777.33 \text{ kg}} \text{ (2}^{\text{da}} \text{ adición)}$$

$$\text{Peso}_{AF} = 0.30 \text{ m}^3 * 2588 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \mathbf{777.53 \text{ kg}} \text{ (3}^{\text{era}} \text{ adición)}$$

t. Se corrigieron los pesos AF según su hum. en 1.31%.

$$\text{Peso}_{AF \text{ corregido}} = \text{Peso}_{AF} * \left(1 + \frac{\text{Humedad}(\%)}{100}\right)$$

$$\text{Peso}_{AF \text{ corregido}} = 699.31 \text{ kg} * \left(1 + \frac{1.31\%}{100}\right) = \mathbf{708.47 \text{ kg}} \text{ (convencional)(44.20\%)}$$

$$\text{Peso}_{AF \text{ corregido}} = 777.28 \text{ kg} * \left(1 + \frac{1.31\%}{100}\right) = \mathbf{787.47 \text{ kg}} \text{ (1}^{\text{era}} \text{ adición)(46.82\%)}$$

$$\text{Peso}_{AF \text{ corregido}} = 777.33 \text{ kg} * \left(1 + \frac{1.31\%}{100}\right) = \mathbf{787.52 \text{ kg}} \text{ (2}^{\text{da}} \text{ adición)(46.82\%)}$$

$$\text{Peso}_{AF \text{ corregido}} = 777.53 \text{ kg} * \left(1 + \frac{1.31\%}{100}\right) = \mathbf{787.71 \text{ kg}} \text{ (3}^{\text{era}} \text{ adición)(46.83\%)}$$

u. Del mismo, se corrigieron los pesos AG según su hum. en 0.33%.

$$\text{Peso}_{\text{AG corregido}} = \text{Peso}_{\text{AG}} * \left(1 + \frac{\text{Hum.}(\%)}{100}\right)$$

$$\text{Peso}_{\text{AG corregido}} = 891.59 \text{ kg} * \left(1 + \frac{0.33\%}{100}\right) = \mathbf{894.54 \text{ kg}}$$
 (convencional)(55.80%)

$$\text{Peso}_{\text{AG corregido}} = 891.59 \text{ kg} * \left(1 + \frac{0.33\%}{100}\right) = \mathbf{894.54 \text{ kg}}$$
 (1<sup>era</sup> adición)(53.18%)

$$\text{Peso}_{\text{AG corregido}} = 891.59 \text{ kg} * \left(1 + \frac{0.33\%}{100}\right) = \mathbf{894.54 \text{ kg}}$$
 (2<sup>da</sup> adición)(53.18%)

$$\text{Peso}_{\text{AG corregido}} = 891.59 \text{ kg} * \left(1 + \frac{0.33\%}{100}\right) = \mathbf{894.54 \text{ kg}}$$
 (3<sup>era</sup> adición)(53.17%)

v. A su vez, se corrigieron los pesos del agregado fino según su contenido de absorción de 0.14%, para hallar el agua efectiva.

$$\text{Peso}_{\text{AF corregido}} = \text{Peso}_{\text{AF}} * \left(\frac{\text{Humedad}(\%) - \text{Absorción}(\%)}{100}\right)$$

$$\text{Peso}_{\text{AF corregido}} = 699.31 \text{ kg} * \left(\frac{1.31\% - 0.14\%}{100}\right) = \mathbf{8.18 \text{ kg}}$$
 (convencional)

$$\text{Peso}_{\text{AF corregido}} = 777.28 \text{ kg} * \left(\frac{1.31\% - 0.14\%}{100}\right) = \mathbf{9.09 \text{ kg}}$$
 (1<sup>era</sup> adición)

$$\text{Peso}_{\text{AF corregido}} = 777.33 \text{ kg} * \left(\frac{1.31\% - 0.14\%}{100}\right) = \mathbf{9.09 \text{ kg}}$$
 (2<sup>da</sup> adición)

$$\text{Peso}_{\text{AF corregido}} = 777.53 \text{ kg} * \left(\frac{1.31\% - 0.14\%}{100}\right) = \mathbf{9.10 \text{ kg}}$$
 (3<sup>era</sup> adición)

w. También, se corrigieron los pesos del agregado grueso según su contenido de absorción de 0.95%.

$$\text{Peso}_{\text{AG corregido}} = \text{Peso}_{\text{AG}} * \left(\frac{\text{Humedad}(\%) - \text{Absorción}(\%)}{100}\right)$$

$$\text{Peso}_{\text{AG corregido}} = 891.59 \text{ kg} * \left(\frac{0.33\% - 0.95\%}{100}\right) = \mathbf{-5.53 \text{ kg}}$$
 (conv. y experimentales)

x. Se efectuó la diferencia de los pesos corregidos de los agregados por absorción.

$$\text{Convencional} = (8.18 - 5.53) \text{ kg} = 2.65 \text{ kg} \approx \mathbf{2.65 \text{ L}}$$

$$1^{\text{era}} \text{ y } 2^{\text{da}} \text{ adición} = (9.09 - 5.53) \text{ kg} = 3.57 \text{ kg} \approx \mathbf{3.57 \text{ L}}$$

$$3^{\text{era}} \text{ adición} = (9.10 - 5.53) \text{ kg} = 3.57 \text{ kg} \approx \mathbf{3.57 \text{ L}}$$

y. Se calculó el agua efectiva de mezcla.

$$\text{Agua}_{\text{efectiva}} = (205.00 - 2.65) \text{ L} = \mathbf{202.35 \text{ L}} \approx 202.35 \text{ kg (convencional)}$$

$$\text{Agua}_{\text{efectiva}} = (205.00 - 3.57) \text{ L} = \mathbf{201.43 \text{ L}} \approx 201.43 \text{ kg (experimentales)}$$

z. Posteriormente, se calcularon las relaciones agua/cemento según agua efectiva de mezcla.

$$a/c_{\text{corregido}} = \frac{\text{Agua}_{\text{efectiva}}}{\text{F. C}}$$

$$a/c_{\text{corregido}} = \frac{202.35 \text{ kg}}{439.91 \text{ kg}} = \mathbf{0.460} \text{ (convencional)}$$

$$a/c_{\text{corregido}} = \frac{201.43 \text{ kg}}{346.52 \text{ kg}} = \mathbf{0.581} \text{ (1}^{\text{era}} \text{ adición)}$$

$$a/c_{\text{corregido}} = \frac{201.43 \text{ kg}}{346.46 \text{ kg}} = \mathbf{0.581} \text{ (2}^{\text{da}} \text{ adición)}$$

$$a/c_{\text{corregido}} = \frac{201.43 \text{ kg}}{346.23 \text{ kg}} = \mathbf{0.582} \text{ (3}^{\text{era}} \text{ adición)}$$

aa. Se determinaron los factores cementos corregidos en kg y bolsas.

$$\text{F. C}_{\text{corregido}} = \left( 1 + \left( \frac{a/c * \text{F. C}_{\text{bolsas}}}{a/c_{\text{corregido}}} \right) \right) * \text{Peso cemento}_{\text{bolsa}}$$

$$\text{F. C}_{\text{corregido}} = \left( 1 + \left( \frac{0.466 * 10.35}{0.460} \right) \right) * 42.50 \text{ kg} = \mathbf{488.18 \text{ kg}} \text{ (convencional)}$$

$$F. C_{\text{corregido}} = 11.49 \text{ bolsas} \approx \mathbf{12 \text{ bolsas}} \text{ (convencional)}$$

$$F. C_{\text{corregido}} = \left( 1 + \left( \frac{0.592 * 8.15}{0.581} \right) \right) * 42.50 \text{ kg} = \mathbf{395.15 \text{ kg}} \text{ (1}^{\text{era}} \text{ adición)}$$

$$F. C_{\text{corregido}} = 9.30 \text{ bolsas} \approx \mathbf{10 \text{ bolsas}} \text{ (1}^{\text{era}} \text{ adición)}$$

$$F. C_{\text{corregido}} = \left( 1 + \left( \frac{0.592 * 8.15}{0.581} \right) \right) * 42.50 \text{ kg} = \mathbf{395.09 \text{ kg}} \text{ (2}^{\text{da}} \text{ adición)}$$

$$F. C_{\text{corregido}} = 9.30 \text{ bolsas} \approx \mathbf{10 \text{ bolsas}} \text{ (2}^{\text{da}} \text{ adición)}$$

$$F. C_{\text{corregido}} = \left( 1 + \left( \frac{0.592 * 8.15}{0.582} \right) \right) * 42.50 \text{ kg} = \mathbf{394.86 \text{ kg}} \text{ (3}^{\text{era}} \text{ adición)}$$

$$F. C_{\text{corregido}} = 9.30 \text{ bolsas} \approx \mathbf{10 \text{ bolsas}} \text{ (3}^{\text{era}} \text{ adición)}$$

### Dis. mezcla conv. por resist. (280 kg/cm<sup>2</sup>)

Los cálculos de este ítem están en anex. 13 (página 201).

Tabla 47. Mezcla convencional por resistencia (pie<sup>3</sup>)

Convencional	Por peso (L/pie <sup>3</sup> )	Por volumen (L/pie <sup>3</sup> )
c =	1.00	1.00
A.F. =	1.45	1.25
A.G. =	1.83	1.79
a =	17.62	17.62

Fuente: Elaboración propia

#### Leyenda:

c = Cemento (bls)

A.F. = Arena gru.

A.G. = Piedra triturada

a = Agua

### Diseño mezcla experimental por resistencia (1<sup>era</sup> adición)

Los procedimientos de diseño son mostrados en anex. 14 (página 204).

Tabla 48. Diseño de mezcla experimental por resistencia (pie<sup>3</sup>) (1<sup>era</sup> adición)

1 <sup>era</sup> adición	Por peso (L/pie <sup>3</sup> )	Por volumen (L/pie <sup>3</sup> )
c =	0.80	0.80
CMR =	0.05	0.05
GS =	0.15	0.15
A.F. =	1.99	1.71
A.G. =	2.26	2.22
a =	21.66	21.66

Fuente: Elaboración propia

Leyenda:

- c = Cemento (bls)
- CMR = Cenizas de madera roble
- GS = Gránulos de silicio
- A.F. = Arena gru.
- A.G. = Piedra triturada
- a = Agua

### Diseño mezcla experimental por resistencia (2<sup>da</sup> adición) ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ )

Para mayor detalle del cálculo del diseño correspondiente, ver anexo 15 (página 207).

Tabla 49. Diseño de mezcla experimental por resistencia (pie<sup>3</sup>) (2<sup>da</sup> adición)

2 <sup>da</sup> adición	Por peso (L/pie <sup>3</sup> )	Por volumen (L/pie <sup>3</sup> )
c =	0.80	0.80
CMR =	0.10	0.10
GS =	0.10	0.10
A.F. =	1.99	1.71
A.G. =	2.26	2.22
a =	21.67	21.67

Fuente: Elaboración propia

Leyenda:

- c = Cemento (bls)  
 CMR = Cenizas de madera roble  
 GS = Gránulos de silicio  
 A.F. = Arena gru.  
 A.G. = Piedra triturada  
 a = Agua

**Diseño mezcla experimental por resistencia (3<sup>era</sup> adición)**

Este cálculo correspondiente experimental es visto en anex. 16 (página 210).

Tabla 50. Diseño de mezcla experimental por resistencia ( $\text{pie}^3$ ) (3<sup>era</sup> adición)

<b>3<sup>era</sup> adición</b>	<b>Por peso (L/<math>\text{pie}^3</math>)</b>	<b>Por volumen (L/<math>\text{pie}^3</math>)</b>
c =	0.80	0.80
CMR =	0.15	0.15
GS =	0.05	0.05
A.F. =	1.99	1.71
A.G. =	2.27	2.22
a =	21.68	21.68

Fuente: Elaboración propia

Leyenda:

- c = Cemento (bls)  
 CMR = Cenizas de madera roble  
 GS = Gránulos de silicio  
 A.F. = Arena gru.  
 A.G. = Piedra triturada  
 a = Agua

Al haber hallado las condiciones necesarias de los diseños de mezclas, se procedió con la medición de cantidades en cada diseño. En este caso, se obtuvo distintos a/c. En resumen, se muestran los diseños de mezclas obtenidos tanto convencionales como experimentales en pesos y volúmenes por  $\text{pie}^3$ , como también, por bolsa (42.50 kg) (ver anexo 17) (página 213).

Tabla 51. Diseños conv. con experimental por resist. (pie<sup>3</sup>)

Descripción	Por pesos (L/pie <sup>3</sup> )				Por volumen (L/pie <sup>3</sup> )			
	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición
c =	1.00	0.80	0.80	0.80	1.00	0.80	0.80	0.80
CMR =	-	0.05	0.10	0.15	-	0.05	0.10	0.15
GS =	-	0.15	0.10	0.05	-	0.15	0.10	0.05
A.F. =	1.45	1.99	1.99	1.99	1.25	1.71	1.71	1.71
A.G. =	1.83	2.26	2.26	2.27	1.79	2.22	2.22	2.22
a =	17.62	21.66	21.67	21.68	17.62	21.66	21.67	21.68

Fuente: Elaboración propia

Leyenda:

- c = Cemento (bls)  
 CMR = Cenizas de madera roble  
 GS = Gránulos de silicio  
 A.F. = Arena gruesa  
 A.G. = Piedra triturada  
 a = Agua

Tabla 52. Diseños de mezcla convencional y experimental por resistencia (bolsa)

Descripción	Por bolsa (42.5 kg)			
	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición
c =	42.50	34.00	34.00	34.00
CMR =	-	2.13	4.25	6.38
GS =	-	6.38	4.25	2.13
A.F. =	61.68	84.69	84.71	84.78
A.G. =	77.88	96.21	96.22	96.28
a =	19.55	24.71	24.71	24.73

Fuente: Elaboración propia

Leyenda:

- c = Cemento total o parcialmente sustituido en 20% (kg)  
 CMR = Cenizas de madera roble (kg)  
 GS = Gránulos de silicio (kg)  
 A.F. = Arena gru.  
 A.G. = Piedra triturada  
 a = Agua (l/bls)

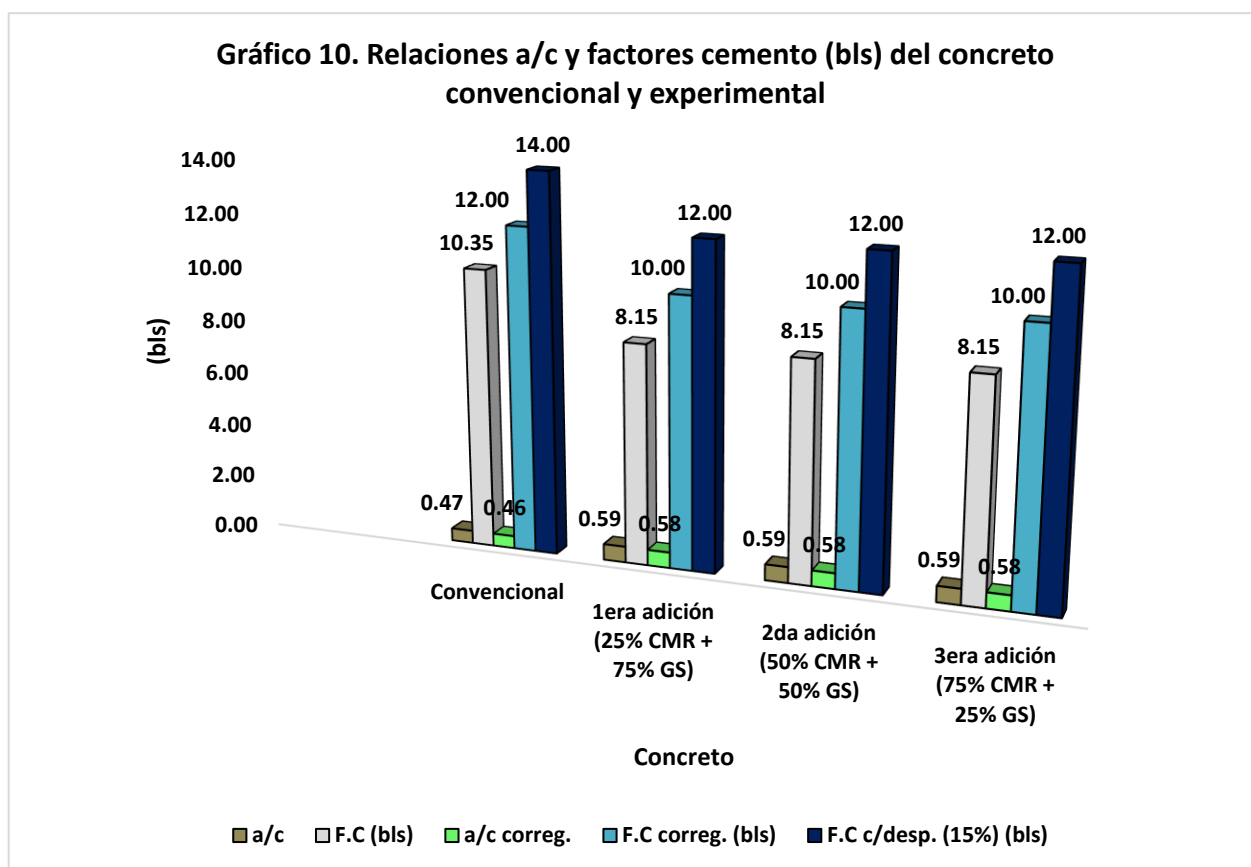
## Relaciones agua/cemento y factores cemento convencional y experimental

Obtuvimos relaciones agua/cemento y factores cemento por resistencia para cada diseño por resistencia. Se deja manifestado lo determinado. Los cálculos por durabilidad, están en los anexos 18, 19, 20, 21 y 22 (páginas 215, 218, 221, 224 y 227).

Tabla 53. Relaciones a/c y factores cemento (bls) de los concretos por resistencia

Concreto	a/c	F.C (bls)	a/c correg.	F.C correg. (bls)	F.C c/desp. (15%) (bls)
Convencional	0.466	10.35	0.460	12.00	14.00
1 <sup>era</sup> adición (25% CMR + 75% GS)	0.592	8.15	0.581	10.00	12.00
2 <sup>da</sup> adición (50% CMR + 50% GS)	0.592	8.15	0.581	10.00	12.00
3 <sup>era</sup> adición (75% CMR + 25% GS)	0.592	8.15	0.582	10.00	12.00

Fuente: Elaboración propia.



De lo obtenido, el a/c del diseño convencional fue 0.47, el cual otorgó un factor cemento inicial de 10.35 bolsas, que, al ser corregida, baja a 0.46, cuyo valor corregido fue de 12 bolsas. Mientras que, en experimentales, los a/c fueron 0.59, donde el factor cemento fue de 8.15 bolsas, que igualmente, al ser corregido, el valor fue 0.58, cuyo factor de cemento corregido fue de 10 bolsas (ver anexo 17) (página 213).

### **Cantidades totales para producción de concreto convencional y experimental**

Se calculó las proporciones de cada material para realizar 15 probetas por edad para cada diseño estipulado, teniendo en cuenta las pruebas de verificación de asentamiento, considerándose un factor de desperdicio del 50% (ver anexos 13, 14, 15 y 16) (páginas 201, 204, 207 y 210).

#### **Medidas de la probeta**

H =	0.20	m (altura)
D =	0.10	m (diámetro)
Vol. =	0.0024	m <sup>3</sup> (volumen de probeta)
Nº =	<b>15.00</b>	(número de probetas)
Vol. Total =	0.04	m <sup>3</sup> (volumen de probetas)

Tabla 54. Cantidades para la producción de concreto convencional y experimental

<b>Por número de probetas (kg)</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Convencional</b>	<b>1<sup>era</sup> adición</b>	<b>2<sup>da</sup> adición</b>	<b>3<sup>era</sup> adición</b>
c =	15.55	9.8	9.8	9.79
CMR =	-	0.61	1.22	1.84
GS =	-	1.84	1.22	0.61
A.F. =	24.72	27.47	27.47	27.48
A.G. =	31.51	31.51	31.51	31.51
a =	7.15	7.12	7.12	7.12

Fuente: Elaboración propia

Leyenda:

- c = Cemento total o parcialmente sustituido en 20% (kg)
- CMR = Cenizas de madera roble (kg)
- GS = Gránulos de silicio (kg)
- A.F. = Arena gru.
- A.G. = Piedra triturada
- a = Agua (l/bls)

Las cantidades determinadas sirvieron para producir las 72 probetas evaluadas, tanto por compresión como por desgaste por abrasión y a fuego. Dichos valores corresponden a un  $f'c$  de  $280 \text{ kg/cm}^2$ . Se observó una ligera variación de 1.11% en las cantidades del agregado fino para los diseños experimentales, dado que los volúmenes absolutos de las mismas, difieren entre sí. (ver anexo 17) (página 213).

### **Peso unitario del concreto**

Sumatoria del aglomerado global de constituyentes. Proporcionó un indicador de comparación según sus cualidades, pudiendo ser:

- a) Comunes cuyos pesos por unidad de volumen oscilan en  $2200 - 2400 \text{ kg/m}^3$ .
- b) Ligeros cuyos pesos inferiores a los  $1900 \text{ kg/m}^3$ .
- c) Concretos pesados cuyos pesos se encuentran entre  $2800$  a  $6000 \text{ kg/m}^3$ .

### **Evaluación en concreto est. fresco**

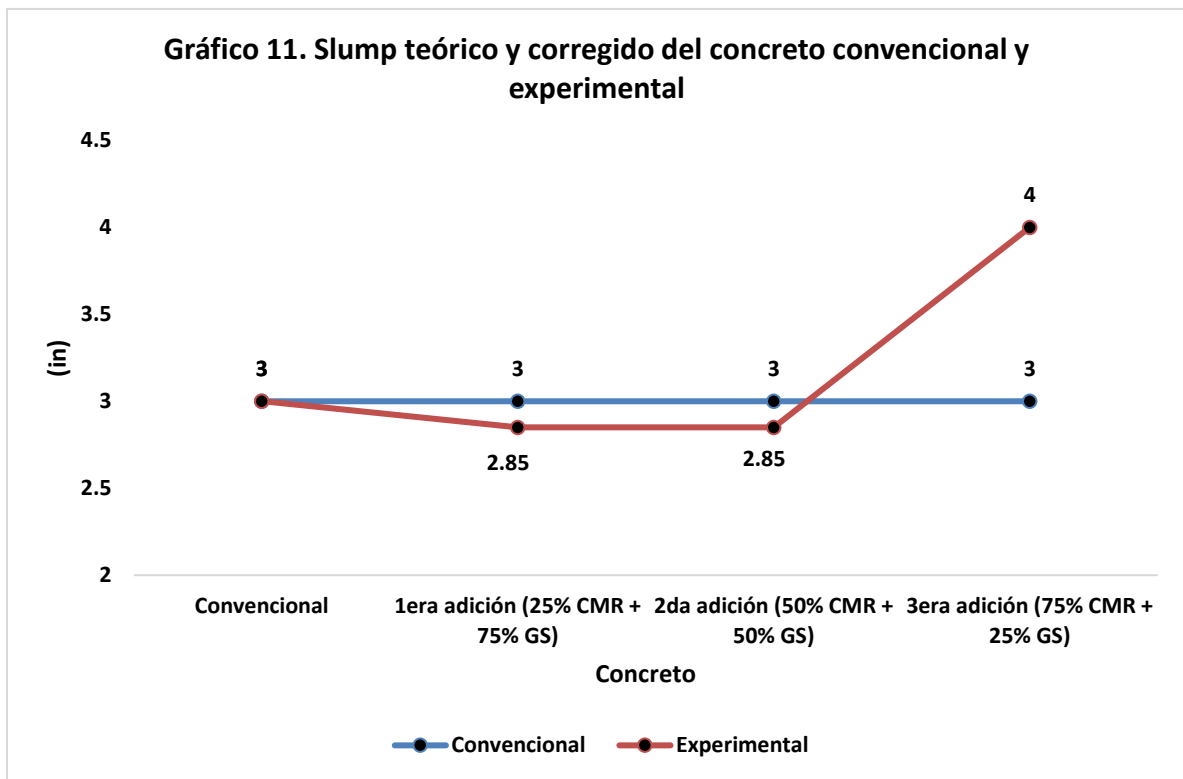
#### **Firmeza - asentamiento**

Con cono de Abrams visualmente ha sido evaluado la consistencia de los concretos producidos.

Tabla 55. Consistencia y slump del concreto convencional y experimental

Concreto	Consistencia	Slump teórico (in)	Slump corregido (in)
Convencional	Plástica	3	3
1 <sup>era</sup> adición (25% CMR + 75% GS)	Plástica	3	2.85
2 <sup>da</sup> adición (50% CMR + 50% GS)	Plástica	3	2.85
3 <sup>era</sup> adición (75% CMR + 25% GS)	Plástica	3	4

Fuente: Elaboración propia.



Las consistencias promedio obtenidas en todos los concretos fueron plásticas (3.18”), cuyos valores de asentamiento fluctúan en 3” (convencional), 2.85” (1<sup>era</sup> y 2<sup>da</sup> adición) y 4” (3<sup>era</sup> adición), correspondiendo al teórico predeterminado de 3”.

## Apariencia y trabajabilidad

Se observó lo siguiente:

Tabla 56. Apariencia y trabajabilidad del concreto convencional y experimental

Concreto	Apariencia	Trabajabilidad
Convencional	Semigravosa	Fácil
1 <sup>era</sup> adición (25% CMR + 75% GS)	Semigravosa	Fácil
2 <sup>da</sup> adición (50% CMR + 50% GS)	Semigravosa	Fácil
3 <sup>era</sup> adición (75% CMR + 25% GS)	Semigravosa	Fácil

Fuente: Elaboración propia.

Las apariencias observadas al momento de realizar los mezclados de los concretos fueron semigravosas, siendo todas, de fácil trabajabilidad en la colocación y preparación de las probetas de concreto.

## Densidad

Se usó esta fórmula:

$$D = \frac{M_C - M_m}{V_m}$$

En que:

D = Dens. del concreto fresco.

M<sub>C</sub> = Peso recip. lleno.

M<sub>m</sub> = Peso recip.

V<sub>m</sub> = Vol. recip.

### Densidad convencional

Tabla 57. Densidad de probetas convencionales en estado fresco

Probeta	Peso concreto fresco (g)	P. recipiente (g)	Vol. recipiente (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	3940.00	234.00	0.00157	2359.37
2	3970.00	249.90	0.00157	2368.35
3	3940.00	153.90	0.00157	2410.36
4	3990.00	204.00	0.00157	2410.30
5	3970.00	264.00	0.00157	2359.37
6	3960.00	240.00	0.00157	2368.28
7	3940.00	220.00	0.00157	2368.28
8	3890.00	170.00	0.00157	2368.28
9	3970.00	184.00	0.00157	2410.30
10	3950.00	164.00	0.00157	2410.30
11	3890.00	170.00	0.00157	2368.28
12	3980.00	260.00	0.00157	2368.28
13	3850.00	164.00	0.00157	2410.30
14	3980.00	260.00	0.00157	2368.28
15	3960.00	174.00	0.00157	2410.30
			<b>Promedio</b>	<b>2383.91</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó un peso mínimo de 3850 g, también el valor máximo en 3990 g, cuyo promedio fue de 3945.33 g. Respecto a la densidad, el peso del molde oscila entre 150 a 270 g, cuyo volumen de probeta de 0.10 m de diámetro y 0.20 m de altura fue de 0.00157 m<sup>3</sup>, del cual se obtuvo una densidad mínima de 2359.37 kg/m<sup>3</sup>, un máximo de 2410.36 kg/m<sup>3</sup>, cuya densidad promedio fue de 2383.91 kg/m<sup>3</sup>.

### Densidad experimental (1<sup>era</sup> adición)

Tabla 58. Densidad de probetas experimentales en estado fresco (1<sup>era</sup> adición)

Probeta	Peso concreto fresco (g)	P. recipiente (g)	Vol. recipiente (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	3940.00	261.90	0.00157	2341.61
2	3940.00	204.00	0.00157	2378.47
3	3980.00	276.00	0.00157	2358.10
4	3960.00	224.00	0.00157	2378.47
5	3990.00	312.00	0.00157	2341.54
6	3970.00	266.00	0.00157	2358.10
7	3970.00	292.00	0.00157	2341.54
8	3990.00	254.00	0.00157	2378.47
9	3990.00	286.00	0.00157	2358.10
10	3970.00	292.00	0.00157	2341.54
11	3920.00	216.00	0.00157	2358.10
12	3980.00	244.00	0.00157	2378.47
13	3950.00	214.00	0.00157	2378.47
14	3980.00	302.00	0.00157	2341.54
15	3940.00	262.00	0.00157	2341.54
			<b>Promedio</b>	<b>2358.27</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó un peso mínimo del concreto experimental (1<sup>era</sup> adición) en estado fresco de 3920 g, como también un valor máximo de 3990 g, cuyo promedio fue de 3964.67 g. Respecto a la densidad, el peso del molde oscila entre 150 a 270 g, cuyo volumen de probeta de 0.10 m de diámetro y 0.20 m de altura fue de 0.00157 m<sup>3</sup>, del cual se obtuvo una densidad mínima de 2341.54 kg/m<sup>3</sup>, un máximo de 2378.47 kg/m<sup>3</sup>, cuya densidad promedio fue de 2358.27 kg/m<sup>3</sup>.

### Densidad experimental (2<sup>da</sup> adición)

Tabla 59. Densidad de probetas experimentales en estado fresco (2<sup>da</sup> adición)

Probeta	Peso concreto fresco (g)	P. recipiente (g)	Vol. recipiente (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	3890.00	282.00	0.00157	2296.98
2	3850.00	152.00	0.00157	2354.28
3	3830.00	238.00	0.00157	2286.79
4	3970.00	378.00	0.00157	2286.79
5	3840.00	232.00	0.00157	2296.98
6	3860.00	162.00	0.00157	2354.28
7	3870.00	172.00	0.00157	2354.28
8	3940.00	242.00	0.00157	2354.28
9	3860.00	268.00	0.00157	2286.79
10	3840.00	232.00	0.00157	2296.98
11	3850.00	152.00	0.00157	2354.28
12	3950.00	358.00	0.00157	2286.79
13	3880.00	272.00	0.00157	2296.98
14	3860.00	268.00	0.00157	2286.79
15	3910.00	212.00	0.00157	2354.28
			<b>Promedio</b>	<b>2316.50</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó un peso mínimo del concreto experimental (2<sup>da</sup> adición) en estado fresco de 3830 g, como también un valor máximo de 3970 g, cuyo promedio fue de 3880 g. Respecto a la densidad, el peso del molde oscila entre 150 a 270 g, cuyo volumen de probeta de 0.10 m de diámetro y 0.20 m de altura fue de 0.00157 m<sup>3</sup>, del cual se obtuvo una densidad mínima de 2286.79 kg/m<sup>3</sup>, un máximo de 2354.28 kg/m<sup>3</sup>, cuya densidad promedio fue de 2316.50 kg/m<sup>3</sup>.

### Densidad experimental (3<sup>era</sup> adición)

Tabla 60. Densidad de probetas experimentales en estado fresco (3<sup>era</sup> adición)

Probeta	Peso concreto fresco (g)	P. recipiente (g)	Vol. recipiente (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	3950.00	228.00	0.00157	2369.56
2	3950.00	352.00	0.00157	2290.61
3	3900.00	362.00	0.00157	2252.42
4	3950.00	352.00	0.00157	2290.61
5	3860.00	322.00	0.00157	2252.42
6	3780.00	58.00	0.00157	2369.56
7	3790.00	252.00	0.00157	2252.42
8	3890.00	292.00	0.00157	2290.61
9	3830.00	232.00	0.00157	2290.61
10	3850.00	252.00	0.00157	2290.61
11	3960.00	362.00	0.00157	2290.61
12	3890.00	168.00	0.00157	2369.56
13	3950.00	352.00	0.00157	2290.61
14	3830.00	232.00	0.00157	2290.61
15	3840.00	302.00	0.00157	2252.42
			<b>Promedio</b>	<b>2296.22</b>

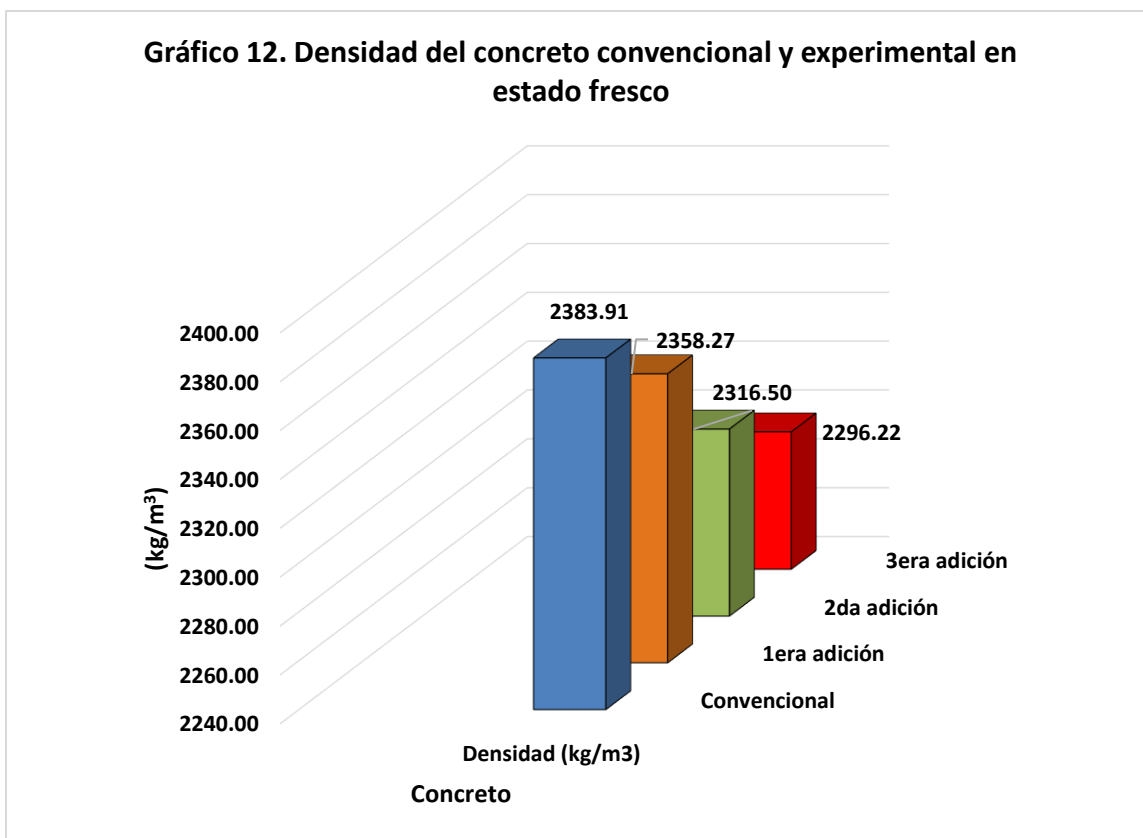
Fuente: Elaboración propia.

Se determinó un peso mínimo del concreto experimental (3<sup>era</sup> adición) en estado fresco de 3780 g, como también un valor máximo de 3960 g, cuyo promedio fue de 3881.33 g. Respecto a la densidad, el peso del molde oscila entre 150 a 270 g, cuyo volumen de probeta de 0.10 m de diámetro y 0.20 m de altura fue de 0.00157 m<sup>3</sup>, del cual se obtuvo una densidad mínima de 2252.42 kg/m<sup>3</sup>, un máximo de 2369.56 kg/m<sup>3</sup>, cuya densidad promedio fue de 2296.22 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 61. Densidad promedio de probetas convencionales y experimentales en estado fresco

Probetas	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Convencional	2383.91
1 <sup>era</sup> adición	2358.27
2 <sup>da</sup> adición	2316.50
3 <sup>era</sup> adición	2296.22

Fuente: Elaboración propia.



El convencional respecto de las experimentales varía en 1.01%, 1.03% y 1.04%, cuyo valor del patrón fue de 2383.91 kg/m<sup>3</sup>, 2358.27 kg/m<sup>3</sup> (1<sup>era</sup> adición), 2316.50 kg/m<sup>3</sup> (2<sup>da</sup> adición) y de 2296.22 kg/m<sup>3</sup> (3<sup>era</sup> adición).

## Evaluación en concreto est. endu.

### Densidad

La densidad fue hallada con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{M_C}{V_m}$$

Dónde:

D = Densidad.

$M_C$  = P. endurecido.

$V_m$  = Vol. recipiente.

### Densidad convencional

Tabla 62. Densidad de probetas convencionales en estado endurecido

Probeta	P. concreto endurecido (g)	Vol. recipiente (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	3706.00	0.00157	2359.370
2	3720.10	0.00157	2368.347
3	3786.10	0.00157	2410.365
4	3786.00	0.00157	2410.301
5	3706.00	0.00157	2359.370
6	3720.00	0.00157	2368.283
7	3720.00	0.00157	2368.283
8	3720.00	0.00157	2368.283
9	3786.00	0.00157	2410.301
10	3786.00	0.00157	2410.301
11	3720.00	0.00157	2368.283
12	3720.00	0.00157	2368.283
13	3786.00	0.00157	2410.301
14	3720.00	0.00157	2368.283
15	3786.00	0.00157	2410.301
		<b>Promedio</b>	<b>2383.91</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó un peso mínimo del concreto convencional en estado endurecido de 3706 g, como también un valor máximo de 3786.10 g, cuyo promedio fue de 3744.55 g. Respecto a la densidad, el volumen de probeta de 0.10 m de diámetro y 0.20 m de altura fue de 0.00157 m<sup>3</sup>, del cual se obtuvo una densidad mínima de 2359.37 kg/m<sup>3</sup>, un máximo de 2410.36 kg/m<sup>3</sup>, cuya densidad promedio fue de 2383.91 kg/m<sup>3</sup>.

### Densidad experimental (1<sup>era</sup> adición)

Tabla 63. Densidad de probetas experimentales en estado endurecido (1<sup>era</sup> adición)

Probeta	P. concreto endurecido (g)	Vol. recipiente (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	3678.10	0.00157	2341.608
2	3736.00	0.00157	2378.470
3	3704.00	0.00157	2358.097
4	3736.00	0.00157	2378.470
5	3678.00	0.00157	2341.545
6	3704.00	0.00157	2358.097
7	3678.00	0.00157	2341.545
8	3736.00	0.00157	2378.470
9	3704.00	0.00157	2358.097
10	3678.00	0.00157	2341.545
11	3704.00	0.00157	2358.097
12	3736.00	0.00157	2378.470
13	3736.00	0.00157	2378.470
14	3678.00	0.00157	2341.545
15	3678.00	0.00157	2341.545
		<b>Promedio</b>	<b>2358.27</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó un peso mínimo del concreto experimental (1<sup>era</sup> adición) en estado endurecido de 3678 g, como también un valor máximo de 3736 g, cuyo promedio fue de 3704.27 g. Respecto a la densidad, el volumen de probeta de 0.10 m de diámetro y 0.20 m de altura fue de 0.00157 m<sup>3</sup>, del cual se obtuvo una densidad mínima de 2341.54 kg/m<sup>3</sup>, un máximo de 2378.47 kg/m<sup>3</sup>, cuya densidad promedio fue de 2358.27 kg/m<sup>3</sup>.

### Densidad experimental (2<sup>da</sup> adición)

Tabla 64. Densidad de probetas experimentales en estado endurecido (2<sup>da</sup> adición)

Probeta	P. concreto endurecido (g)	Vol. recipiente (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	3608.00	0.00157	2296.980
2	3698.00	0.00157	2354.277
3	3592.00	0.00157	2286.794
4	3592.00	0.00157	2286.794
5	3608.00	0.00157	2296.980
6	3698.00	0.00157	2354.277
7	3698.00	0.00157	2354.277
8	3698.00	0.00157	2354.277
9	3592.00	0.00157	2286.794
10	3608.00	0.00157	2296.980
11	3698.00	0.00157	2354.277
12	3592.00	0.00157	2286.794
13	3608.00	0.00157	2296.980
14	3592.00	0.00157	2286.794
15	3698.00	0.00157	2354.277
		<b>Promedio</b>	<b>2316.50</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó un peso mínimo del concreto experimental (2<sup>da</sup> adición) en estado endurecido de 3592 g, como también un valor máximo de 3698 g, cuyo promedio fue de 3638.67 g. Respecto a la densidad, el volumen de probeta de 0.10 m de diámetro y 0.20 m de altura fue de 0.00157 m<sup>3</sup>, del cual se obtuvo una densidad mínima de 2286.79 kg/m<sup>3</sup>, un máximo de 2354.28 kg/m<sup>3</sup>, cuya densidad promedio fue de 2316.50 kg/m<sup>3</sup>.

### Densidad experimental (3<sup>era</sup> adición)

Tabla 65. Densidad de probetas experimentales en estado endurecido (3<sup>era</sup> adición)

Probeta	P. concreto endurecido (g)	Vol. recipiente (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	3722.00	0.00157	2369.557
2	3598.00	0.00157	2290.614
3	3538.00	0.00157	2252.416
4	3598.00	0.00157	2290.614
5	3538.00	0.00157	2252.416
6	3722.00	0.00157	2369.557
7	3538.00	0.00157	2252.416
8	3598.00	0.00157	2290.614
9	3598.00	0.00157	2290.614
10	3598.00	0.00157	2290.614
11	3598.00	0.00157	2290.614
12	3722.00	0.00157	2369.557
13	3598.00	0.00157	2290.614
14	3598.00	0.00157	2290.614
15	3538.00	0.00157	2252.416
		<b>Promedio</b>	<b>2296.22</b>

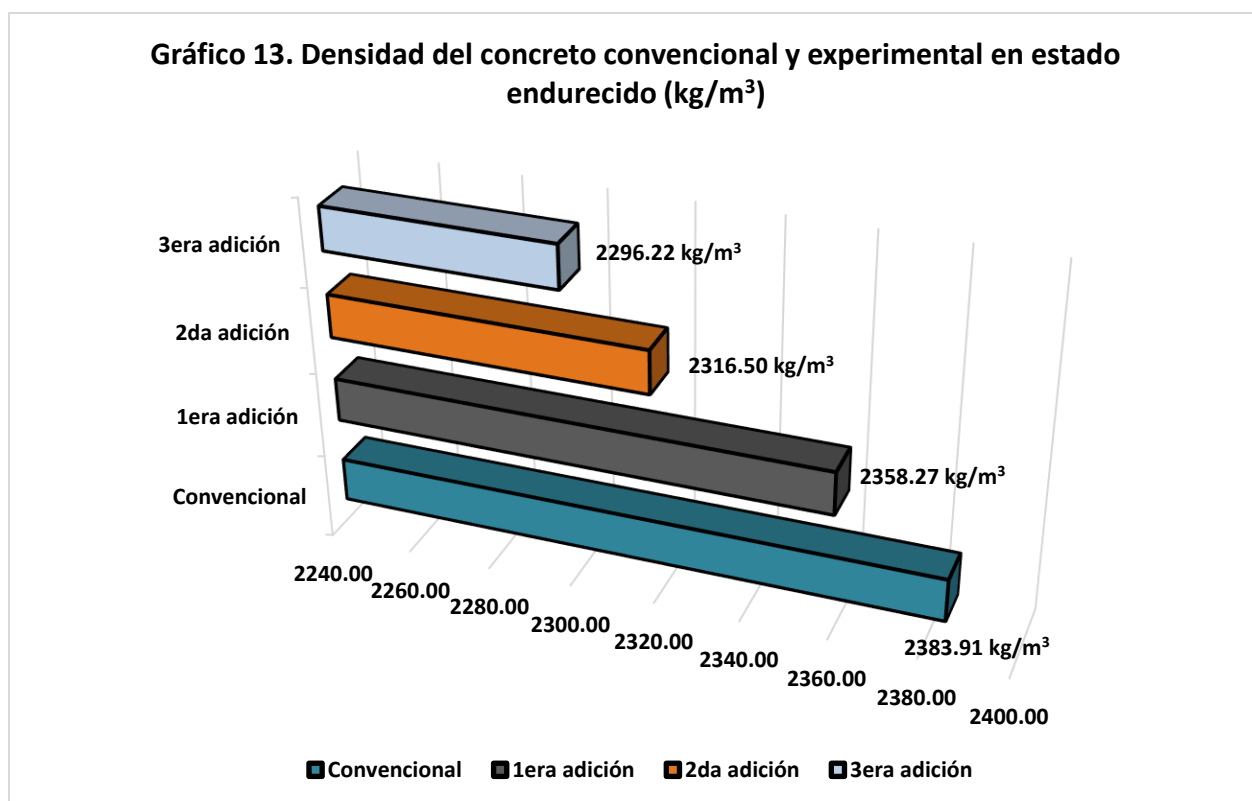
Fuente: Elaboración propia.

Se determinó un peso mínimo del concreto experimental (3<sup>era</sup> adición) en estado endurecido de 3538 g, como también un valor máximo de 3722 g, cuyo promedio fue de 3606.80 g. Respecto a la densidad, el volumen de probeta de 0.10 m de diámetro y 0.20 m de altura fue de 0.00157 m<sup>3</sup>, del cual se obtuvo una densidad mínima de 2252.42 kg/m<sup>3</sup>, un máximo de 2369.56 kg/m<sup>3</sup>, cuya densidad promedio fue de 2296.22 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 66. Densidad promedio de probetas convencionales y experimentales en estado endurecido

Probetas	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Convencional	2383.91
1 <sup>era</sup> adición	2358.27
2 <sup>da</sup> adición	2316.50
3 <sup>era</sup> adición	2296.22

Fuente: Elaboración propia.

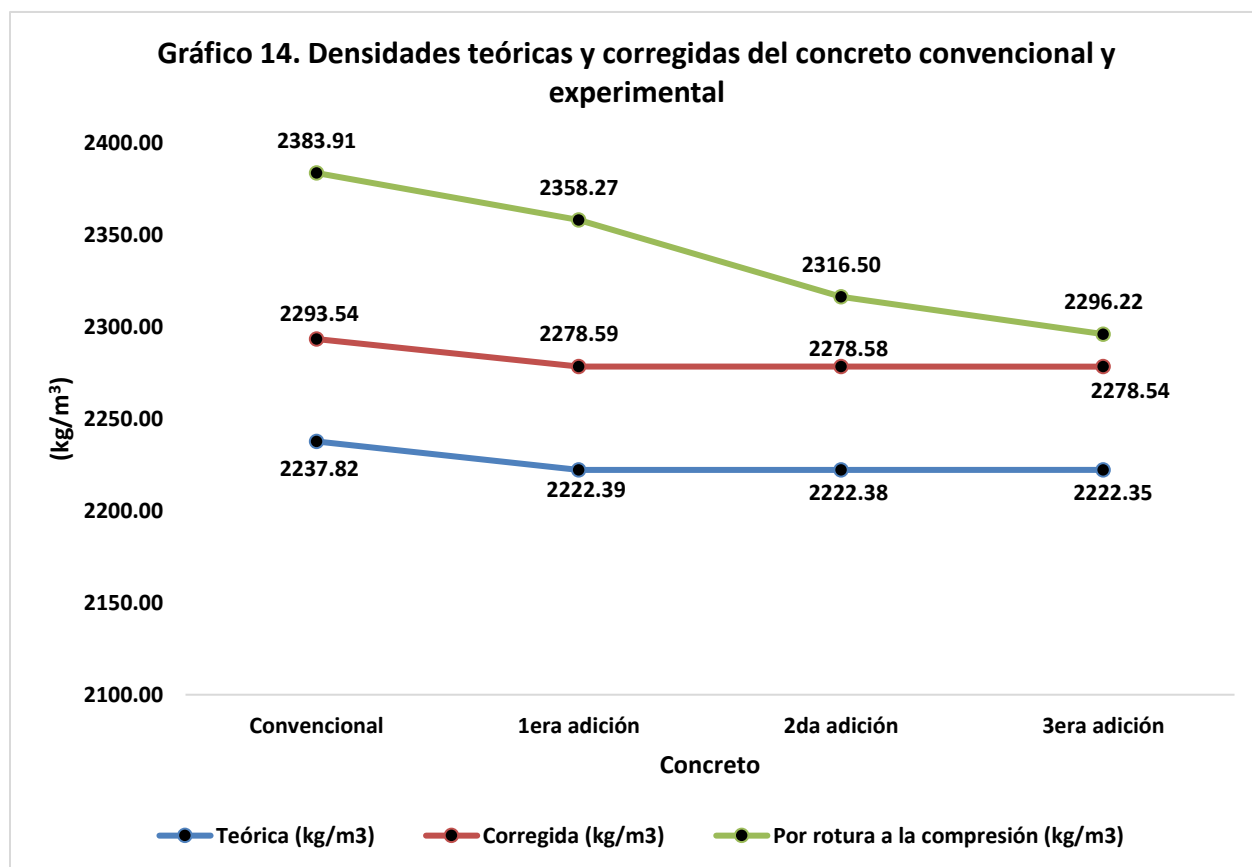


Del mismo modo, el convencional respecto a experimentales varía en 1.01%, 1.03% y 1.04%, cuyo valor del patrón fue de 2383.91 kg/m<sup>3</sup>, 2358.27 kg/m<sup>3</sup> (1<sup>era</sup> adición), 2316.50 kg/m<sup>3</sup> (2<sup>da</sup> adición) y de 2296.22 kg/m<sup>3</sup> (3<sup>era</sup> adición), los cuales son iguales al del estado fresco.

Tabla 67. Densidades teóricas y corregidas del concreto convencional y experimental

Densidad	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición
Teórica (kg/m <sup>3</sup> )	2237.82	2222.39	2222.38	2222.35
Corregida (kg/m <sup>3</sup> )	2293.54	2278.59	2278.58	2278.54
Por rotura a la compresión (kg/m <sup>3</sup> )	2383.91	2358.27	2316.50	2296.22

Fuente: Elaboración propia.



La densidad del concreto convencional por rotura a la compresión respecto al corregido por humedad, varía en 1.04%. Mientras que las experimentales varían en 1.03%, 1.02% y 1.01%. Se observó una mejora en la densidad de los concretos producidos, cuyo valor de aumento en el patrón fue de 90.37 kg/m<sup>3</sup>, 79.68 kg/m<sup>3</sup> (1<sup>era</sup> adición), 37.92 kg/m<sup>3</sup> (2<sup>da</sup> adición) y de 17.68 kg/m<sup>3</sup> (3<sup>era</sup> adición) (ver anexo 17) (página 213).

## Rotura por compresión

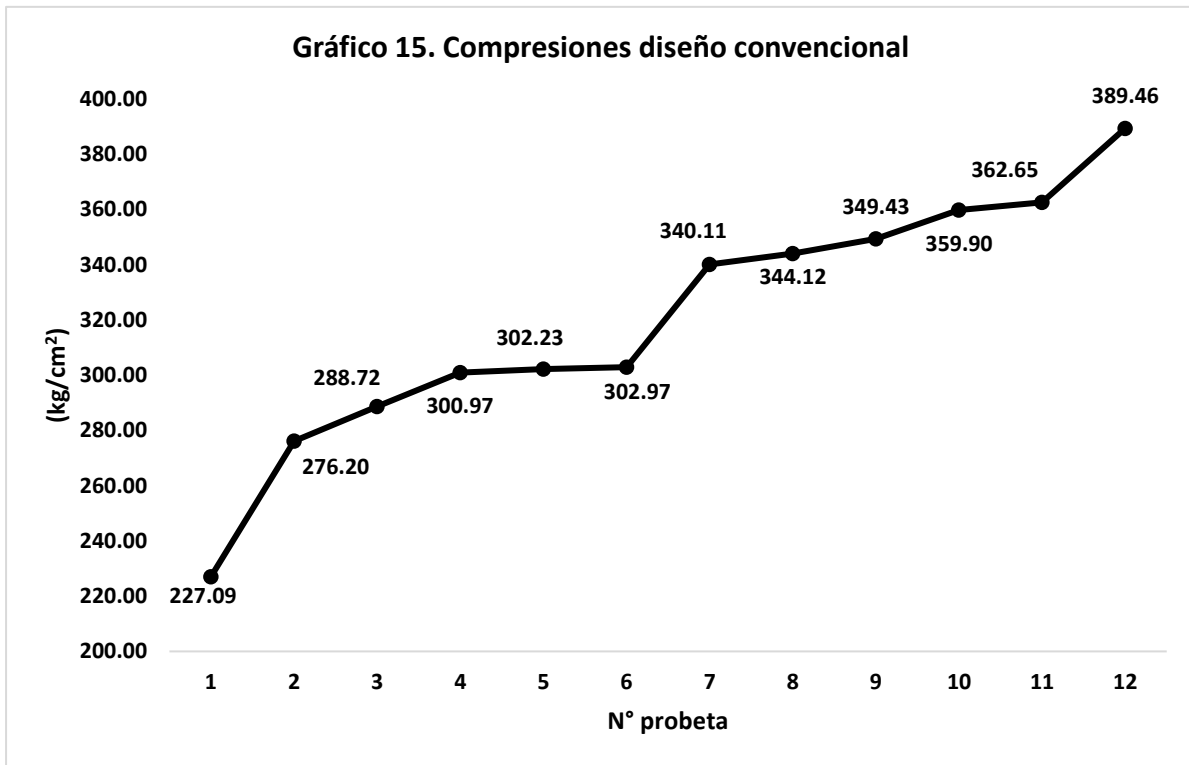
Luego de un día de realizadas las probetas, se desmoldaron y se dejaron curar en agua por edades reglamentarias, las cuales han sido ensayadas en el equipo de compresión axial.

De acuerdo al ACI, las resistencias esperadas a los 7 días deben oscilar entre el 60% a 70%, a los 14 días entre 80% a 90%, a los 21 días en 95% y a los 28 deben llegar al 100% de  $280 \text{ kg/cm}^2$  (ver anexos 23, 24, 25, 26 y 27) (páginas 229, 230, 231, 232 y 233).

Tabla 68. Resistencias a la compresión del diseño convencional

Lapso (días)	Medidas (cm)		Dial (kg.f)	Esfuerzo ( $\text{kg/cm}^2$ )	Prom. ( $\text{kg/cm}^2$ )	Resistencia (%)	Resistencia promedio (%)	Tipo de fractura
	$\varnothing$ (cm)	Superficie ( $\text{cm}^2$ )						
7	10.00	78.54	17835.40	227.09		81.10		Cono
7	10.00	78.54	21692.70	276.20	264.00	98.64	94.29	Corte
7	10.00	78.54	22675.80	288.72		103.11		Columnar
14	10.00	78.54	23638.00	300.97		107.49		Cono y separación
14	10.00	78.54	23737.50	302.23	302.06	107.94	107.88	Corte
14	10.00	78.54	23795.30	302.97		108.20		Corte
21	10.00	78.54	26712.40	340.11		121.47		Corte
21	10.00	78.54	27027.30	344.12	344.55	122.90	123.05	Cono
21	10.00	78.54	27444.00	349.43		124.80		Cono
28	10.00	78.54	28266.70	359.90		128.54		Corte
28	10.00	78.54	28482.30	362.65	370.67	129.52	132.38	Cono y separación
28	10.00	78.54	30588.40	389.46		139.09		Corte

Propia.

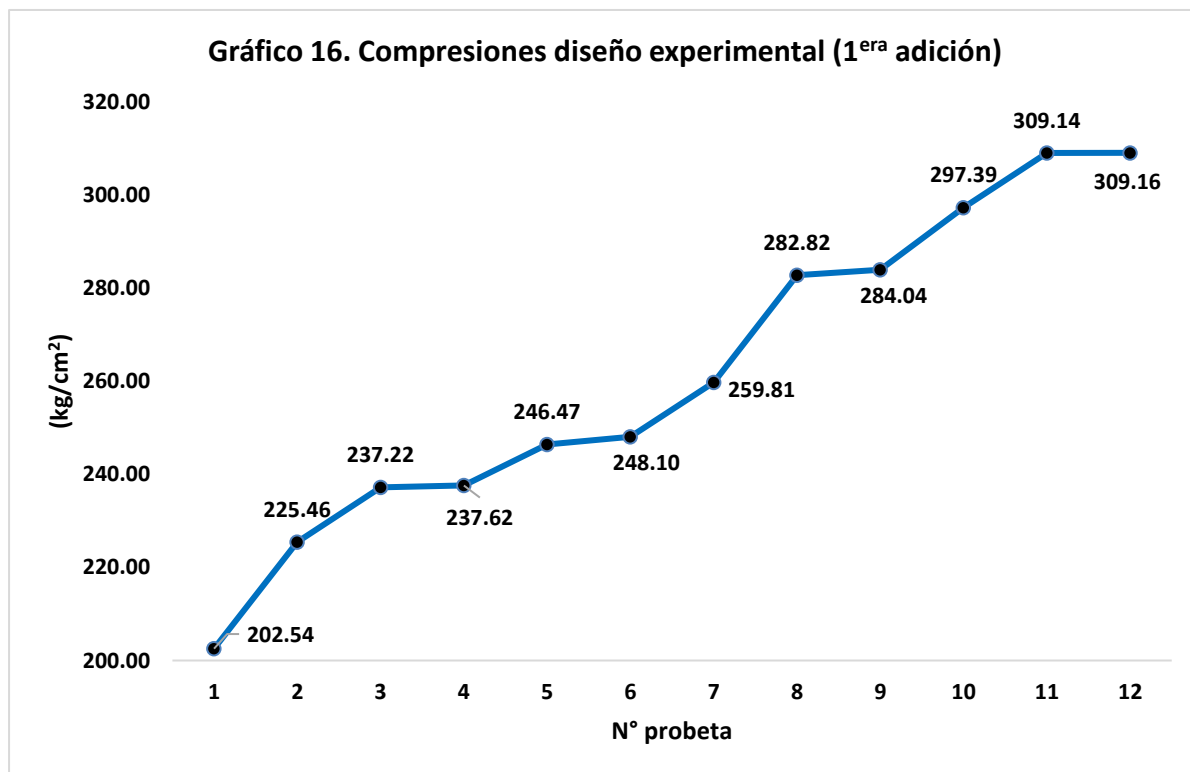


A 7 días para el convencional fue 264 kg/cm<sup>2</sup> (94.29%). En 14: 302.06 kg/cm<sup>2</sup> (107.88%), 21 días de 344.55 kg/cm<sup>2</sup> (123.05%), en 28 fue 370.67 kg/cm<sup>2</sup> (132.38%) (ver anexo 23) (página 229).

Tabla 69. Resistencias a la compresión del diseño experimental (1<sup>era</sup> adición)

Lapso (días)	Medidas (cm)		Dial (kg.f)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Prom. (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (%)	Resistencia promedio (%)	Tipo de fractura
	Ø (cm)	Superficie (cm <sup>2</sup> )						
7	10.00	78.54	15907.40	202.54		72.34		Cono
7	10.00	78.54	17707.90	225.46	221.74	80.52	79.19	Cono y corte
7	10.00	78.54	18631.00	237.22		84.72		Columnar
14	10.00	78.54	18662.40	237.62		84.86		Corte
14	10.00	78.54	19357.60	246.47	244.06	88.02	87.16	Cono
14	10.00	78.54	19485.40	248.10		88.61		Corte
21	10.00	78.54	20405.30	259.81		92.79		Cono
21	10.00	78.54	22212.90	282.82	275.56	101.01	98.41	Corte
21	10.00	78.54	22308.80	284.04		101.44		Corte
28	10.00	78.54	23357.10	297.39		106.21		Corte
28	10.00	78.54	24279.80	309.14	305.23	110.41	109.01	Corte
28	10.00	78.54	24281.10	309.16		110.41		Cono y separación

Propia.

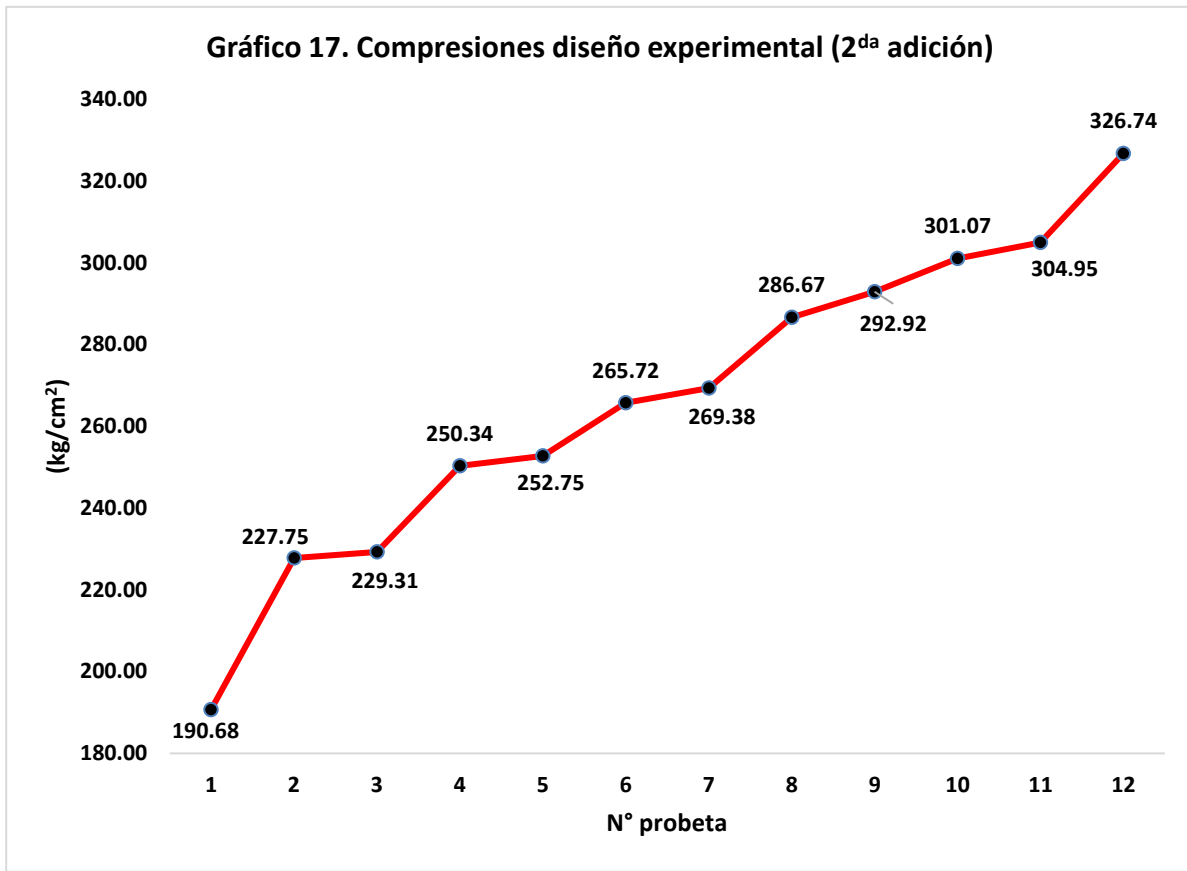


A 7 en diseño experimental (1<sup>era</sup> ad.) fue 221.74 kg/cm<sup>2</sup> (79.19%). En 14: 244.06 kg/cm<sup>2</sup> (87.16%), 21: 275.56 kg/cm<sup>2</sup> (98.41%). En 28 fue 305.23 kg/cm<sup>2</sup> (109.01%) (ver anexo 24) (página 230).

Tabla 70. Resistencias a la compresión del diseño experimental (2<sup>da</sup> adición)

Lapso (días)	Medidas (cm)		Dial (kg.f)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Prom. (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (%)	Resistencia promedio (%)	Tipo de fractura
	Ø (cm)	Superficie (cm <sup>2</sup> )						
7	10.00	78.54	14976.20	190.68		68.10		Corte
7	10.00	78.54	17887.30	227.75	215.91	81.34	77.11	Corte
7	10.00	78.54	18009.80	229.31		81.90		Columnar
14	10.00	78.54	19661.40	250.34		89.41		Corte
14	10.00	78.54	19851.10	252.75	256.27	90.27	91.53	Corte
14	10.00	78.54	20870.00	265.72		94.90		Cono
21	10.00	78.54	21157.00	269.38		96.21		Corte
21	10.00	78.54	22514.90	286.67	282.99	102.38	101.07	Cono y separación
21	10.00	78.54	23005.90	292.92		104.61		Cono y separación
28	10.00	78.54	23645.70	301.07		107.52		Cono y corte
28	10.00	78.54	23950.70	304.95	310.92	108.91	111.04	Cono y corte
28	10.00	78.54	25661.90	326.74		116.69		Corte

Propia.

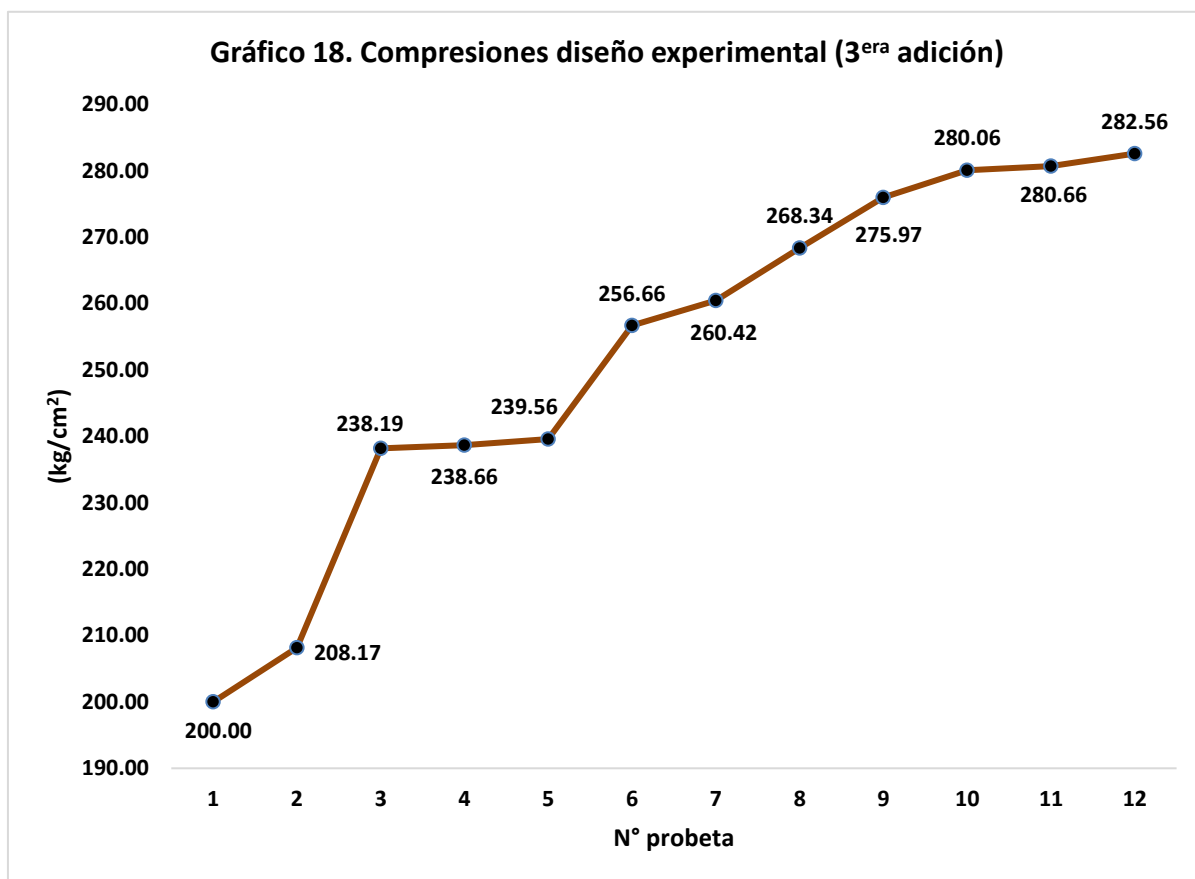


A 7 en diseño experimental (2<sup>da</sup> ad.) fue 215.91 kg/cm<sup>2</sup> (77.11%). En 14: 256.27 kg/cm<sup>2</sup> (91.53%), 21: 282.99 kg/cm<sup>2</sup> (101.07%). En 28 fue 310.92 kg/cm<sup>2</sup> (111.04%) (ver anexo 25) (página 231).

Tabla 71. Resistencias a la compresión del diseño experimental (3<sup>era</sup> adición)

Lapso (días)	Medidas (cm)		Dial (kg.f)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Prom. (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (%)	Resistencia promedio (%)	Tipo de fractura
	Ø (cm)	Superficie (cm <sup>2</sup> )						
7	10.00	78.54	15707.70	200.00		71.43		Corte
7	10.00	78.54	16349.90	208.17	215.45	74.35	76.95	Columnar
7	10.00	78.54	18707.70	238.19		85.07		Corte
14	10.00	78.54	18744.60	238.66		85.24		Corte
14	10.00	78.54	18815.00	239.56	244.96	85.56	87.49	Corte
14	10.00	78.54	20158.30	256.66		91.67		Cono y corte
21	10.00	78.54	20453.40	260.42		93.01		Cono y separación
21	10.00	78.54	21075.30	268.34	268.24	95.84	95.80	Columnar
21	10.00	78.54	21674.50	275.97		98.56		Cono y corte
28	10.00	78.54	21996.30	280.06		100.02		Cono y corte
28	10.00	78.54	22043.00	280.66	281.09	100.24	100.39	Corte
28	10.00	78.54	22192.00	282.56		100.91		Cono y separación

Propia.



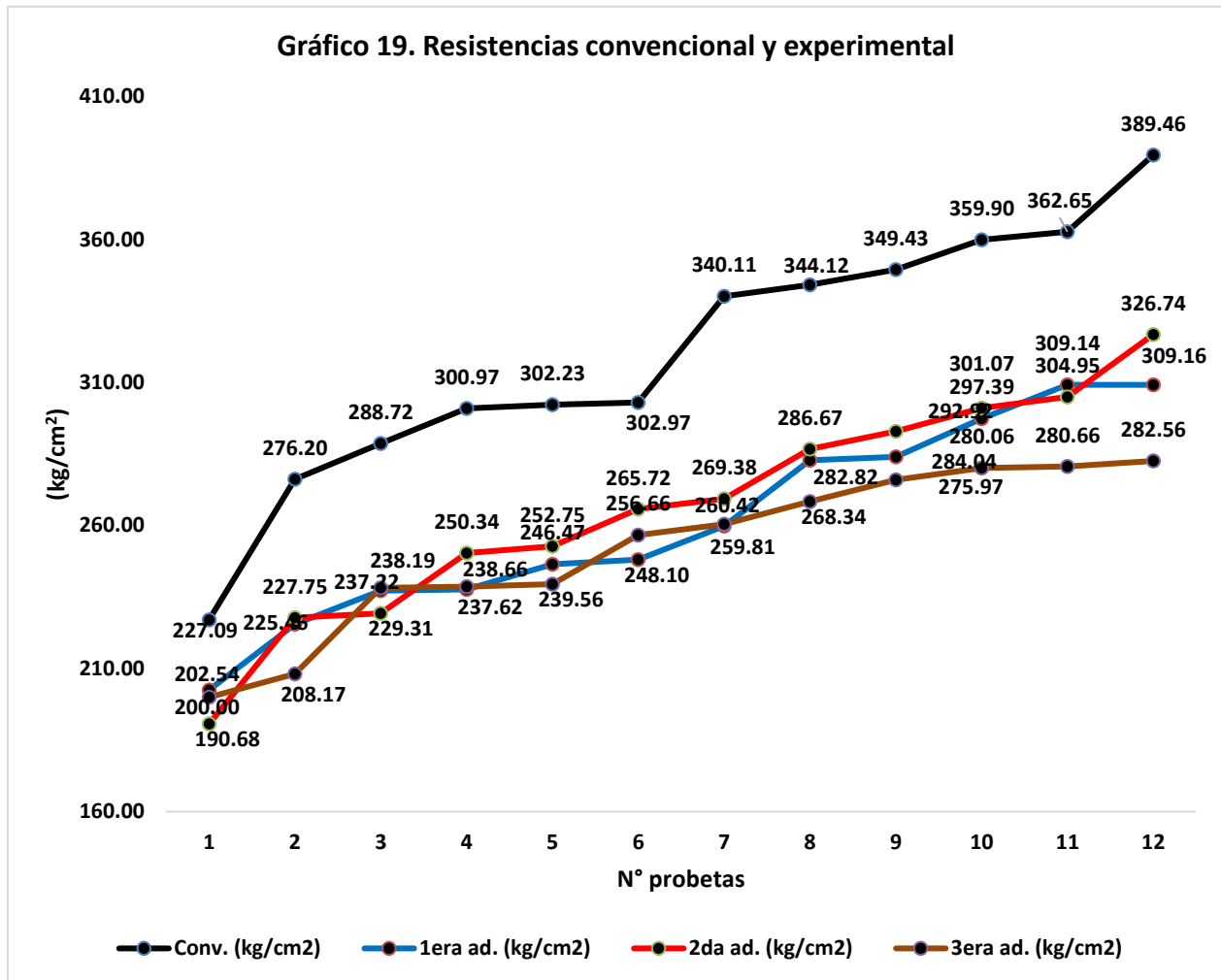
A 7 en diseño experimental (3<sup>era</sup> ad.) fue 215.45 kg/cm<sup>2</sup> (76.95%). En 14: 244.96 kg/cm<sup>2</sup> (87.49%), 21: 268.24 kg/cm<sup>2</sup> (95.80%). En 28 fue 281.09 kg/cm<sup>2</sup> (100.39%) (ver anexo 26) (página 232).

Se presentan los resultados en rotura de probetas convencionales y experimentales.

Tabla 72. Resistencias a la compresión del diseño convencional y experimental

Edad (días)	Conv. (kg/cm <sup>2</sup> )	1 <sup>era</sup> ad. (kg/cm <sup>2</sup> )	2 <sup>da</sup> ad. (kg/cm <sup>2</sup> )	3 <sup>era</sup> ad. (kg/cm <sup>2</sup> )	% f'c conv.	% f'c (1 <sup>era</sup> adición)	% f'c (2 <sup>da</sup> adición)	% f'c (3 <sup>era</sup> adición)
7	227.09	202.54	190.68	200.00	81.10	72.34	68.10	71.43
7	276.20	225.46	227.75	208.17	98.64	80.52	81.34	74.35
7	288.72	237.22	229.31	238.19	103.11	84.72	81.90	85.07
14	300.97	237.62	250.34	238.66	107.49	84.86	89.41	85.24
14	302.23	246.47	252.75	239.56	107.94	88.02	90.27	85.56
14	302.97	248.10	265.72	256.66	108.20	88.61	94.90	91.67
21	340.11	259.81	269.38	260.42	121.47	92.79	96.21	93.01
21	344.12	282.82	286.67	268.34	122.90	101.01	102.38	95.84
21	349.43	284.04	292.92	275.97	124.80	101.44	104.61	98.56
28	359.90	297.39	301.07	280.06	128.54	106.21	107.52	100.02
28	362.65	309.14	304.95	280.66	129.52	110.41	108.91	100.24
28	389.46	309.16	326.74	282.56	139.09	110.41	116.69	100.91

Propia.



En 28, el diseño tradicional logró  $370.67 \text{ kg/cm}^2$  (132.38%), cuyo valor es superior a las compresiones obtenidas de los diseños experimentales en 1.21%, 1.19% y 1.32%, los cuales alcanzaron compresiones promedio de  $305.23 \text{ kg/cm}^2$  (109.01%) (1<sup>era</sup> adición),  $310.92 \text{ kg/cm}^2$  (111.04%) (2<sup>da</sup> adición) y de  $281.09 \text{ kg/cm}^2$  (100.39%) (3<sup>era</sup> adición), siendo la 2<sup>da</sup> adición, la más próxima a la resistencia de diseño patrón (ver anexo 27) (página 233).

## Evaluación indirecta de la durabilidad del concreto

### Prueba de desgaste por abrasión

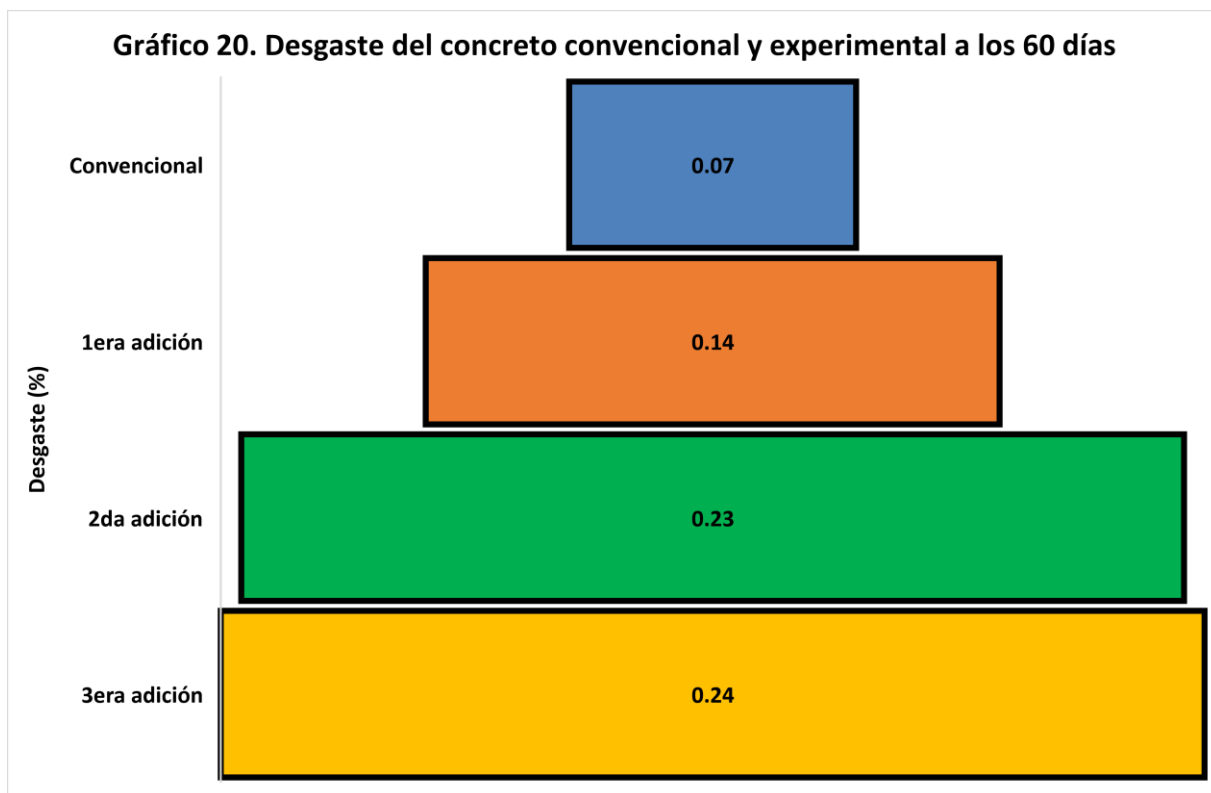
Este ensayo está normado por la ASTM C779/C779M y define el factor de abrasión, siendo usado para control en calidad de pavimentación. cuyos diámetros de los especímenes no exceden las 6 in. Se ha empleado un dispositivo de abrasión, el cual estuvo compuesto de un taladro de banco hechizo, adaptado a un cortador abrasivo que osciló a 200 rev/min, con una aplicación de carga normal de  $98 \pm 1$  N durante 2 minutos.

Primeramente, se tomó nota del peso inicial del espécimen, asegurándola de forma correcta en el dispositivo de abrasión, de manera que la superficie ensayada esté nivelada al eje del equipo. Posteriormente se montó el rodillo cortador al dispositivo, se encendió el motor y se bajó el rodillo hasta que esta entre en contacto con la superficie del testigo. Después de aplicar la carga en cada ciclo por el tiempo mencionado con anterioridad, se tomó lectura de la masa de los 3 períodos, limpiando previamente la superficie ensayada. Del muestreo para las edades respectivas, se consignaron los siguientes resultados (ver anexos 28, 29, 30) (páginas 236, 237 y 238).

Tabla 73. Desgaste del concreto convencional y experimental a los 60 días

Concreto	Edad (días)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
Convencional	60	961.60	960.90	0.63	0.07
1 <sup>era</sup> adición	60	887.00	885.80	1.27	0.14
2 <sup>da</sup> adición	60	905.70	903.60	2.08	0.23
3 <sup>era</sup> adición	60	881.10	878.90	2.15	0.24

Fuente: Laboratorio LEMS W&C EIRL.

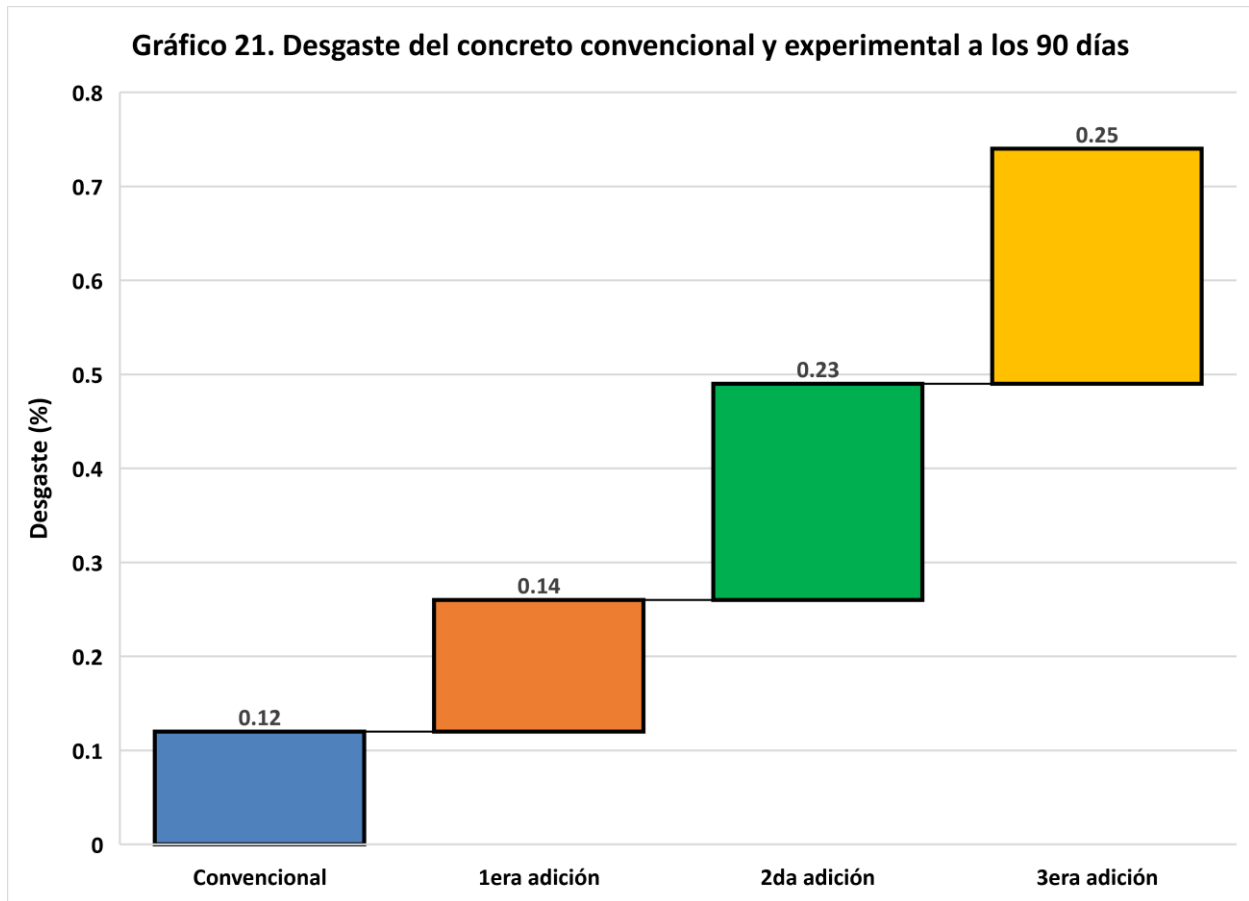


El desgaste a los 60 días fue de 0.07% (convencional), 0.14% (1<sup>era</sup> adición), 0.23% (2<sup>da</sup> adición) y 0.24% (3<sup>era</sup> adición) (ver anexo 28) (página 236).

Tabla 74. Desgaste del concreto convencional y experimental a los 90 días

Concreto	Edad (días)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
Convencional	90	874.00	872.90	1.08	0.12
1 <sup>era</sup> adición	90	877.20	876.00	1.22	0.14
2 <sup>da</sup> adición	90	904.50	902.50	2.04	0.23
3 <sup>era</sup> adición	90	855.20	853.00	2.12	0.25

Fuente: Laboratorio LEMS W&C EIRL.

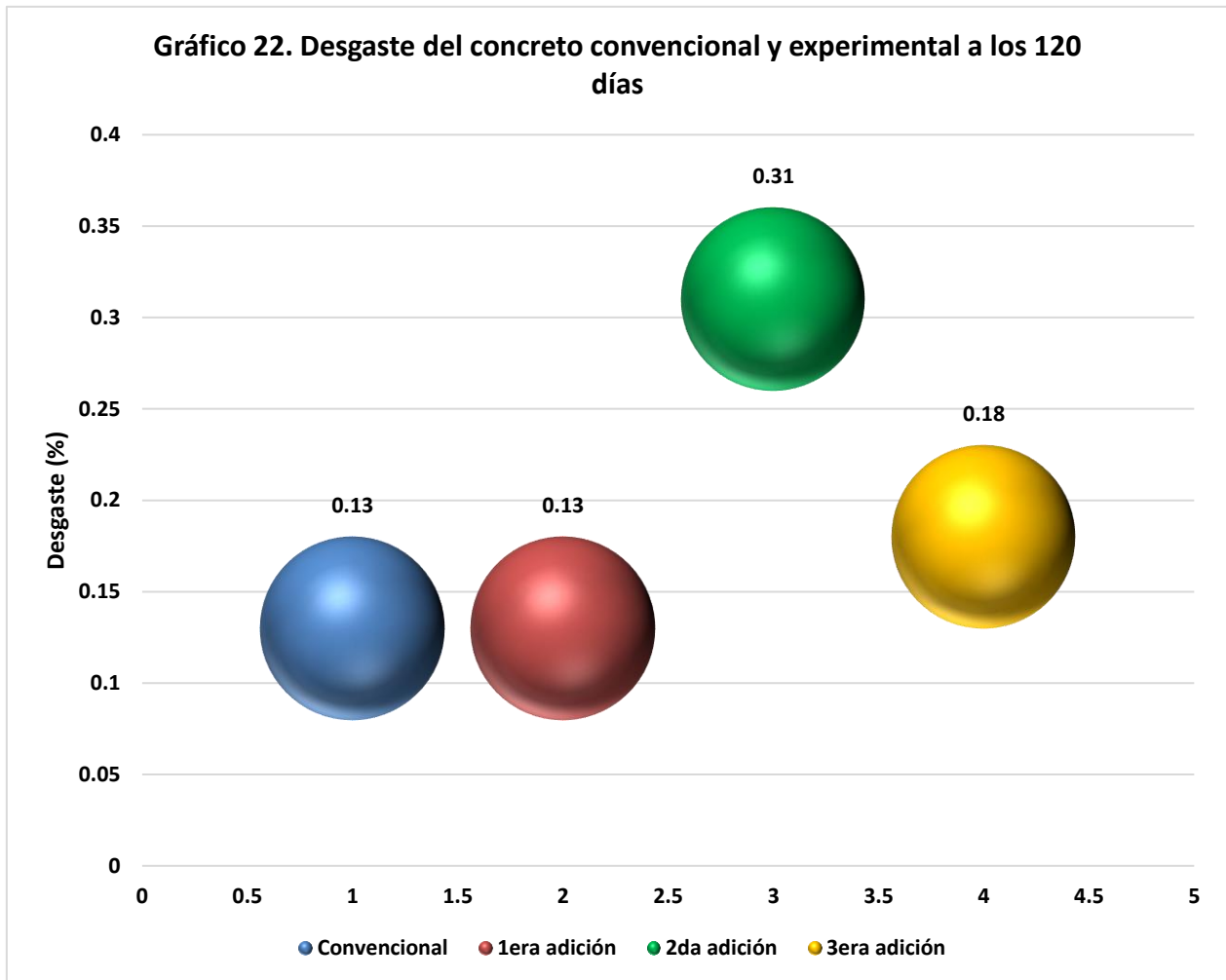


El desgaste a los 90 días fue de 0.12% (convencional), 0.14% (1<sup>era</sup> adición), 0.23% (2<sup>da</sup> adición) y 0.25% (3<sup>era</sup> adición) (ver anexo 29) (página 237).

Tabla 75. Desgaste del concreto convencional y experimental a los 120 días

Concreto	Edad (días)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
Convencional	120	865.20	864.00	1.11	0.13
1 <sup>era</sup> adición	120	848.20	847.10	1.14	0.13
2 <sup>da</sup> adición	120	892.10	889.30	2.81	0.31
3 <sup>era</sup> adición	120	811.10	809.70	1.44	0.18

Fuente: Laboratorio LEMS W&C EIRL.

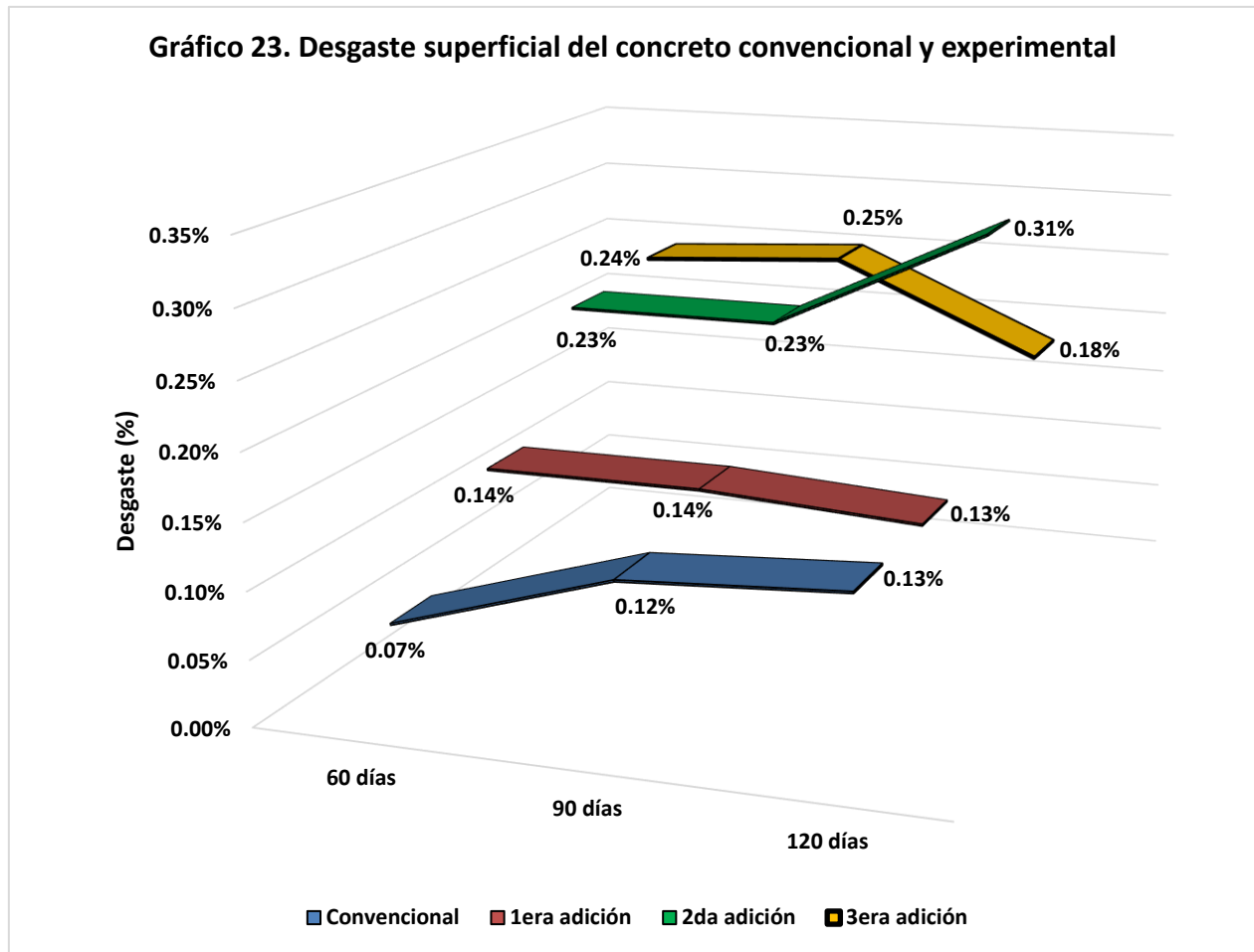


El desgaste a los 120 días fue de 0.13% (convencional), 0.13% (1<sup>era</sup> adición), 0.31% (2<sup>da</sup> adición) y 0.18% (3<sup>era</sup> adición) (ver anexo 30) (página 238).

Tabla 76. Desgaste superficial del concreto convencional y experimental

Edad	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición
60 días	0.07%	0.14%	0.23%	0.24%
90 días	0.12%	0.14%	0.23%	0.25%
120 días	0.13%	0.13%	0.31%	0.18%

Fuente: Laboratorio LEMS W&C EIRL.



El mayor desgaste superficial se da de la siguiente forma: concreto convencional < 1<sup>era</sup> adición < 3<sup>era</sup> adición < 2<sup>da</sup> adición. En cuanto a la correlación dada por norma, según  $f'c$  de diseño y de rotura, se hallaron las siguientes pérdidas de resistencia.

$$\text{Desgaste} = 43.686 - 0.070 * f'c$$

$$\text{Desgaste} = 43.686 - 0.070 * (280.00 \text{ kg/cm}^2) = 24.09 \text{ kg/cm}^2 \text{ (de diseño)}$$

$$\text{Desgaste} = 43.686 - 0.070 * (370.67 \text{ kg/cm}^2) = 17.74 \text{ kg/cm}^2 \text{ (convencional)}$$

$$\text{Desgaste} = 43.686 - 0.070 * (305.23 \text{ kg/cm}^2) = 22.32 \text{ kg/cm}^2 \text{ (1}^{\text{era}} \text{ adición)}$$

$$\text{Desgaste} = 43.686 - 0.070 * (310.92 \text{ kg/cm}^2) = 21.92 \text{ kg/cm}^2 \text{ (2}^{\text{da}} \text{ adición)}$$

$$\text{Desgaste} = 43.686 - 0.070 * (281.09 \text{ kg/cm}^2) = 24.01 \text{ kg/cm}^2 \text{ (3}^{\text{era}} \text{ adición)}$$

Tabla 77. Resistencias finales por desgaste conv. como experimental

Elemento	Resistencia	Durabilidad										
	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )  28 días	Correlación lineal ASTM C779/C779M		Prueba de desgaste por abrasión								
				60 días			90 días			120 días		
		kg/cm <sup>2</sup>	f'c	%	kg/cm <sup>2</sup>	f'c	%	kg/cm <sup>2</sup>	f'c	%	kg/cm <sup>2</sup>	f'c
Patrón	370.67	17.74	352.93	0.07	25.95	344.72	0.12	44.48	326.19	0.13	48.19	322.48
1 <sup>era</sup> adición	305.23	22.32	282.91	0.14	42.73	262.50	0.14	42.73	262.50	0.13	39.68	265.55
2 <sup>da</sup> adición	310.92	21.92	289.00	0.23	71.51	239.41	0.23	71.51	239.41	0.31	96.39	214.53
3 <sup>era</sup> adición	281.09	24.01	257.08	0.24	67.46	213.63	0.25	70.27	210.82	0.18	50.60	230.49

Fuente: Elaboración propia según ASTM C779/C779M y ASTM E119.

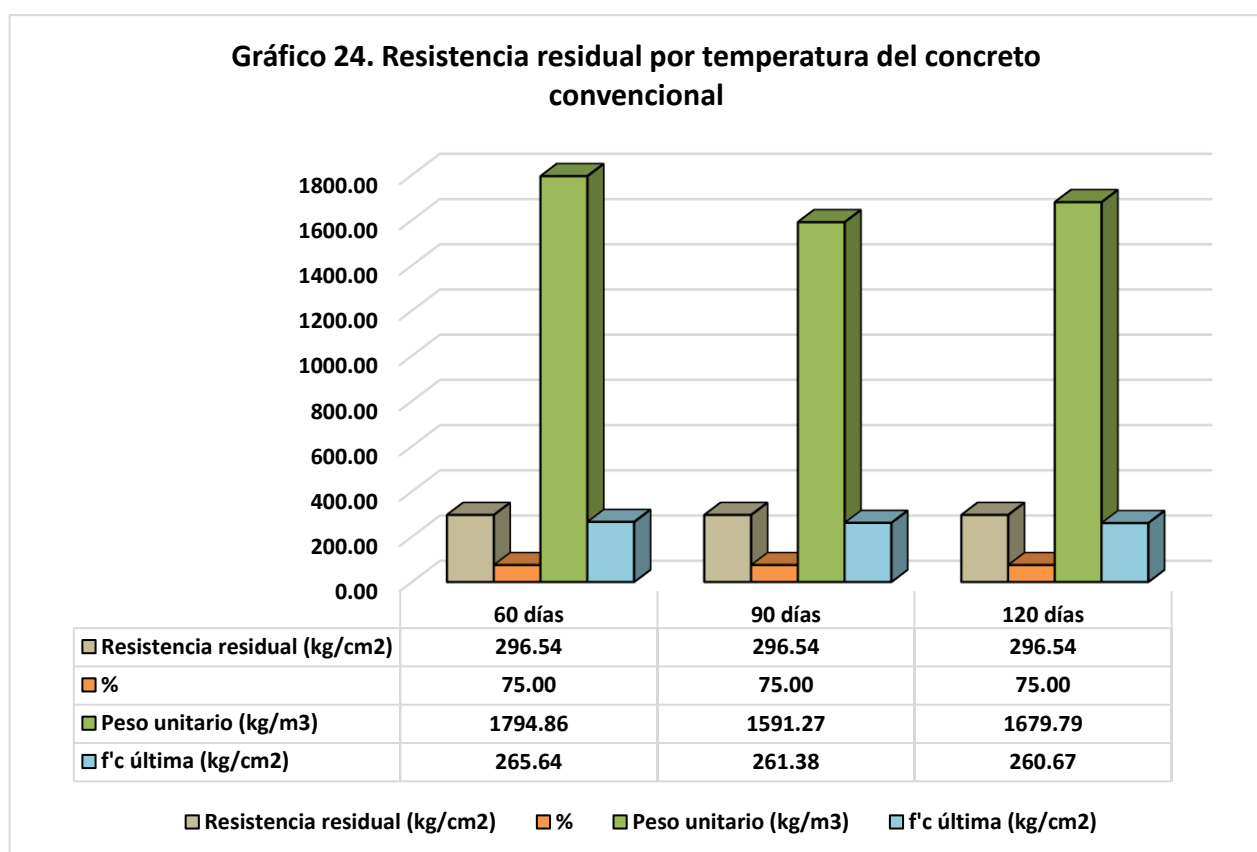
### Prueba a fuego

Se evaluó la degradación del concreto, en base al desempeño estrés por efecto de temperatura, de acuerdo a los lineamientos estipulados de la norma ASTM E119. La resistencia residual fue hallada según los criterios de correlación, entre el tiempo de exposición y la variación de color del testigo, para posteriormente, corroborar el peso unitario y la resistencia última real de los concretos, conforme a la rotura final de probetas por compresión. Se expusieron a fuego 12 muestras en un horno artificial hecho, por un lapso de 30 minutos, en la cual, con ayuda de un termómetro infrarrojo de marca HoldPeak HP - 1880, cuyo rango de lectura de temperatura fue de -50 °C (-58 °F) a 1880 °C (3416 °F), se logró alcanzar una temperatura de 605.50 °C (60 días), 783.30 °C (90 días) y 609.40 °C (120 días), respectivamente. En cada período de prueba, se retiró con cuidado, una por una la muestra del horno, para tomar registro de la temperatura de manera independiente, observándose todos los cambios superficiales que sufrió el concreto convencional como experimental. Después de 24 horas, una vez enfriadas las muestras, se tomaron nota de los pesos y se ensayaron en la máquina de rotura por compresión, con el fin de determinar la resistencia final de las probetas, y, por ende, las varianzas correlativas. De manera general, se detallan los resultados de la evaluación respectiva (ver anexos 31, 32, 33, 34 y 35) (páginas 239, 241, 243, 245 y 247).

Tabla 78. Resistencia residual por temperatura del concreto convencional

Diagnóstico de durabilidad indirecta por prueba a fuego									
Probeta	Edad (días)	Temperatura llegada (°C)	Temperatura corregida (°C)	Color	Resistencia residual (kg/cm <sup>2</sup> )	Valoración	%	P. unit. (kg/m <sup>3</sup> )	f'c última (kg/cm <sup>2</sup> )
Tradicional	60.00	605.50	339.50	Rosado	296.54	Buena	75.00	1794.86	265.64
Patrón	90.00	783.30	523.40	Rosado grisáceo	296.54	Buena	75.00	1591.27	261.38
Patrón	120.00	609.40	455.90	Rosado grisáceo	296.54	Buena	75.00	1679.79	260.67
<b>Promedio</b>					<b>296.54</b>	<b>Buena</b>	<b>75.00</b>	<b>1688.64</b>	<b>262.56</b>

Fuente: Elaboración propia según ASTM E119.

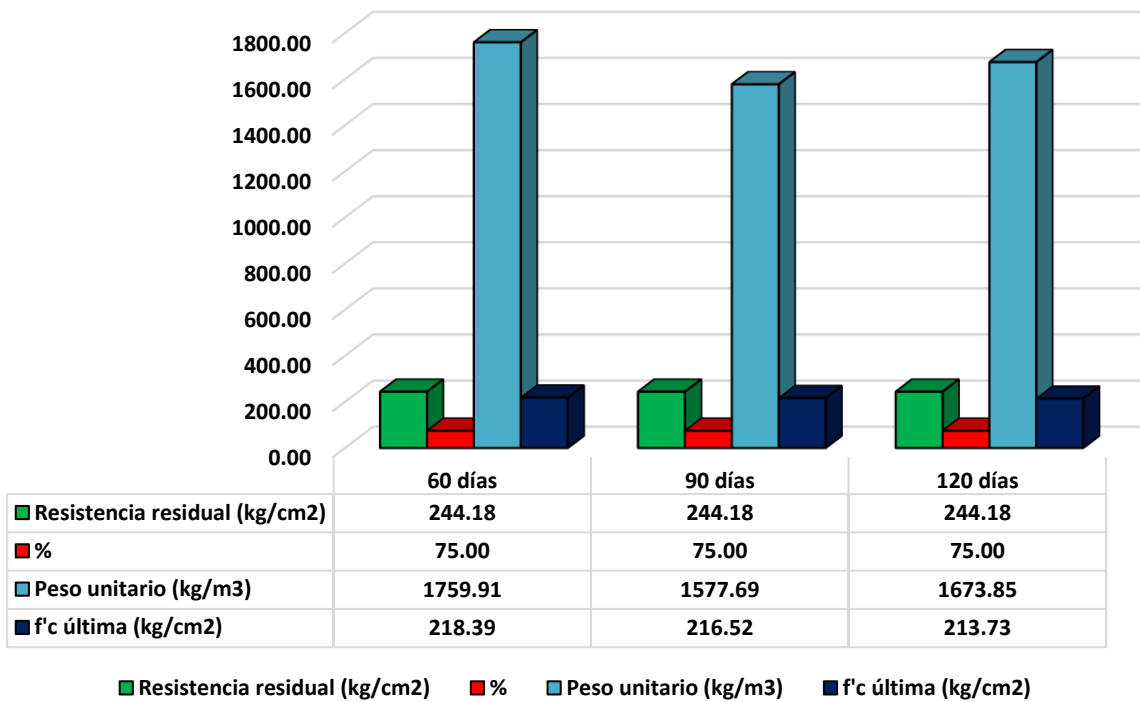


Según correlación, el concreto convencional pierde 20% de su resistencia inicial al presentar un color rosado y rosado grisáceo, siendo de condición buena, la cual estuvo comprendida entre 300 °C a 900 °C, cuyas resultantes fueron de 296.54 kg/cm<sup>2</sup> para los 3 períodos. Por rotura de probetas, las resistencias finales fueron de 265.64 kg/cm<sup>2</sup> (60 días), 261.38 kg/cm<sup>2</sup> (90 días) y 260.67 kg/cm<sup>2</sup> (120 días) (ver anexo 31) (página 239).

Tabla 79. Resistencia residual por temperatura del concreto experimental (1<sup>era</sup> adición)

Diagnóstico de durabilidad indirecta por prueba a fuego									
Probeta	Edad (días)	Temperatura llegada (°C)	Temperatura corregida (°C)	Color	Resistencia residual (kg/cm <sup>2</sup> )	Valoración	%	P. unit. (kg/m <sup>3</sup> )	f'c última
1 <sup>era</sup> adición	60.00	605.50	348.50	Rosado grisáceo	244.18	Buena	75.00	1759.91	218.39
1 <sup>era</sup> adición	90.00	783.30	499.70	Rosado grisáceo	244.18	Buena	75.00	1577.69	216.52
1 <sup>era</sup> adición	120.00	609.40	455.90	Rosado grisáceo	244.18	Buena	75.00	1673.85	213.73
<b>Promedio</b>					<b>244.18</b>	<b>Buena</b>	<b>75.00</b>	<b>1670.48</b>	<b>216.21</b>

Fuente: Elaboración propia según ASTM E119.

Gráfico 25. Resistencia residual por temperatura del concreto experimental (1<sup>era</sup> adición)

Según correlación, el concreto experimental (1<sup>era</sup> adición) pierde 20.00% de su resistencia inicial al presentar un color rosado grisáceo, siendo de condición buena, la cual estuvo comprendida entre 300.00 °C a 900.00 °C, cuyas resultantes fueron de 244.18 kg/cm<sup>2</sup> para las 3 edades.

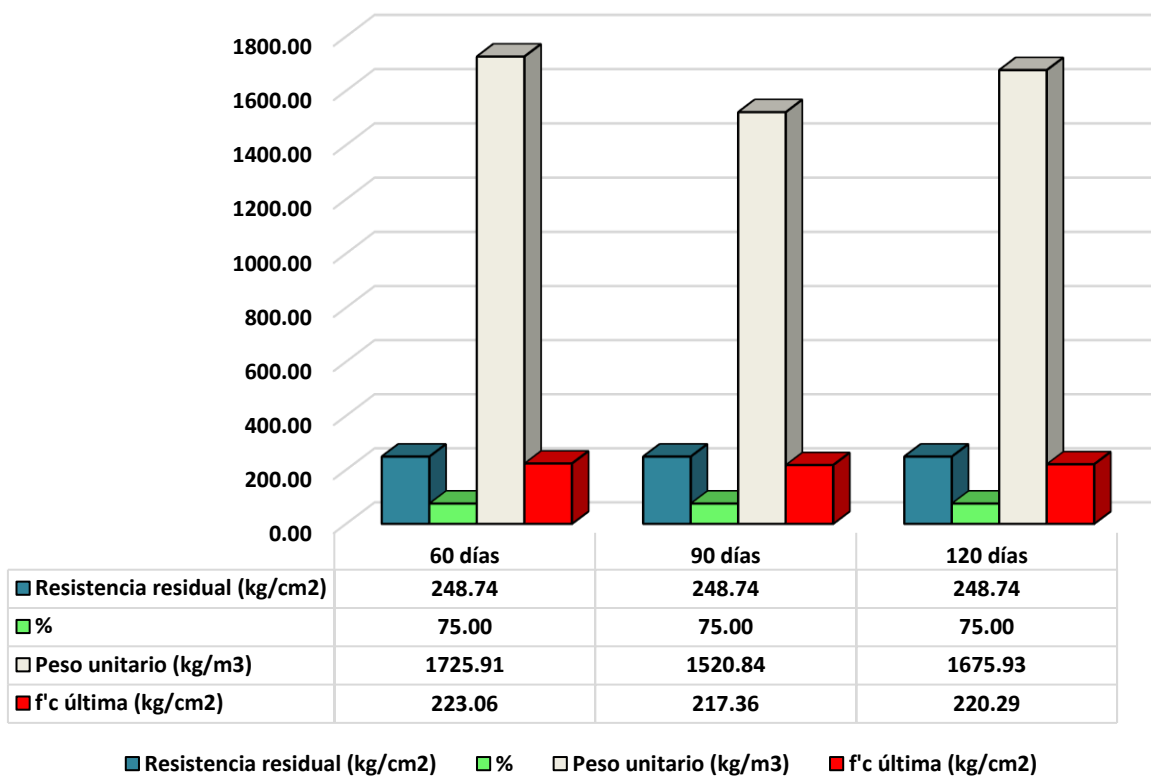
Por rotura de probetas, las resistencias finales fueron de 218.39 kg/cm<sup>2</sup> (60 días), 216.52 kg/cm<sup>2</sup> (90 días) y 213.73 kg/cm<sup>2</sup> (120 días) (ver anexo 32) (página 241).

Tabla 80. Resistencia residual por temperatura del concreto experimental (2<sup>da</sup> adición)

Diagnóstico de durabilidad indirecta por prueba a fuego									
Probeta	Edad (días)	Temperatura llegada (°C)	Temperatura corregida (°C)	Color	Resistencia residual (kg/cm <sup>2</sup> )	Valoración	%	P. unit. (kg/m <sup>3</sup> )	f'c última
2 <sup>da</sup> adición	60.00	605.50	348.50	Rosado	248.74	Buena	75.00	1725.91	223.06
2 <sup>da</sup> adición	90.00	783.30	513.30	Rosado grisáceo	248.74	Buena	75.00	1520.84	217.36
2 <sup>da</sup> adición	120.00	609.40	372.70	Rosado grisáceo	248.74	Buena	75.00	1675.93	220.29
<b>Promedio</b>					<b>248.74</b>	<b>Buena</b>	<b>75.00</b>	<b>1640.89</b>	<b>220.24</b>

Fuente: Elaboración propia según ASTM E119.

Gráfico 26. Resistencia residual por temperatura del concreto experimental (2<sup>da</sup> adición)



Según correlación, el concreto experimental (2<sup>da</sup> adición) pierde 20.00% de su resistencia inicial al presentar un color rosado y rosado grisáceo, siendo de condición buena, la cual estuvo comprendida entre 300.00 °C a 900.00 °C, cuyas resultantes fueron de 248.74 kg/cm<sup>2</sup> para los 3 ciclos.

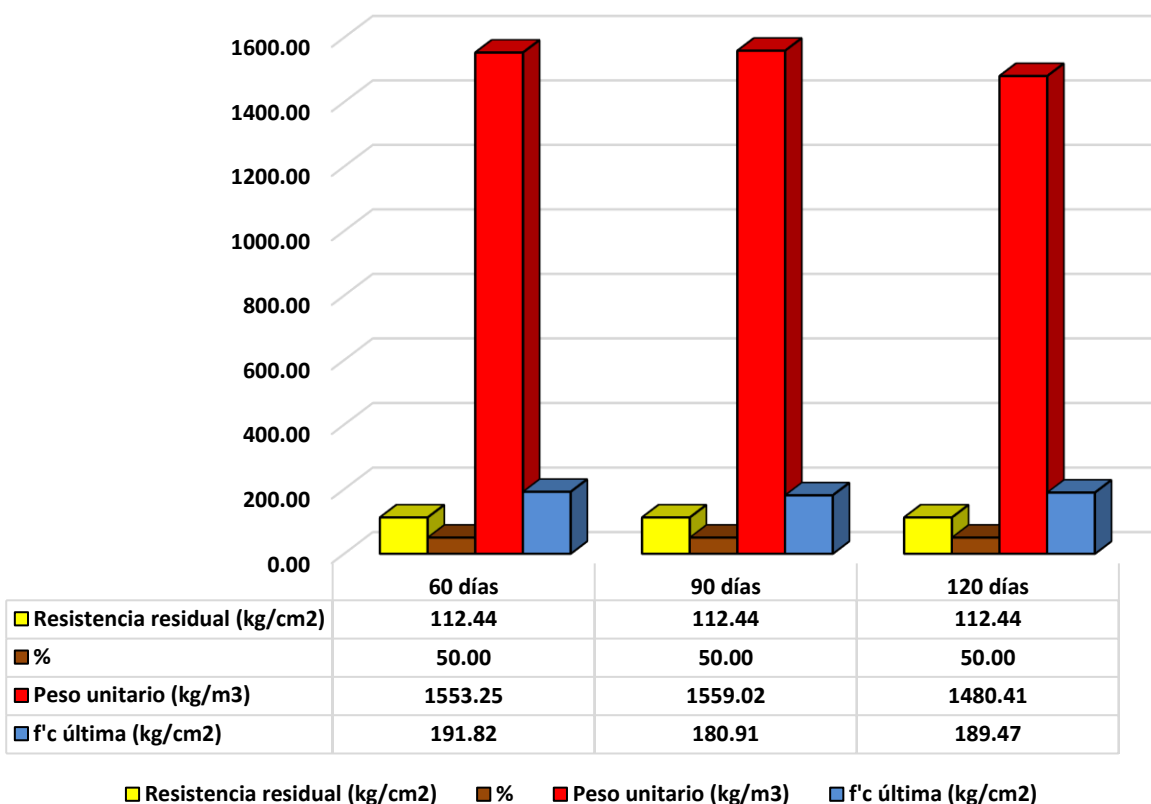
Por rotura de probetas, las resistencias finales fueron de 223.06 kg/cm<sup>2</sup> (60 días), 217.36 kg/cm<sup>2</sup> (90 días) y 220.29 kg/cm<sup>2</sup> (120 días) (ver anexo 33) (página 243).

Tabla 81. Resistencia residual por temperatura del concreto experimental (3<sup>era</sup> adición)

Diagnóstico de durabilidad indirecta por prueba a fuego									
Probeta	Edad (días)	Temperatura llegada (°C)	Temperatura corregida (°C)	Color	Resistencia residual (kg/cm <sup>2</sup> )	Valoración	%	P. unit. (kg/m <sup>3</sup> )	f'c última
3 <sup>era</sup> adición	60.00	605.50	339.50	Grisáceo	112.44	Regular	50.00	1553.25	191.82
3 <sup>era</sup> adición	90.00	783.30	455.90	Grisáceo	112.44	Regular	50.00	1559.02	180.91
3 <sup>era</sup> adición	120.00	609.40	341.40	Grisáceo	112.44	Regular	50.00	1480.41	189.47
<b>Promedio</b>					<b>112.44</b>		<b>50.00</b>	<b>1530.89</b>	<b>187.40</b>

Fuente: Elaboración propia según ASTM E119.

**Gráfico 27. Resistencia residual por temperatura del concreto experimental (3<sup>era</sup> adición)**



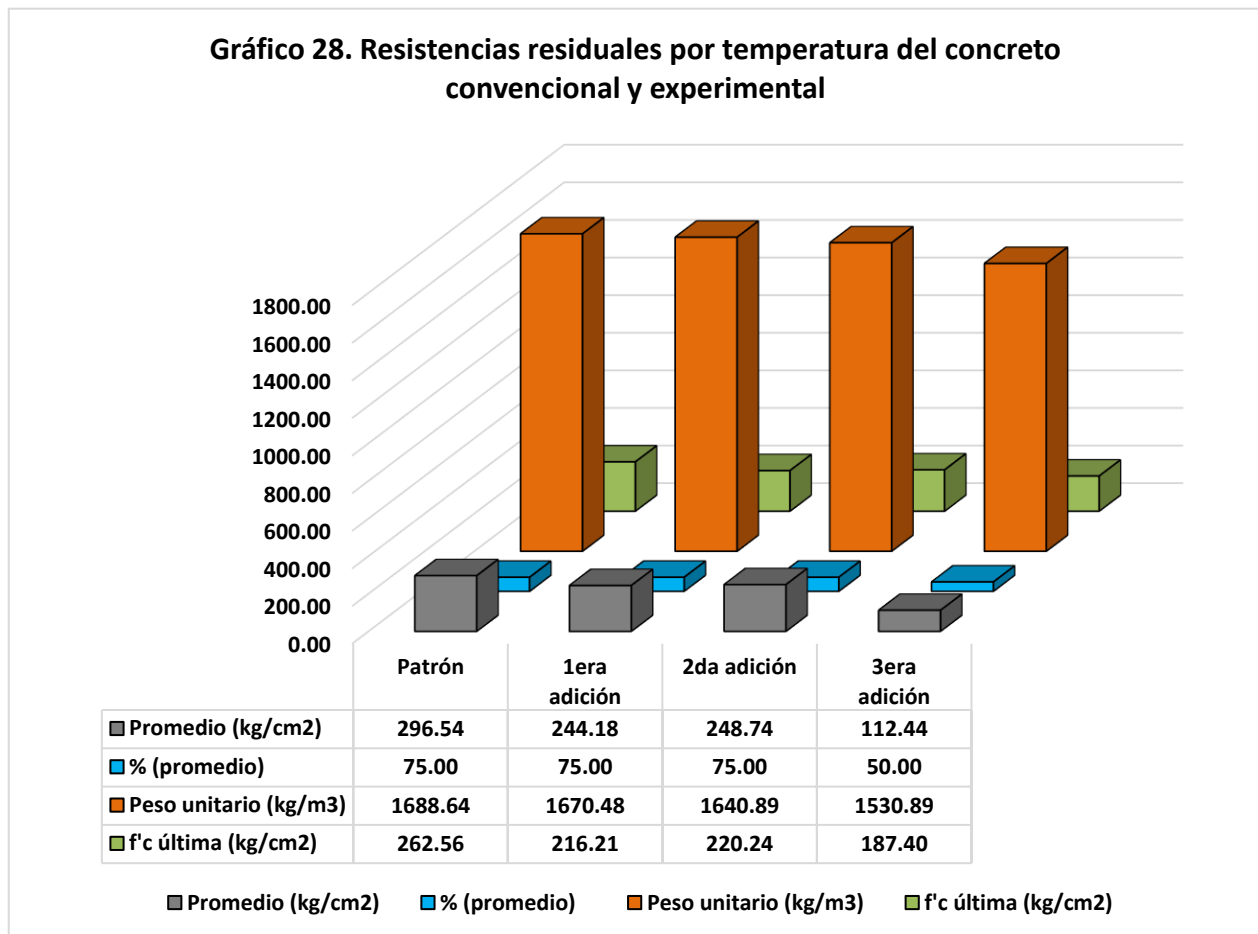
Según correlación, el concreto experimental (3<sup>era</sup> adición) pierde 60.00% de su resistencia inicial al presentar un color grisáceo, siendo de condición regular, la cual no estuvo comprendida entre 300.00 °C a 900.00 °C (calcineración avanzada entre 300.00 °C a 600.00 °C), cuyas resultantes fueron de 112.44 kg/cm<sup>2</sup> para los 3 ciclos.

Por rotura de probetas, las resistencias finales fueron de 191.82 kg/cm<sup>2</sup> (60 días), 180.91 kg/cm<sup>2</sup> (90 días) y 189.47 kg/cm<sup>2</sup> (120 días) (ver anexo 34) (página 245).

Tabla 82. Resistencias residuales por temperatura del concreto convencional y experimental

Diagnóstico de durabilidad indirecta por prueba a fuego								
Probeta	Resistencia residual				Valoración (promedio)	% (promedio)	P. unit. (kg/m <sup>3</sup> )	f'c última
	(kg/cm <sup>2</sup> ) (60 d.)	(kg/cm <sup>2</sup> ) (90 d.)	(kg/cm <sup>2</sup> ) (120 d.)	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )				
Convencional	296.54	296.54	296.54	296.54	Buena	75.00	1688.64	262.56
1 <sup>era</sup> adición	244.18	244.18	244.18	244.18	Buena	75.00	1670.48	216.21
2 <sup>da</sup> adición	248.74	248.74	248.74	248.74	Buena	75.00	1640.89	220.24
3 <sup>era</sup> adición	112.44	112.44	112.44	112.44	Regular	50.00	1530.89	187.40

Fuente: Elaboración propia según ASTM E119.



Las resistencias últimas fueron de 262.56 kg/cm<sup>2</sup> (convencional), 216.21 kg/cm<sup>2</sup> (1<sup>era</sup> adición), 220.24 kg/cm<sup>2</sup> (2<sup>da</sup> adición) y de 187.40 kg/cm<sup>2</sup> (3<sup>era</sup> adición), con una tendencia probabilística calculada de 33.33% (ver anexo 35) (página 247).

## Análisis de viabilidad

Se tuvo presente todas las variables técnicas, económicas y financieras en relación a un ratio con costo fijo inicial en base a lo expuesto en la tabla 1, cuyo valor permitió determinar un ratio de costo oferta según paño de losa de concreto para un índice de transitabilidad de condiciones bajas, moderadas y altas, cuyas dimensiones promedio por carril son de 3.50 m x 3.00 m para un espesor 0.20 m, 0.25 m y 0.30 m. Para ello, se cotizaron los precios actuales de materiales según locales y centros comerciales de la Ciudad de Chiclayo; como también, precios M.O (hora hombre), los cuales fueron obtenidos de FTCCP (período: 01 junio 2023 al 31 de mayo del 2024). Del mismo modo, para los equipos/herramientas (hora equipo).

Cabe precisar, que se consideró un desperdicio del 15% en el cemento, agregados, materiales sustituyentes y en el agua. Concerniente al flete como movilización/desmovilización del equipamiento, se estableció una distancia media de 25 km, cuyo precio promedio fijo estimado fue de S/. 300.00, el cual se encuentra descrito en la tabla 83.

Tabla 83. Costo del flete de materiales y movilización/desmovilización de equipos/herramientas (DM = 25 km)

**Tipo transporte:** Normal

**Ruta:** Pacasmayo - Tarapoto

De	A	Distancia (km)	S/. tn	FRV	S/. x tn	Coficiente K1	Subt. S/. x tn
Pmy.	Lamb.	112.05	51.59	1.00	51.59	-	-
Lamb.	Tpp.	889.63	192.89	1.00	192.89	-	-
		<b>1,001.68</b>	<b>244.48</b>		<b>244.48</b>	<b>1.227</b>	<b>300.00</b>

Fuente: D.S. N° 010-2006-MTC del 25.03.06

(\*) FRV: De acuerdo al D.S. N° 010-2006-MTC.

Coficiente k: D.S. N° 011-79-VC

**K1**

$$K \text{ vigente} = \frac{\text{JUNIO 2023}}{\text{DICIEMBRE 2022}} = \frac{455.86}{371.50} = 1.227$$

**Costo del flete para una distancia media de 25 km (S/.) 12.00**

Los gastos generales fueron del 5% y la utilidad de retorno mínima esperada fue del 10% para un mes de ejecución. A continuación, se describe, el cálculo correspondiente del ratio de costo fijo inicial por m<sup>3</sup>.

Al no conocerse los metrados reales, ni otras consideraciones constructivas, como capacidad de soporte (CBR), ni los diseños de mezclas, ni las cargas vehiculares de los estudios de tráfico de los pavimentos ejecutados por la Municipalidad Provincial de Chiclayo (Gerencia de Infraestructura Pública, período: 2012 - 2022), se estimó las dimensiones promedio de las losas de concreto de pavimentos rígidos de baja, media y alta transitabilidad, según las características siguientes:

Costo unitario promedio de concreto baja transitabilidad (m<sup>3</sup>) = Medio – alto

Costo unitario promedio de concreto media transitabilidad (m<sup>3</sup>) = Bajo – medio

Costo unitario promedio de concreto alta transitabilidad (m<sup>3</sup>) = Bajo – alto

Ancho de calzada =	7.00	ml
Longitud promedio de vía =	1000.00	ml
Espesor de losa (bajo tránsito) =	0.20	ml
e. (medio tránsito) =	0.25	ml
e. (alto tránsito) =	0.30	ml
Volumen de losa (bajo tránsito) =	1400.00	m <sup>3</sup>
Volumen de losa (medio tránsito) =	1750.00	m <sup>3</sup>
Volumen de losa (alto tránsito) =	2100.00	m <sup>3</sup>

Tabla 84. Ratio de costo fijo inicial por m<sup>3</sup>

Obra	Valor	Monto obras de concreto (40% VC)	C.U C° por volumen de baja transitabilidad (m <sup>3</sup> )	C.U C° por volumen de media transitabilidad (m <sup>3</sup> )	C.U C° por volumen de alta transitabilidad (m <sup>3</sup> )
Calle Rodrigo de Triana, Av. Antenor Orrego, Víctor Raúl y Calle Ama Quella	S/ 836,381.00	S/ 334,552.40	S/ 238.97	S/ 191.17	S/ 159.31
Av. Lloque Yupanqui, Sinchi Roca, Unión, Los Andes, Fraternidad, Calle las Ñustas, los Quipus y Mayta Cápac	S/ 2,709,050.00	S/ 1,083,620.00	S/ 774.01	S/ 619.21	S/ 516.01
Calles del Pueblo Joven José Olaya	S/ 5,000,000.00	S/ 2,000,000.00	S/ 1,428.57	S/ 1,142.86	S/ 952.38
Calles Leoncio Prado, Alfonso Ugarte, Av. Pedro Ruiz, Luis Gonzales, Arica, Juan Cuglievan, 7 de enero, 8 de octubre, Alfredo Lapoint y Héroes Civiles	S/ 8,300,000.00	S/ 3,320,000.00	S/ 2,371.43	S/ 1,897.14	S/ 1,580.95
Av. Chiclayo	S/ 53,000,000.00	S/ 21,200,000.00	S/ 15,142.86	S/ 12,114.29	S/ 10,095.24
Av. Soberanía, 9 de octubre, Elvira García y García	S/ 1,426,820.00	S/ 570,728.00	S/ 407.66	S/ 326.13	S/ 271.78

Calle Jorge Chávez desde la Avenida Agricultura hasta Avenida México	S/ 2,936,967.00	S/ 1,174,786.80	S/ 839.13	S/ 671.31	S/ 559.42
Costo unitario promedio de C° por volumen (m <sup>3</sup> )			S/ 3,028.95	S/ 2,423.16	S/ 2,019.30
Costo unitario promedio de C° por m <sup>3</sup>			S/ 403.86	S/ 605.79	S/ 1,009.65
<b>Ratio de costo fijo C° convencional</b>			<b>S/ 673.10</b>		

Según datos consultados Gerencia de Infraestructura Pública (MPCH).

Se determinó un ratio de costo fijo con IGV (18%) por m<sup>3</sup> de S/. 673.10 y de S/. 570.43 sin IGV. Dicho valor es relativo y variable, ya que la información recolectada corresponde al período de los años 2012 – 2022, cuyos costos de ejecución fueron incrementándose por la alta demanda de la construcción en nuestro país.

### **Influencia técnica**

Las adiciones combinadas con ceniza de madera roble y gránulos de silicio, mejoran gradualmente la compresión y durabilidad del concreto, el cual, bajo sustitución del cemento en 20%, alcanza 326.74 kg/cm<sup>2</sup> (2<sup>da</sup> adición), un desgaste superficial mínimo de 0.13% (39.68 kg/cm<sup>2</sup>) (1<sup>era</sup> adición) y 40.00% (112.44 kg/cm<sup>2</sup>) de resistencia residual mínima por temperatura (3<sup>era</sup> adición). De los resultados promedio obtenidos por rotura de probetas, para el convencional: 370.67 kg/cm<sup>2</sup>, 305.23 kg/cm<sup>2</sup> (1<sup>era</sup> adición), 310.92 kg/cm<sup>2</sup> (2<sup>da</sup> adición) y 281.09 kg/cm<sup>2</sup> para la 3<sup>era</sup> adición. Cabe precisar que los diseños de mezclas experimentales (1<sup>era</sup>, 2<sup>da</sup> y 3<sup>era</sup> adición) superan los 280.00 kg/cm<sup>2</sup>. No obstante, no logran alcanzar la resistencia requerida de 364.00 kg/cm<sup>2</sup>. Sobre prueba por abrasión, el convencional tuvo un desgaste superficial en 0.13% (48.19 kg/cm<sup>2</sup>), 0.13% (39.68 kg/cm<sup>2</sup>) (1<sup>era</sup> adición), 0.31% (96.39 kg/cm<sup>2</sup>) (2<sup>da</sup> adición) y 0.18% (50.60 kg/cm<sup>2</sup>) (3<sup>era</sup> adición). Mientras que, por prueba a fuego, el convencional tuvo un residuo porcentual promedio por temperatura de 0.80%, 0.80% (1<sup>era</sup> adición), 0.80% (2<sup>da</sup> adición) y 0.40% (3<sup>era</sup> adición).

### Tendencia probabilística

Se calculó la desviación estándar por muestra y edad, tanto para el concreto convencional como experimental, y de acuerdo a ello, se determinó la sumatoria global de la desviación estándar por tipo de muestra, dónde se halló el valor promedio de dicha sumatoria, con la finalidad de conocer la relación de desarrollo. El uso combinado de la ceniza de madera roble y gránulos de silicio en concreto para pavimentos rígidos, puede lograr un aumento significativo de la compresión hasta un 25.00%. En consecuencia, se describe el cálculo respectivo (ver anexo 27) (página 235).

Tabla 85. Tendencia probabilística de la compresión de los concretos experimentales

Desviación estándar ( $\sigma$ )	1 <sup>era</sup> adición (kg/cm <sup>2</sup> )	2 <sup>da</sup> adición (kg/cm <sup>2</sup> )	3 <sup>era</sup> adición (kg/cm <sup>2</sup> )
$\sigma_{\text{muestra}}$ a los 7 días	17.64	21.86	20.11
$\sigma_{\text{muestra}}$ a los 14 días	5.64	8.28	10.14
$\sigma_{\text{muestra}}$ a los 21 días	13.65	12.19	7.77
$\sigma_{\text{muestra}}$ a los 28 días	6.79	13.84	1.30
$\Sigma_{\text{total}} \sigma_{\text{muestras}}$	<b>43.72</b>	<b>56.17</b>	<b>39.33</b>
Prom. $\sigma_{\text{muestras}}$	<b>10.93</b>	<b>14.04</b>	<b>9.83</b>
Prom. $\sigma_{\text{muestras}} / \Sigma_{\text{total}} \sigma_{\text{muestras}}$	<b>0.25</b>	<b>0.25</b>	<b>0.25</b>
<b>Tendencia (+) (%)</b>	<b>25.00</b>	<b>25.00</b>	<b>25.00</b>
Resistencia promedio a los 28 días	305.23	310.92	281.09
<b>Resistencia máxima probabilística</b>	<b>381.54</b>	<b>388.65</b>	<b>351.37</b>

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al cálculo desarrollado, experimentalmente bajo la adición combinada del CMR con gránulos silicio, pueden desarrollar un aumento hasta de un 25.00%, en el cual, según las últimas resistencias obtenidas a los 28 días, la 1<sup>era</sup> adición alcanzaría 381.54 kg/cm<sup>2</sup>, la 2<sup>da</sup> adición 388.65 kg/cm<sup>2</sup> y la 3<sup>era</sup> adición 351.37 kg/cm<sup>2</sup>.

De ello, podemos enfatizar que el uso combinado de estos materiales es apropiado sobre la compresión, siendo la 1<sup>era</sup> y 2<sup>da</sup> adición, las que tienen mayor probabilidad de desarrollo y pueden alcanzar lo requerido de 364 kg/cm<sup>2</sup> después del mes.

### Influencia económica

Definimos los costos de producción y rentabilidad de cada concreto experimental, respecto al concreto convencional.

### Costos de producción

Se determinaron los siguientes montos por m<sup>3</sup> de concreto sin IGV (18%):

#### Del concreto convencional

1.1 Concreto convencional para pavimento rígido f'c = 280 kg/cm <sup>2</sup>						
m <sup>3</sup> /d	11.50	Rend.	11.50	CU: m <sup>3</sup>		S/. 619.41
Descrip.	Und	Cuad.	Cant.	Prec. S/.	Parc. S/.	
<b>MO</b>						
Capat.	hh	0.50	0.3478	18.41	6.40	
Operario	hh	3.00	2.087	16.74	34.94	
Oficial	hh	3.00	2.087	13.18	27.51	
Peón	hh	8.00	5.5652	11.96	66.58	
Total mano de obra (S/.)					<b>135.43</b>	
<b>Mat.</b>						
Piedra triturada 1/2"	m <sup>3</sup>	-	1.09	60.00	65.42	
Arena gru.	m <sup>3</sup>	-	0.86	48.00	41.45	
Cemento clas. I	bls	-	14.00	24.60	344.4	
Agua	m <sup>3</sup>	-	0.27	3.00	0.82	
Total materiales (S/.)					<b>452.09</b>	
<b>Equip.</b>						
Htas.	%MO	-	0.03	135.43	4.06	
Trompo mezclador 11 P3 - 18 HP	hm	1.00	0.70	20.00	13.91	
Vibrador 4 HP 1.35"	hm	1.00	0.70	20.00	13.91	
Total equipos (S/.)					<b>31.89</b>	

Costo de producción de concreto convencional por  $m^3 = S/. 619.41$

**Del concreto experimental (1<sup>era</sup> adición)**

1.2 Concreto experimental (1 <sup>era</sup> adición) para pavimento rígido $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$						
m <sup>2</sup> /d	11.5	Rend.	11.5	CU: m <sup>3</sup>		<b>S/. 576.03</b>
Descrip.	Und	Cuad.	Cant.	Prec. S/.	Parc. S/.	
<b>MO</b>						
Capat.	hh	0.50	0.35	18.41	6.40	
Operario	hh	3.00	2.09	16.74	34.94	
Oficial	hh	3.00	2.09	13.18	27.51	
Peón	hh	8.00	5.57	11.96	66.58	
Total mano de obra (S/.)					<b>135.43</b>	
<b>Mat.</b>						
Piedra triturada 1/2"	m <sup>3</sup>	-	1.15	60.00	69.27	
Arena gru.	m <sup>3</sup>	-	1.02	48.00	48.78	
Cemento clas. I	bis	-	9.60	24.60	236.16	
Agua	m <sup>3</sup>	-	0.30	3.00	0.89	
Ceniza de madera roble	m <sup>3</sup>	-	25.56	0.30	7.67	
Gránulos de silicio	m <sup>3</sup>	-	76.56	0.60	45.94	
Total materiales (S/.)					<b>408.71</b>	
<b>Equip.</b>						
Htas.	%MO	-	0.03	135.43	4.06	
Trompo mezclador 11 P3 - 18 HP	hm	1.00	0.70	20.00	13.91	
Vibrador 4 HP 1.35"	hm	1.00	0.70	20.00	13.91	
Total equipos (S/.)					<b>31.89</b>	

Costo de producción de concreto experimental (1<sup>era</sup> adición: 25%  
CMR + 75% GS) por  $m^3 = S/. 576.03$

### Del concreto experimental (2<sup>da</sup> adición)

1.3 Concreto experimental (2 <sup>da</sup> adición) para pavimento rígido f'c = 280 kg/cm <sup>2</sup>						
m <sup>3</sup> /d	11.5	Rend.	11.5	CU: m <sup>3</sup>		<b>S/. 568.34</b>
Descrip.	Und	Cuad.	Cant.	Prec. S/.	Parc. S/.	
<b>MO</b>						
Capat.	hh	0.50	0.35	18.41	6.40	
Operario	hh	3.00	2.09	16.74	34.94	
Oficial	hh	3.00	2.09	13.18	27.51	
Peón	hh	8.00	5.57	11.96	66.58	
Total mano de obra (S/.)					<b>135.43</b>	
<b>Mat.</b>						
Piedra triturada 1/2"	m <sup>3</sup>	-	1.15	60.00	69.28	
Arena gru.	m <sup>3</sup>	-	1.02	48.00	48.79	
Cemento	bls	-	9.60	24.60	236.16	
Agua	m <sup>3</sup>	-	0.30	3.00	0.89	
Ceniza de madera roble	m <sup>3</sup>	-	51.00	0.30	15.30	
Gránulos de silicio	m <sup>3</sup>	-	51.00	0.60	30.60	
Total materiales (S/.)					<b>401.02</b>	
<b>Equip.</b>						
Htas.	%MO	-	0.03	135.43	4.06	
Trompo mezclador 11 P3 - 18 HP	hm	1.00	0.70	20.00	13.91	
Vibrador 4 HP 1.35"	hm	1.00	0.70	20.00	13.91	
Total equipos (S/.)					<b>31.89</b>	

Costo de producción de concreto experimental (2<sup>da</sup> adición: 50% CMR  
+ 50% GS) por m<sup>3</sup> = S/. 568.34

### Del concreto experimental (3<sup>era</sup> adición)

1.4 Concreto experimental (3 <sup>era</sup> adición) para pavimento rígido $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$						
m <sup>3</sup> /d	11.5	Rend.	11.5	CU: m <sup>3</sup>		S/. 560.83
Descrip.	Und	Cuad.	Cant.	Prec. S/.	Parc. S/.	
<b>MO</b>						
Capat.	hh	0.50	0.35	18.41	6.40	
Operario	hh	3.00	2.09	16.74	34.94	
Oficial	hh	3.00	2.09	13.18	27.51	
Peón	hh	8.00	5.57	11.96	66.58	
Total mano de obra (S/.)						<b>135.43</b>
<b>Mat.</b>						
Piedra triturada 1/2"	m <sup>3</sup>	-	1.16	60.00	69.32	
Arena gru.	m <sup>3</sup>	-	1.02	48.00	48.83	
Cemento	bls	-	9.60	24.60	236.16	
Agua	m <sup>3</sup>	-	0.30	3.00	0.89	
Ceniza de madera roble	m <sup>3</sup>	-	76.56	0.30	22.97	
Gránulos de silicio	m <sup>3</sup>	-	25.56	0.60	15.34	
Total materiales (S/.)						<b>393.51</b>
<b>Equip.</b>						
Htas.	%MO	-	0.03	135.43	4.06	
Trompo mezclador 11 P3 - 18 HP	hm	1.00	0.70	20.00	13.91	
Vibrador 4 HP 1.35"	hm	1.00	0.70	20.00	13.91	
Total equipos (S/.)						<b>31.89</b>

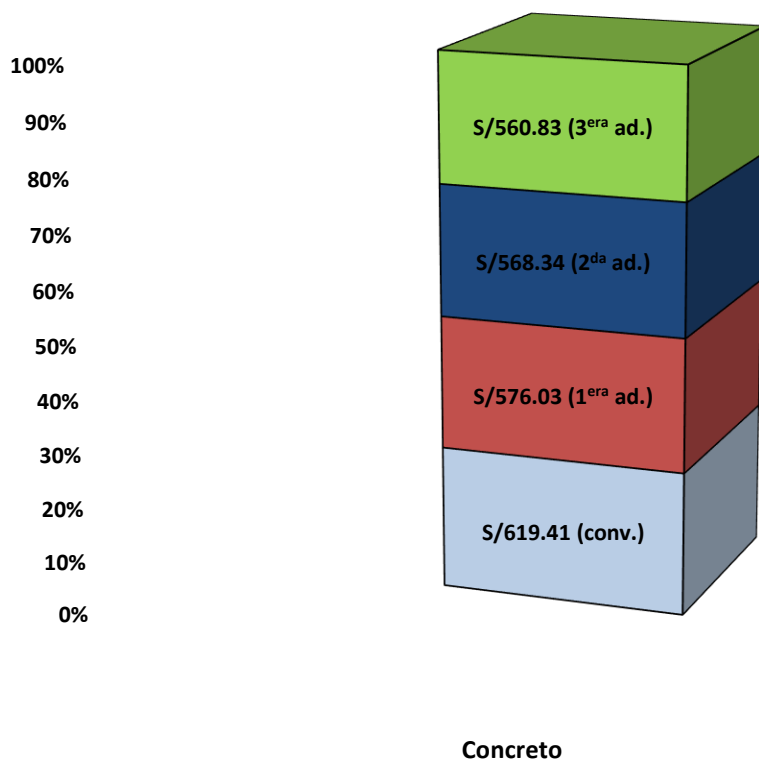
Costo de producción de concreto experimental (3<sup>era</sup> adición: 75%  
CMR + 25% GS) por m<sup>3</sup> = S/. 560.83

Se presenta de manera resumida los costos:

Tabla 86. Costos convencional y experimental por m<sup>3</sup>

Elemento	P.U (m <sup>3</sup> )
Conv.	S/ 619.41
1 <sup>era</sup> adición	S/ 576.03
2 <sup>da</sup> adición	S/ 568.34
3 <sup>era</sup> adición	S/ 560.83

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 29. Costos de producción convencional como experim. por m<sup>3</sup>

Los concretos experimentales (1<sup>era</sup>, 2<sup>da</sup> y 3<sup>era</sup> adición) son más módicos a comparación del convencional de 1.08% (S/.43.38), 1.09% (S/.51.07) y 1.10% (S/.58.58) respectivamente, siendo la 3<sup>era</sup> adición, cuyo costo es más económico respecto a las dos adiciones anteriormente mencionadas en un 1.03% (S/.15.20) y 1.01% (S/.7.51).

## Gastos generales

En cuanto al desagregado de pagos fijos y variables, tuvimos presente las dimensiones promedio referenciales, las cuales fueron afectadas por el ratio de costo fijo inicial del concreto convencional con y sin IGV.

Ratio de costo fijo inicial C° conv. con IGV S/.	673.10	
Ratio de costo fijo inicial C° conv. sin IGV S/.	570.43	
Ancho de calzada (m):	7.00	
Longitud de vía promedio (m):	1000.00	
Espesor promedio de losa (m):	0.25	
CD S/.	998,252.50	Sin IGV
Plazo:	1.00	Mes
Suma referencial S/.	1,177,925.00	Con IGV

### A. Fijos

Movilización y desmovilización	Und	Monto	Cant.	Parc.	% incid.
Equip. - mobiliario	glb	300.00	1.00	300	0.09%
Personal	glb	300.00	1.00	300	
Viáticos	glb	300.00	1.00	300	
				Total S/.	900

Gastos administrativos de oficina central	Und	Monto	Cant.	Parc.	% incid.
Equip. oficina	glb	300.00	1.00	300	0.11%
Útiles, impresiones	glb	300.00	1.00	300	
Movilidad local	glb	500.00	1.00	500	
				Total S/.	1,100

Gastos diversos	Und	Monto	Cant.	Parc.	% incid.
Licitación	glb	720.00	1.00	720	0.20%
Entrega de obra	glb	800.00	1.00	800	
Caja chica oficina central	glb	500.00	1.00	500	
				Total S/.	2,020
<b>Gastos gen. fijos S/.</b>				<b>4,020</b>	<b>0.40%</b>

**B. Variables****Administración y obra**

<b>Dirección</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo</b>	<b>Mes</b>	<b>Parc.</b>	<b>% incid.</b>
a.- Staff					
a.1. Ing. resid.	1.00	9,000.00	1.00	9,000	2.43%
a.2. Maestro	1.00	4,000.00	1.00	4,000	
a.3. Topógrafo - trazador	0.50	4,500.00	1.00	2,250	
b.- Personal administrativo y auxiliar					
b.1. Administrador - chofer - almacén	1.00	6,000.00	1.00	6,000	
b.2. Guardián	1.00	3,000.00	1.00	3,000	
				Total S/.	24,250

<b>Equipos y otros</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo</b>	<b>Meses</b>	<b>Parc.</b>	<b>% incid.</b>
a.- Camioneta	1.00	2,800.00	1.00	2,800	1.66%
b.- Equip. laboratorio	1.00	278.60	1.00	278.6	
c.- Diseño mezclas	1.00	300.00	1.00	300	
d.- Celulares	1.00	200.00	1.00	200	
e.- Caja chica de obra	1.00	13,000.00	1.00	13,000	
				Total S/.	

<b>Total S/.</b>	<b>40,828</b>	<b>4.09%</b>
------------------	---------------	--------------

**De administración y generales de oficina central**

<b>Alquiler de oficina central</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo</b>	<b>Meses</b>	<b>Parc.</b>	<b>% incid.</b>
a.- Oficina central	1.00	2,000.00	1.00	2,000	0.05%
b.- Servicio de teléfono - fax - internet, etc.	1.00	300.00	1.00	300	
d.- Servicio de luz y agua	1.00	200.00	1.00	200	
				Total S/.	
Aporte a la obra				20.00%	500

<b>Sueldo de personal de oficina central</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo</b>	<b>Meses</b>	<b>Parc.</b>	<b>% incid.</b>	
a.- Gerente general	0.50	10,000.00	1.00	5,000	0.22%	
b.- Contador	0.50	6,000.00	1.00	3,000		
c.- Secretaria	0.50	3,000.00	1.00	1,500		
d.- Servicio de seguridad y control	0.50	3,000.00	1.00	1,500		
				Total S/.	11,000	
Aporte a la obra				20.00%	2,200	
				<b>Total S/.</b>	<b>2,700</b>	<b>0.27%</b>

**Financieros (0.42%)**

<b>Por cartas fianza</b>	<b>Cant.</b>	<b>Monto fianza</b>	<b>Meses</b>	<b>Costo</b>	<b>% incid.</b>
a.- Fiel cumplimiento (10%)	0.42%	117,792.50	1.00	494.73	0.16%
b.- Adelanto (20%)	0.42%	235,585.00	1.00	989.46	
c.- Beneficios sociales (2.5%)	0.42%	29,448.13	1.00	123.68	
				Total S/.	1,607

<b>Otros</b>	<b>Cant.</b>	<b>Monto fianza</b>	<b>Meses</b>	<b>Costo</b>	<b>% incid.</b>	
a.- ITF	0.06%	1,177,925	1.00	706.76	0.07%	
				Total S/.		706.76
				<b>Total S/.</b>	<b>2,314</b>	<b>0.23%</b>

<b>Gastos gen. variables S/.</b>	<b>45,843</b>	<b>4.59%</b>
----------------------------------	---------------	--------------

<b>Resumen de los gastos generales</b>	<b>Parcial S/.</b>	<b>% incid.</b>
A. Fijos	4,020.00	0.40%
B. Variables	45,843.22	4.59%
<b>Total S/.</b>	<b>49,863.22</b>	<b>5.00%</b>

Se consignó un gasto general fijo calculado de 0.40%, mientras que, para los gastos generales variables de 4.6%, que, al ser sumados, dio un gasto general total de 5%.

## Utilidad

Se consideró un porcentaje de participación del 60% por concepto de adelanto de obra y un 40% de saldo pendiente por concepto de liquidación, entrega y recepción de la misma, bajo un costo financiero por concepto de interés de carta fianza del 10%.

### Del concreto experimental (1<sup>era</sup> adición)

Tabla 87. Utilidad del concreto experimental (1<sup>era</sup> adición) respecto al convencional

Precio unitario sin IGV		Concepto			
Valor inicial =	S/ 619.41	Adelanto =	S/ 371.65	Valor final =	S/ 576.03
Valor final =	S/ 576.03	Saldo =	S/ 247.76	Costo oferta saldo =	S/ 24.78
<b>Ganancias =</b>	7.53%	Total =	S/ 619.41	Valor final neto =	S/ 303.49
Tasa fianza =	10%	<b>Gastos generales</b>		<b>Utilidad</b>	
<b>Tasa efectiva =</b>	22.46%	5.00%		9.93%	

Fuente: Elaboración propia.

Las ganancias del concreto experimental (1<sup>era</sup> adición) es de 7.53%, cuya tasa efectiva respecto al concreto convencional es de 22.46%, con una utilidad esperada de 9.93%.

### Del concreto experimental (2<sup>da</sup> adición)

Tabla 88. Utilidad del concreto experimental (2<sup>da</sup> adición) respecto al convencional

Precio unitario sin IGV		Concepto			
Valor inicial =	S/ 619.41	Adelanto =	S/ 371.65	Valor final =	S/ 568.34
Valor final =	S/ 568.34	Saldo =	S/ 247.76	Costo oferta saldo =	S/ 24.78
<b>Ganancias =</b>	<b>8.99%</b>	Total =	S/ 619.41	Valor final neto =	S/ 295.80
Tasa fianza =	10%	<b>Gastos generales</b>		<b>Utilidad</b>	
<b>Tasa efectiva =</b>	<b>25.64%</b>	5.00%		11.66%	

Fuente: Elaboración propia.

Las ganancias del concreto experimental (2<sup>da</sup> adición) es de 8.99%, cuya tasa efectiva respecto al concreto convencional es de 25.64%, con una utilidad esperada de 11.66%.

### Del concreto experimental (3<sup>era</sup> adición)

Tabla 89. Utilidad del concreto experimental (3<sup>era</sup> adición) respecto al convencional

Precio unitario sin IGV		Concepto	
Valor inicial =	S/ 619.41	Adelanto =	S/ 371.65
Valor final =	S/ 560.83	Saldo =	S/ 247.76
<b>Ganancias =</b>	<b>10.45%</b>	Total =	S/ 619.41
Tasa fianza =	10%	<b>Gastos generales</b>	<b>Utilidad</b>
<b>Tasa efectiva =</b>	<b>28.91%</b>	5.00%	13.47%

Fuente: Elaboración propia.

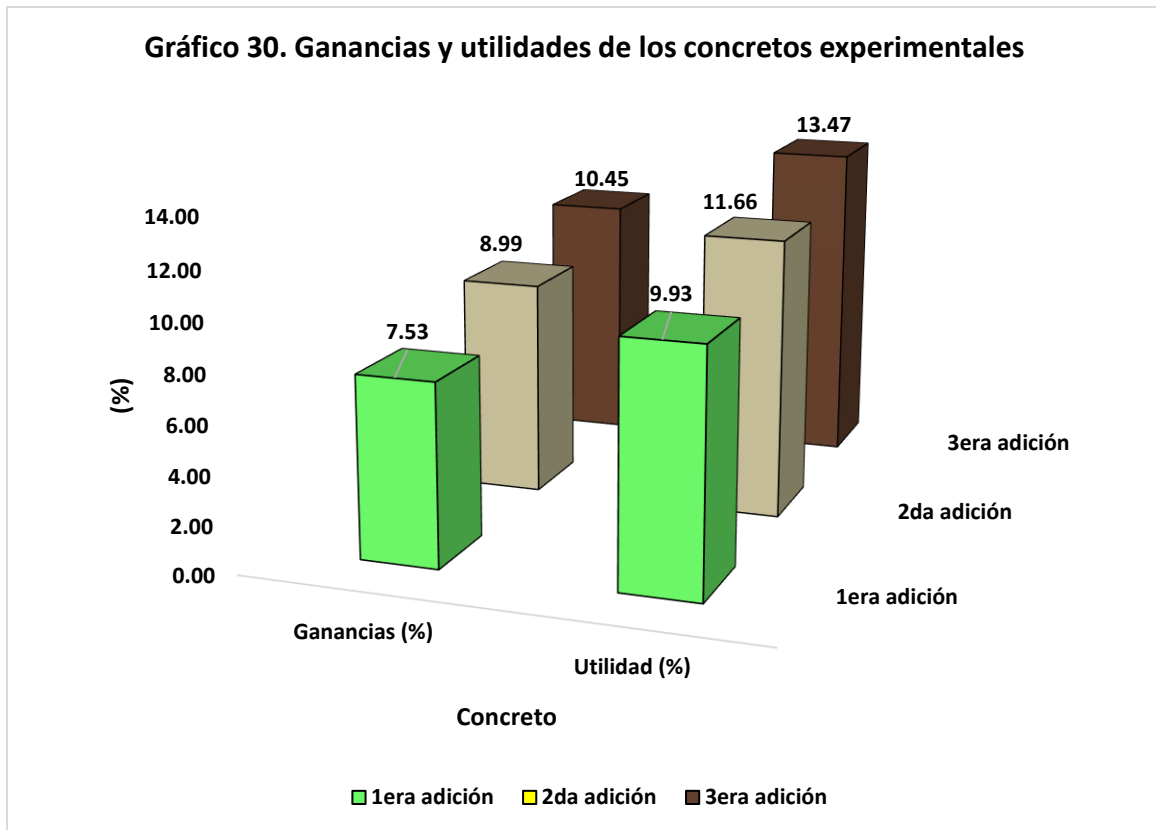
Las ganancias del concreto experimental (3<sup>era</sup> adición) es de 10.45%, cuya tasa efectiva respecto al concreto convencional es de 28.91%, con una utilidad esperada de 13.47%.

En resumen, se presentan las ganancias y utilidades esperadas de los concretos experimentales respecto al convencional.

Tabla 90. Ganancias y utilidades de los concretos experimentales

Concreto	Ganancias (%)	Utilidad (%)
1 <sup>era</sup> adición	7.53	9.93
2 <sup>da</sup> adición	8.99	11.66
3 <sup>era</sup> adición	10.45	13.47

Fuente: Elaboración propia.



El concreto experimental 1<sup>era</sup> adición, tiene una tasa efectiva de 22.46%, cuyo valor final neto es de S/.303.49. La 2<sup>da</sup> adición, tiene una tasa efectiva de 25.64%, cuyo valor final neto es de S/.295.80, mientras que, la 3<sup>era</sup> adición, tiene una tasa efectiva de 28.91%, cuyo valor final neto es de S/.288.29.

Se determinó el ratio de costo oferta del concreto convencional y experimental por m<sup>3</sup>, bajo las condiciones de transitabilidad baja, media y alta para un paño de losa de concreto por carril de 3.50 m x 3.00 m x espesor variable de 0.20, 0.25 y 0.30 m, según el conciso siguiente:

Costo diferencial por volumen de concreto baja transitabilidad (m<sup>3</sup>) = Medio – bajo  
 Costo diferencial por volumen de concreto media transitabilidad (m<sup>3</sup>) = Alto – medio  
 Costo diferencial por volumen de concreto alta transitabilidad (m<sup>3</sup>) = Alto – bajo

Tabla 91. Ratio de costo oferta por m<sup>3</sup> para concreto convencional y experimental

Concreto	Dimensiones promedio		Costo de producción	Baja transit.	Media transit.	Alta transit.	
	A (m)	L (ml)	S/. m <sup>3</sup>	S/. m <sup>3</sup>	S/. m <sup>3</sup>	S/. m <sup>3</sup>	
Convencional	3.50	3.00	619.41	1300.76	1625.95	1951.14	
1 <sup>era</sup> adición	3.50	3.00	576.03	1209.65	1512.07	1814.48	
2 <sup>da</sup> adición	3.50	3.00	568.34	1193.51	1491.89	1790.27	
3 <sup>era</sup> adición	3.50	3.00	560.83	1177.74	1472.17	1766.61	
Promedio de costos por volumen de paño de losa por m <sup>3</sup>				1220.42	1525.52	1830.62	
Diferencia prom. costo por volumen de paño de losa m <sup>3</sup> tipo tráfico				305.10	305.10	610.21	<b>Prom. dif.</b>
Relación diferencial prom.vol/costo producción C° convencional				0.49	0.23	0.38	1.10
Relación diferencial prom.vol/costo producción C° 1 <sup>era</sup> adición				0.53	0.25	0.40	1.19
Relación diferencial prom.vol/costo producción C° 2 <sup>da</sup> adición				0.54	0.26	0.41	1.20
Relación diferencial prom.vol/costo producción C° 3 <sup>era</sup> adición				0.54	0.26	0.41	1.22
<b>Ratio de costo oferta por m<sup>3</sup> con IGV (S/.)</b>				<b>682.85</b>			
<b>Ratio de costo oferta por m<sup>3</sup> sin IGV (S/.)</b>				<b>578.69</b>			

Fuente: Elaboración propia

Se determinó un ratio de costo oferta con IGV (18%) para el concreto convencional y experimental por m<sup>3</sup> ( $f^c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ) de S/. 682.85 y de S/. 578.69. En base a lo determinado, se calculó los costos – beneficios de los concretos experimentales.

### VAN

Se tuvo en cuenta las premisas de aceptabilidad y rechazo del mismo, como también, los valores anteriormente obtenidos:

Si el VAN es  $< 0$ . Se rechaza. Produce pérdidas.

Si el VAN es  $= 0$ . Es indiferente. No hay pérdidas ni ganancias.

Si el VAN es  $> 0$ . Se acepta. Genera ganancias.

Tabla 92. Ratio de costo fijo y de oferta por m<sup>3</sup> para concreto convencional y experimental

Inversión	Ratio de costo fijo (S/.)	Ratio de costo oferta (S/.)
Sin IGV	570.43	578.69
Con IGV	673.10	682.85

Fuente: Elaboración propia.

De los ratios calculados por m<sup>3</sup>, se halló una ganancia promedio de 1.45% para el concreto convencional. Se describe los datos consignados para la determinación de los flujos de los concretos evaluados, según período de vida útil de 20 años:

Tabla 93. Parámetros para cálculo de flujos por m<sup>3</sup> en concreto convencional y experimental

Tipo de concreto	Inversión inicial (S/.)	GG (%)	Utilidad (%)	Ganancias (%)	Tasa de descuento (K) (%)
Conv.	619.41	5.00	5.00	1.45	12.00
1 <sup>era</sup> ad. (25% CMR + 75% GS)	576.03	5.00	9.93	7.53	12.00
2 <sup>da</sup> ad. (50% CMR + 50% GS)	568.34	5.00	11.66	8.99	12.00
3 <sup>era</sup> ad. (75% CMR + 25% GS)	560.83	5.00	13.47	10.45	12.00

Fuente: Elaboración propia.

En relación a las inversiones iniciales y porcentajes de gastos generales, utilidades, ganancias y tasas de descuento, se calcularon los flujos, tanto de beneficio, costo y neto, según los enunciados siguientes:

$$\text{Flujo beneficio} = \frac{P. U}{(1 + \text{ganancia } \%)^n}$$

$$\text{Flujo beneficio} = \frac{P. U}{(1 + \text{GG } \% + \text{utilidad } \%)^n}$$

$$\text{Flujo neto} = \text{Flujo beneficio} - \text{Flujo costo}$$

Tabla 94. Flujos (beneficios, costos y netos) por m<sup>3</sup> para concreto convencional y experimental

Período (n)	C° conv.			C° 1 <sup>era</sup> ad. (25% CMR + 75% GS)			C° 2 <sup>da</sup> ad. (50% CMR + 50% GS)			C° 3 <sup>era</sup> ad. (75% CMR + 25% GS)		
	Flujo beneficio (S/.)	Flujo costo (S/.)	Flujo neto (S/.)	Flujo beneficio (S/.)	Flujo costo (S/.)	Flujo neto (S/.)	Flujo beneficio (S/.)	Flujo costo (S/.)	Flujo neto (S/.)	Flujo beneficio (S/.)	Flujo costo (S/.)	Flujo neto (S/.)
0	0.00	619.41	-619.41	0.00	576.03	-576.03	0.00	568.34	-568.34	0.00	560.83	-560.83
1	610.569	563.100	47.47	535.69	501.20	34.49	521.48	487.18	34.30	507.79	473.39	34.40
2	601.854	511.909	89.94	498.17	436.09	62.08	478.48	417.60	60.88	459.77	399.59	60.18
3	593.263	465.372	127.89	463.28	379.44	83.84	439.03	357.97	81.07	416.28	337.29	78.99
4	584.795	423.065	161.73	430.84	330.15	100.69	402.84	306.85	95.99	376.91	284.71	92.21
5	576.448	384.605	191.84	400.66	287.26	113.40	369.62	263.03	106.60	341.27	240.32	100.95
6	568.220	349.641	218.58	372.60	249.95	122.66	339.15	225.46	113.68	308.99	202.85	106.14
7	560.109	317.855	242.25	346.51	217.48	129.03	311.18	193.27	117.92	279.77	171.23	108.54
8	552.115	288.959	263.16	322.24	189.22	133.02	285.53	165.67	119.86	253.31	144.53	108.78
9	544.234	262.690	281.54	299.67	164.64	135.03	261.99	142.01	119.98	229.36	122.00	107.36
10	536.466	238.809	297.66	278.69	143.26	135.43	240.39	121.73	118.66	207.66	102.98	104.69
11	528.808	217.099	311.71	259.17	124.65	134.52	220.57	104.34	116.22	188.02	86.92	101.10
12	521.260	197.363	323.90	241.02	108.45	132.56	202.38	89.44	112.94	170.24	73.37	96.87
13	513.820	179.421	334.40	224.14	94.36	129.77	185.69	76.67	109.02	154.14	61.93	92.21
14	506.486	163.110	343.38	208.44	82.11	126.33	170.38	65.72	104.66	139.56	52.28	87.29
15	499.257	148.282	350.97	193.84	71.44	122.40	156.34	56.34	100.00	126.36	44.13	82.24
16	492.131	134.802	357.33	180.27	62.16	118.11	143.45	48.29	95.16	114.41	37.25	77.17
17	485.106	122.547	362.56	167.64	54.09	113.56	131.62	41.39	90.23	103.59	31.44	72.15
18	478.182	111.406	366.78	155.90	47.06	108.84	120.77	35.48	85.28	93.80	26.54	67.26
19	471.356	101.278	370.08	144.98	40.95	104.04	110.81	30.42	80.39	84.93	22.40	62.52
20	464.628	92.071	372.56	134.83	35.63	99.20	101.67	26.07	75.60	76.89	18.91	57.99

Fuente: Elaboración propia.

El VAN tanto para el concreto convencional como experimental, se calculó mediante la siguiente expresión, en base a los flujos netos cálculos:

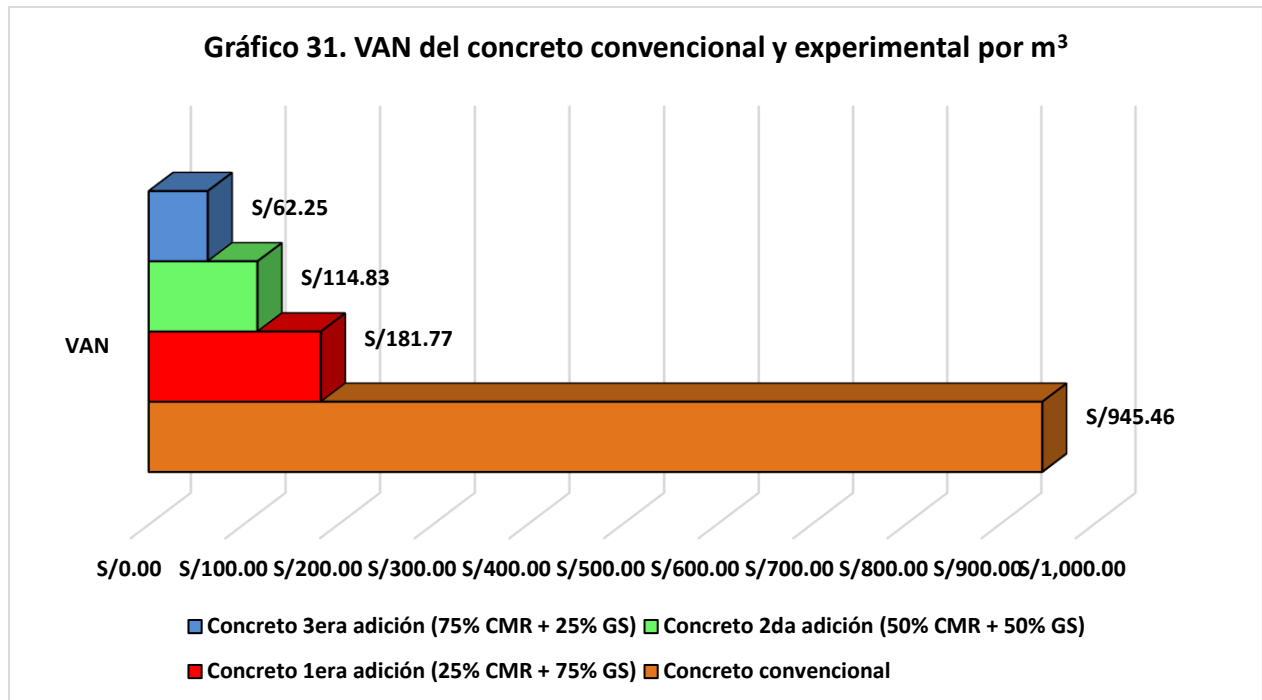
$$VAN = -I + \sum \frac{FN}{(1 + t\%)^n}$$

Tabla 95. VAN por m<sup>3</sup> para concreto convencional y experimental

Período (n)	C° conv.			C° 1 <sup>era</sup> ad. (25% CMR + 75% GS)			C° 2 <sup>da</sup> ad. (50% CMR + 50% GS)			C° 3 <sup>era</sup> ad. (75% CMR + 25% GS)				
	Flujo neto (S/.)	(1+t) <sup>n</sup>	FN/(1+t) <sup>n</sup>	Flujo neto (S/.)	(1+t) <sup>n</sup>	FN/(1+t) <sup>n</sup>	Flujo neto (S/.)	(1+t) <sup>n</sup>	FN/(1+t) <sup>n</sup>	Flujo neto (S/.)	(1+t) <sup>n</sup>	FN/(1+t) <sup>n</sup>		
0	-619.41	-	-619.41	-576.03	-	-576.03	-568.34	-	-568.34	-560.83	-	-560.83		
1	47.47	1.12	S/ 42.38	34.49	1.12	S/ 30.79	34.30	1.12	S/ 30.63	34.40	1.12	S/ 30.71		
2	89.94	1.25	S/ 71.70	62.08	1.25	S/ 49.49	60.88	1.25	S/ 48.53	60.18	1.25	S/ 47.97		
3	127.89	1.40	S/ 91.03	83.84	1.40	S/ 59.68	81.07	1.40	S/ 57.70	78.99	1.40	S/ 56.23		
4	161.73	1.57	S/ 102.78	100.69	1.57	S/ 63.99	95.99	1.57	S/ 61.00	92.21	1.57	S/ 58.60		
5	191.84	1.76	S/ 108.86	113.40	1.76	S/ 64.35	106.60	1.76	S/ 60.49	100.95	1.76	S/ 57.28		
6	218.58	1.97	S/ 110.74	122.66	1.97	S/ 62.14	113.68	1.97	S/ 57.60	106.14	1.97	S/ 53.77		
7	242.25	2.21	S/ 109.58	129.03	2.21	S/ 58.37	117.92	2.21	S/ 53.34	108.54	2.21	S/ 49.10		
8	263.16	2.48	S/ 106.28	133.02	2.48	S/ 53.72	119.86	2.48	S/ 48.41	108.78	2.48	S/ 43.93		
9	281.54	2.77	S/ 101.53	135.03	2.77	S/ 48.69	119.98	2.77	S/ 43.27	107.36	2.77	S/ 38.71		
10	297.66	3.11	S/ 95.84	135.43	3.11	S/ 43.60	118.66	3.11	S/ 38.20	104.69	3.11	S/ 33.71		
11	311.71	3.48	S/ 89.61	134.52	3.48	S/ 38.67	116.22	3.48	S/ 33.41	101.10	3.48	S/ 29.06		
12	323.90	3.90	S/ 83.14	132.56	3.90	S/ 34.03	112.94	3.90	S/ 28.99	96.87	3.90	S/ 24.86		
13	334.40	4.36	S/ 76.64	129.77	4.36	S/ 29.74	109.02	4.36	S/ 24.99	92.21	4.36	S/ 21.13		
14	343.38	4.89	S/ 70.26	126.33	4.89	S/ 25.85	104.66	4.89	S/ 21.42	87.29	4.89	S/ 17.86		
15	350.97	5.47	S/ 64.12	122.40	5.47	S/ 22.36	100.00	5.47	S/ 18.27	82.24	5.47	S/ 15.02		
16	357.33	6.13	S/ 58.29	118.11	6.13	S/ 19.27	95.16	6.13	S/ 15.52	77.17	6.13	S/ 12.59		
17	362.56	6.87	S/ 52.80	113.56	6.87	S/ 16.54	90.23	6.87	S/ 13.14	72.15	6.87	S/ 10.51		
18	366.78	7.69	S/ 47.70	108.84	7.69	S/ 14.15	85.28	7.69	S/ 11.09	67.26	7.69	S/ 8.75		
19	370.08	8.61	S/ 42.97	104.04	8.61	S/ 12.08	80.39	8.61	S/ 9.33	62.52	8.61	S/ 7.26		
20	372.56	9.65	S/ 38.62	99.20	9.65	S/ 10.28	75.60	9.65	S/ 7.84	57.99	9.65	S/ 6.01		
<b>VAN =</b>			<b>S/ 945.46</b>	<b>VAN =</b>			<b>S/ 181.77</b>	<b>VAN =</b>			<b>S/ 114.83</b>	<b>VAN =</b>		<b>S/ 62.25</b>
<b>VAN =</b>			<b>Aceptable</b>	<b>VAN =</b>			<b>Aceptable</b>	<b>VAN =</b>			<b>Aceptable</b>	<b>VAN =</b>		<b>Aceptable</b>

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de VAN son superiores a cero, tanto en el concreto convencional como experimental, siendo todos positivos de condición aceptables.



El VAN del concreto convencional es de S/. 945.46, mientras que en los concretos experimentales de S/. 181.77 (1<sup>era</sup> adición), S/. 114.83 (2<sup>da</sup> adición) y S/. 62.25 (3<sup>era</sup> adición).

### TIR

Del mismo modo, su aceptación o rechazo estuvo regido bajo los siguientes criterios, según tasa de descuento y flujos netos, donde por interpolación, el VAN debe tender a cero, tanto para un valor positivo como negativo:

Si el TIR es  $< k$ . No es rentable. Se rechaza.

Si el TIR es  $= k$ . Es indiferente. No se pierde ni se gana.

Si el TIR es  $> k$ . Es rentable. Se acepta.

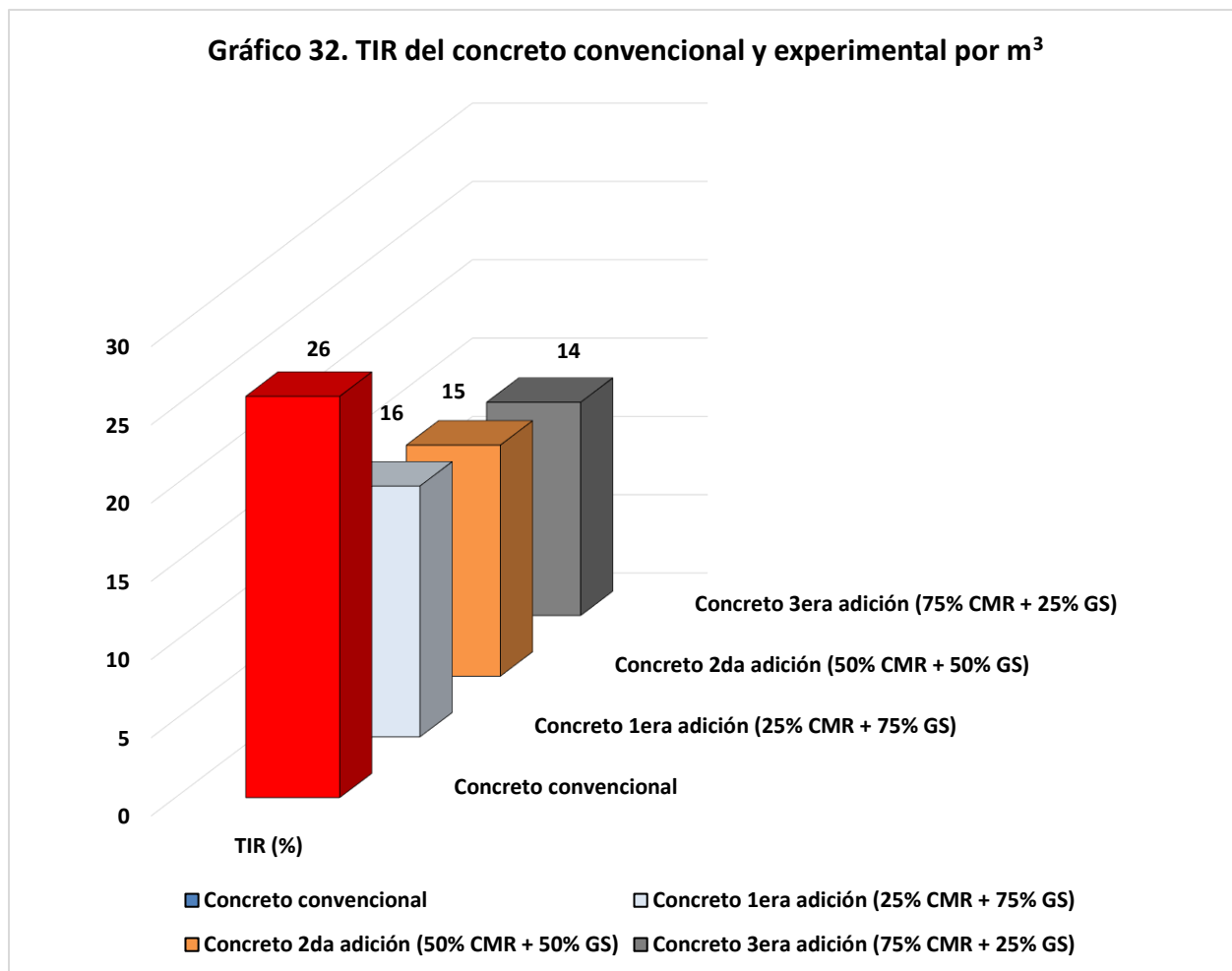
$$0 = -I + \sum \frac{FN}{(1 + k\%)^n}$$

Tabla 96. TIR por m<sup>3</sup> para concreto convencional y experimental

Tipo de concreto	Tasa de descuento (k) (%) (+)	Tasa de descuento (k) (%) (-)	VAN tiende a 0 (S/.) (+)	VAN tiende a 0 (S/.) (-)	TIR (%)	
Conv.	25.00	26.00	22.05	-12.04	<b>26</b>	<b>Rentable</b>
1 <sup>era</sup> ad. (25% CMR + 75% GS)	16.00	17.00	1.34	-33.65	<b>16</b>	<b>Rentable</b>
2 <sup>da</sup> ad. (25% CMR + 75% GS)	14.00	15.00	28.52	-8.59	<b>15</b>	<b>Rentable</b>
3 <sup>era</sup> ad. (25% CMR + 75% GS)	13.00	14.00	22.46	-13.59	<b>14</b>	<b>Rentable</b>

Fuente: Elaboración propia.

En el concreto convencional, bajo tasas de 25% (+) y 26% (-), el VAN es de S/. 22.05 y S/. - 12.04. En la 1<sup>era</sup> adición con 16% (+) y 17% (-), de S/. 1.34 y S/. - 33.65. En la 2<sup>da</sup> adición con 14% (+) y 15% (-), de S/. 28.52 y S/. - 8.59. En la 3<sup>era</sup> adición con 13% (+) y 14% (-), de S/. 22.46 y S/. -13.59.



El TIR para el concreto convencional es de 26%. En cambio, en los concretos experimentales de 16% (1<sup>era</sup> adición), 15% (2<sup>da</sup> adición) y 14% (3<sup>era</sup> adición).

### Costos/Beneficios

Posteriormente, con las resultantes de los flujos beneficios y flujos costos, se determinaron las siguientes relaciones de viabilidad:

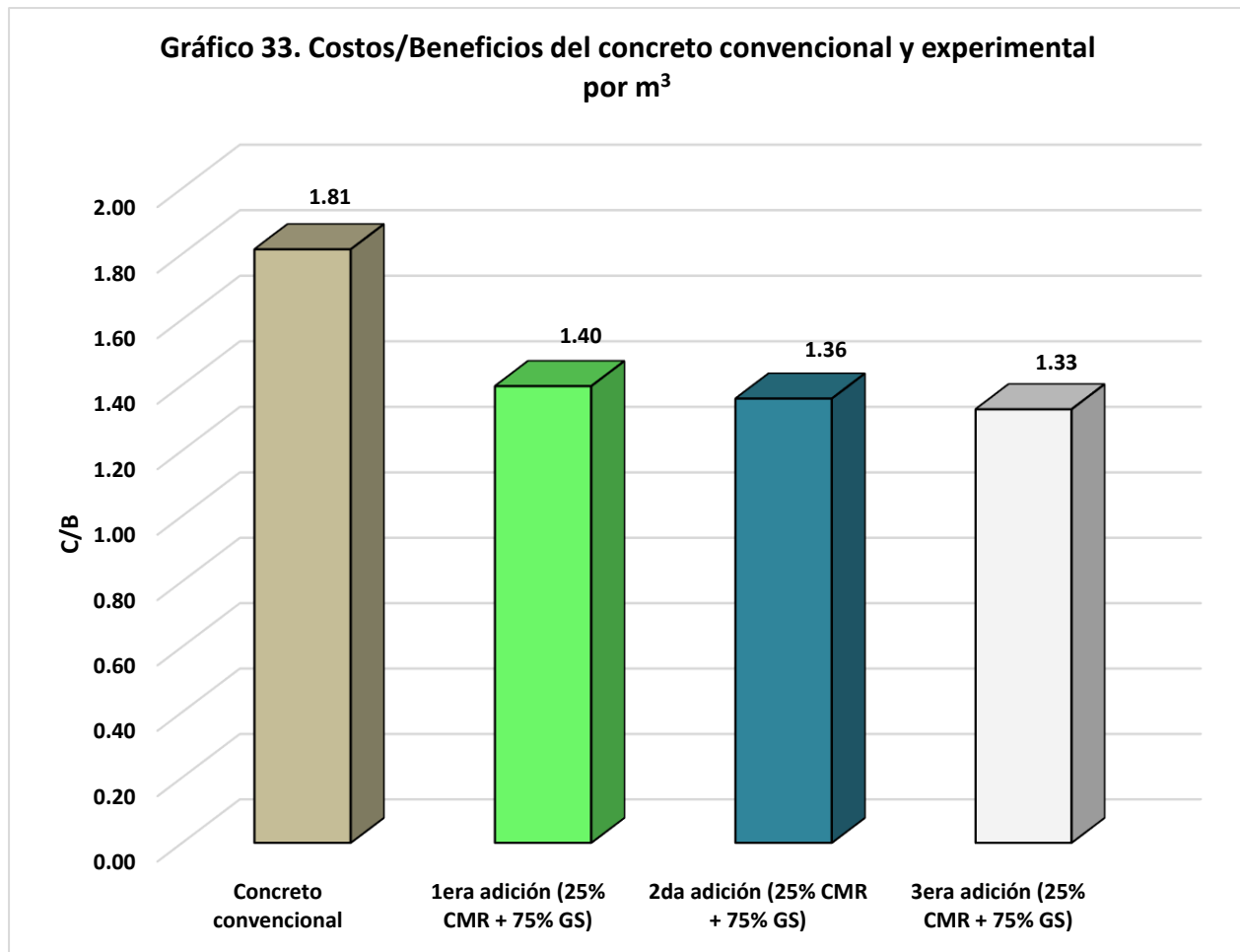
$$\text{Índice de viabilidad} = \frac{\text{Costo}}{\text{Beneficio}} > 1.00$$

Tabla 97. Costos/Beneficios por m<sup>3</sup> para concreto convencional y experimental

C° conv.			C° 1 <sup>era</sup> ad. (25% CMR + 75% GS)			C° 2 <sup>da</sup> ad. (50% CMR + 50% GS)			C° 3 <sup>era</sup> ad. (75% CMR + 25% GS)		
Beneficio (S/.)	Costo (S/.)	Costo + Inversión (S/.)	Beneficio (S/.)	Costo (S/.)	Costo + Inversión (S/.)	Beneficio (S/.)	Costo (S/.)	Costo + Inversión (S/.)	Beneficio (S/.)	Costo (S/.)	Costo + Inversión (S/.)
10689.11	5273.39	5892.80	5858.577	3619.58	4195.61	5193.365	3254.91	3823.25	4633.081	2934.06	3494.89
<b>C/B =</b>		<b>1.81</b>	<b>C/B =</b>		<b>1.40</b>	<b>C/B =</b>		<b>1.36</b>	<b>C/B =</b>		<b>1.33</b>

Fuente: Elaboración propia

La relación costo beneficio del concreto convencional es de 1.81. Mientras que las relaciones costos beneficios en los concretos experimentales es de 1.40 (1<sup>era</sup> adición), 1.36 (2<sup>da</sup> adición) y 1.33 (3<sup>era</sup> adición).



Se enfatiza del mismo modo, que el concreto convencional tiene un índice de viabilidad de 1.81, mientras que los experimentales (1<sup>era</sup>, 2<sup>da</sup> y 3<sup>era</sup> adición), tienen índices de viabilidad de 1.40, 1.36 y 1.33, siendo todas de condición aceptable, puesto que son mayores a 1.

### **Respuesta óptima experimental**

Por resistencia, la 2<sup>da</sup> adición es la que brinda mayor compresión respecto de las demás probetas experimentales, dado que esta supera la resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup> (310.92 kg/cm<sup>2</sup> > 280 kg/cm<sup>2</sup>), con una probabilidad máxima de desarrollo de compresión del 25.00% (388.65 kg/cm<sup>2</sup>) en relación a 364 kg/cm<sup>2</sup>. Pero por durabilidad, en 1<sup>era</sup> ad. es la que ofrece menor desgaste superficial, en cambio la 2<sup>da</sup> adición, tiene un mejor desempeño ante efectos de temperatura (0.80%) (248.74 kg/cm<sup>2</sup>), como a su vez, puede perder como máximo, un 33% de la misma por efectos de temperatura mayores a 700 °C, cuya resistencia promedio real fue de 220.24 kg/cm<sup>2</sup>, respecto al convencional de 262.56 kg/cm<sup>2</sup>.

No obstante, teniendo en cuenta el análisis de las varianzas entre sí, la 1<sup>era</sup> adición es la que presenta resultados más idóneos de resistencia y durabilidad (1.10% más que la 2<sup>da</sup> adición), siendo esta la mejor respuesta óptima experimental respecto a un concreto convencional, cuyo precio es S/.576.03, teniendo un VAN de S/. 181.77, 16% de TIR y un índice de viabilidad aceptable de 1.40 por m<sup>3</sup> para pavimentos rígidos de baja, media y alta transitabilidad.

## Discusión

De la consignación de resultados, se prescindieron las siguientes comparaciones que contrastaron la hipótesis planteada.

### De los ensayos químicos

#### De la ceniza de madera roble (CMR)

En cuanto a la composición química y potencial de hidrogeno, según lineamientos estipulados por la Norma Británica (Parte 812), Cruzado y Olivera (2022) halló para CME, CaO (63.18%) y el SiO<sub>2</sub> (16.38%), cuyos elementos químicos fueron en mayor relevancia, cuyo pH fue de 11.07%. Cabe mencionar, que el Grupo Andino de Maderas, clasifica al eucalipto como madera semidura, cuya compresión promedio es de 297.50 kg/cm<sup>2</sup>.

Por otro lado, Mogollón y Oliva (2023), determinó para CMT, cuyos elementos predominantes fueron el CaO (62.32%) con Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13.83%). Del mismo modo, es importante señalar que el tornillo es una madera semidura, cuya compresión oscila en 420.00 kg/cm<sup>2</sup>.

Según ensayos realizados en la FIQIA de la UNPRG, en la estructuración para CMR, cuyos elementos mayoritarios fueron CaO (62.78%) con Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13.55%), los cuales son cercanos a los determinados por Mogollón y Oliva, cuya variación entre sí, es mínima alrededor del 1.01% y 1.02%.

Referente a los potenciales de hidrogeno para las sustituciones parciales del cemento en 20% por combinación del CMR y GS con agregados, se obtuvieron resultantes de 12.56% (1<sup>era</sup> adición: 25% CMR + 75% GS), 12.57% (2<sup>da</sup> adición: 50% CMR + 50% GS) y 12.61% (3<sup>era</sup> adición: 75% CMR + 25% GS), que igualmente, son valores relativamente superiores en 1.13% y 1.14%, respecto al resultado de Cruzado y Olivera de 11.07%.

### **De los gránulos de silicio (GS)**

García (2021) determinó la composición química de la cola de caballo, cuyos compuestos con mayor prevalencia fueron el  $\text{SiO}_2$  (87.93%) y  $\text{CaO}$  (8.79%). Mientras que el DMUB, para el silicio carburizado de origen artificial, precisó que está compuesto por dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) (70.00%) y carbono (25.50%).

De acuerdo al resultado del laboratorio de la FIQIA, los gránulos de silicio están compuestos en su mayoría por dióxidos de silicio (68.86%) y carbono (26.12%), los cuales, son próximos a los determinados por el DMUB en 1.02%. Respecto a los resultados químicos del estudio de García, el valor del dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) difiere en 1.26% y 1.28%. Se precisó que el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) es el elemento principal, cuyo porcentaje supera el 50% de la concentración de su masa total.

De lo expuesto según los resultados obtenidos, se hizo énfasis a la gran importancia de determinar las propiedades químicas de los materiales sustituyentes del cemento, como es la ceniza de madera roble y gránulos de silicio, los cuales, de acuerdo a los principios de preservación en masa, dichos componentes no generan ninguna reacción química negativa, por lo que la incorporación de estos materiales para la obtención de nuevos concretos, no afectan su masa ni volumen, ya que influyeron de manera positiva sobre el aumento de compresión y durabilidad, bajo sustituciones a 20%.

### **En los ensayos físicos**

#### **De las granulometrías**

En concordancia con la ASTM C-136 para arena gru. como piedra triturada ½” de Tres Tomas de Ferreñafe, cumplieron con los husos granulométricos, siendo ambas, de buena gradación.

En cuanto a la ceniza de madera roble, no cumplió con los husos granulométricos para agregado fino, siendo hasta cierto punto, de buena gradación para tamices de  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", #04, #08 y #16. Del mismo modo, para los gránulos de silicio, no cumplió igualmente, por lo que el material fue de buena graduación para tamices de  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", #04, #30, #50 y N° 100. Los porcentajes de los pesos retenidos en las mallas restantes, para ambos casos, se encontraron fuera del rango permisible.

Los agregados que emplearon Cruzado y Olivera (2022), Espinal y Rimachi (2020), García (2021), Mogollón y Oliva (2023), Timoteo (2021) y Valencia (2018), cumplieron con los husos granulométricos de acuerdo a norma. Para el caso de la ceniza de madera tornillo, Mogollón y Oliva (2023) determinaron que no cumple con los husos granulométricos, cuyos porcentajes de los pesos retenidos dejan de cumplir a partir de las mallas N° 70, N° 80, N° 100, N° 120, N° 140 y N° 170, siendo esta de mala gradación, al igual que la ceniza de madera roble.

### **De los tamaños máximos y tamaños máximos nominales**

Por NTP 400.012, Cruzado y Olivera (2022) determinaron como TM  $\frac{3}{4}$ " y TMN  $\frac{1}{2}$ " para un  $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . Espinal y Rimachi (2020), un TM de 1" y un TMN de  $\frac{3}{4}$ " para un  $f^c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . García (2021), Mogollón y Oliva (2023), Timoteo (2021) y Valencia (2018), determinaron un TM de 1" y un TMN de  $\frac{3}{4}$ " para  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

De la granulometría AG, se obtuvo igualmente un TM de 1" y un TMN de  $\frac{3}{4}$ " para un  $f^c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .

### **De los pesos secos sueltos**

Según ASTM C-29, se obtuvo un peso seco suelto de  $1519 \text{ kg/m}^3$  para AF, mientras que, para AG, un valor en  $1455 \text{ kg/m}^3$ , cuyos valores para ambos casos, se encuentran en el límite permisible entre  $880 - 2500 \text{ kg/m}^3$ .

En consecuencia, Cruzado y Olivera (2022) determinaron un peso seco suelto para AF en  $1539 \text{ kg/m}^3$  con  $1414 \text{ kg/m}^3$  para agregado grueso. Espinal y Rimachi (2020),  $1543$  y  $1496 \text{ kg/m}^3$ . García (2021),  $1579.76$  y  $1362.50 \text{ kg/m}^3$ . Mogollón y Oliva (2023),  $1648$  y  $1741 \text{ kg/m}^3$ . Timoteo (2021),  $1719$  y  $1310 \text{ kg/m}^3$  y Valencia (2018),  $1449.15$  y  $1576.67 \text{ kg/m}^3$ . Los valores mencionados cumplen con lo estipulado por norma, existiendo una leve variación respecto a lo obtenido por estudio de  $1.06\%$  y  $1.09\%$ .

### **De los pesos secos compactados**

El ASTM C-29, estipula un rango límite para el peso seco compactado de  $1200$  a  $1760 \text{ kg/m}^3$ , del cual se halló  $1746 \text{ kg/m}^3$  para el AF, mientras que, para el AG,  $1533 \text{ kg/m}^3$ .

De tal instancia, Cruzado y Olivera (2022) determinaron un peso seco compacto del AF en  $1792 \text{ kg/m}^3$  con  $1529 \text{ kg/m}^3$  para el agregado grueso. Espinal y Rimachi (2020),  $1819$  y  $1649 \text{ kg/m}^3$ . García (2021),  $1768.45$  y  $1547.02 \text{ kg/m}^3$ . Mogollón y Oliva (2023),  $1751$  y  $1836 \text{ kg/m}^3$ . Timoteo (2021),  $1851$  y  $1408 \text{ kg/m}^3$  y Valencia (2018),  $1576.67$  y  $1507.39 \text{ kg/m}^3$ .

Se prescinde que los resultados del agregado fino de dichos autores, no cumplen con los límites de la norma, siendo valores altos, cuya variación respecto a lo obtenido fue de  $1.03\%$ ,  $1.04\%$ ,  $1.01\%$ ,  $1.05\%$  y  $1.06\%$ .

### **De la finura**

Según norma ASTM C-136, la fineza estará comprendida en  $2.35$  a  $3.2$ , del cual se obtuvo un valor en la arena gruesa de  $3.184$ .

De las investigaciones de Cruzado y Olivera (2022) determinaron una fineza del AF en 2.73. Espinal & Rimachi (2020), 2.98. García (2021), 3.10 y Valencia (2018), 2.71. Por su lado, Mogollón y Oliva (2023), 3.21 y Timoteo (2021), 3.37, cuyos resultados no cumplen, siendo ligeramente superiores a los obtenidos en 1.01% y 1.06%.

### **De pesos específicos y absorción**

En concordancia a lineamientos de la ASTM C-128, como el de la ASTM C-127, se determinó el p. específ. en 2.588 g/cm<sup>3</sup> para arena gruesa, mientras que para la piedra chancada de ½”, el valor de 2.457 g/cm<sup>3</sup>. Cabe precisar que ambos pesos específicos cumplen con los límites de las normas mencionadas, cuyos rangos permisibles son de 1.30 a 2.70 g/cm<sup>3</sup> en AF como 1.10 a 3.20 g/cm<sup>3</sup> en AG,

Cruzado y Olivera (2022) determinaron un peso específico del AF en 2.63 g/cm<sup>3</sup> con 2.65 g/cm<sup>3</sup> en AG. Espinal y Rimachi (2020), 2.63 g/cm<sup>3</sup> y 2.72 g/cm<sup>3</sup>. García (2021), 2.98 y 2.70 g/cm<sup>3</sup>. Mogollón y Oliva (2023), 2.59 y 2.36 g/cm<sup>3</sup>. Timoteo (2021), 2.51 y 2.56 g/cm<sup>3</sup> y Valencia (2018), 2.69 y 2.65 g/cm<sup>3</sup>.

Cabe mencionar que el peso específico de la arena gruesa que obtuvo García, no cumple con el límite permisible dada por norma, siendo esta superior respecto a al determinado en la presente investigación en 1.15%.

Del mismo modo, Cruzado y Olivera (2022) determinó el peso específico de la ceniza de madera eucalipto, cuyo valor fue de 0.52 g/cm<sup>3</sup>. Ponceca Anca y Ponceca Quispe (2022), el p. específ. en 0.70 g/cm<sup>3</sup> para ceniza de madera. Mogollón y Oliva (2023), obtuvo el p. específ. en 2.21 g/cm<sup>3</sup> para ceniza madera tornillo; cuyo valor es muy similar al determinado para la ceniza de madera roble de 2.214 g/cm<sup>3</sup>, variando en 1.002%.

El DMUB precisó el p. especif. en  $3.16 \text{ g/cm}^3$  para silicio carburizado artificial, el cual tiene una variación mínima de 1.001% respecto al valor determinado para los gránulos de silicio de  $3.158 \text{ g/cm}^3$ .

En lo que respecta al contenido de absorción, los valores determinados fueron de 0.14% en AF como 0.95% en AG. De acuerdo por normas, ambos resultados cumplen con el rango estipulado de 0.11% a 0.31% para agregado fino y de 0.40% a 3.00% para agregado grueso.

Por su lado, Cruzado y Olivera (2022) determinaron una absorción de 1.80% en AF como 0.60% en AG. Espinal y Rimachi (2020), 0.94% y 0.86%. García (2021), 1.27% y 1.01%. Mogollón y Oliva (2023), 1.50% y 1.61%. Timoteo (2021), 1.71% y 0.93% y Valencia (2018), 1.69% y 1.85%. En efecto, los resultados de las absorciones del agregado fino son mayores, los cuales no cumplen con lo permisible según norma, siendo superiores respecto al grado de absorción de estudio en 12.86%, 6.71%, 9.07%, 10.71%, 12.21% y 12.07%.

### **De los contenidos de humedad**

Por NTP 339.185, el valor correspondiente al contenido humedecido en AF fue 1.31% como de 0.33% en AG, los cuales no deben ser menores a 0.12%.

De las investigaciones de Cruzado y Olivera (2022) determinaron un contenido humedecido en AF en 1.72% como de 0.21% en AG. Espinal y Rimachi (2020), 1.00% y 0.49%. García (2021), 1.17% y 0.19%. Mogollón y Oliva (2023), 0.94% y 0.52%. Timoteo (2021), 2.32% y 1.57% y Valencia (2018), 4.07% y 1.82%, cuyos resultados cumplen según norma, con una variación promedio respecto a los obtenidos de 1.67% y 2.78%.

La caracterización cumple con los límites por norma, siendo insumos de buena calidad, cuyos procedimientos por ensayos en laboratorio, han sido bien ejecutados. Del mismo, para la ceniza de madera roble y gránulos de silicio, si bien es cierto, no cumplieron con la gradación normada, pero según las absorciones obtenidas, cuyos resultados son relativamente bajos, permitieron alcanzar consistencias adecuadas, y, por ende, mayores resistencias en los concretos experimentales.

En función a los resultados de los autores mencionados, se detectó que los agregados, sobre todo, el fino, no han cumplido con los parámetros de la norma, por lo que es un factor primordial cuando se pretende alcanzar la resistencia de diseño, ya que esta es una de las causas por lo que los concretos experimentales no hayan podido desarrollarse adecuadamente, ya sea por la heterogeneidad de las partículas de los agregados o por la impropiedad de las mismas.

## **De los diseños de mezclas**

### **De las relaciones a/c y factores cemento**

De acuerdo al ACI 211, se evaluó por resistencia, del cual se obtuvo una relación a/c de 0.47 (convencional) (10.35 bolsas) y de 0.59 (experimentales) (8.15 bolsas), los cuales, al ser corregidas por humedad y absorción, los valores de las relaciones a/c fueron de 0.46 (convencional) (12 bolsas) y de 0.58 (experimentales) (10 bolsas). Mientras que, por durabilidad (exposición leve - moderado a sulfatos), se halló una relación a/c de 0.50 (convencional) (9.65 bolsas) y de 0.63 (experimentales) (7.71 bolsas), cuyos valores corregidos por humedad y absorción, fueron de 0.49 (convencional) (11 bolsas) y de 0.62 (experimentales) (9 bolsas). De lo determinado, se diseñaron las mezclas de concreto por resistencia, dado que el valor de la relación a/c es menor, en la cual, se tuvo presente las condiciones estructurales del pavimento rígido, cuyas losas de concreto no tienen características especiales para su ejecución, empleándose un cemento tipo I, siendo de uso general para este tipo de elementos.

Por otra parte, por resistencia para un  $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Castillo y Pastor (2022), determinaron una relación a/c de 0.56 (9.11 bolsas). Ccana (2021), una relación a/c de 0.50 (9.83 bolsas) y Chuquihuaccha y Malca (2022), una relación a/c de 0.49 (9.22 bolsas). Mientras que, Ponceca Anca y Ponceca Quispe (2022), una relación a/c de 0.47 (11 bolsas) para un  $f^c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . Es necesario mencionar, que dichos autores tomaron como referencia las relaciones a/c del concreto patrón para los diseños experimentales, los cuales, reemplazaron directamente sobre las cantidades últimas, los materiales sustituyentes, por lo que a pesar de haberse obtenido resultados favorables para sustituciones del cemento en 5%, 10% y 15%, no evaluaron las reacciones químicas (pH) que pueden producir las cenizas de madera eucalipto, capulí y pino en la pasta del concreto, siendo otra de las causas detectadas, para que en sustituciones superiores a las descritas, la compresión de los concretos experimentales hayan disminuido.

Dada las circunstancias, de los resultados de Ponceca Anca y Ponceca Quispe (2022), las relaciones a/c y factor cemento del concreto convencional son muy similares, con la diferencia de que, por corrección por humedad y absorción, el reajuste de mezcla por tanda generó una relación a/c mucho más baja en 1.02%, logrando que las compresiones convencionales y experimentales, aumenten y alcancen la resistencia de diseño.

Del a/c en 0.45, las resistencias oscilan en 350 a 450  $\text{kg/cm}^2$ , en cambio, con 0.65, fluctúa en 175 a 280  $\text{kg/cm}^2$ . Por lo tanto, se prescinde que a mayor relación a/c, la cantidad del factor cemento baja, por ende, el valor convertido a bolsas disminuye a comparación de una relación a/c más bajo, el cual otorga mayor factor cemento en kg, cuyo número de bolsas aumenta.

### De las dosificaciones en pesos y volúmenes

En el concreto convencional, se obtuvo las siguientes proporciones en pesos y volúmenes (cemento: arena: piedra: agua): 1: 1.45: 1.83: 17.62 L/pie<sup>3</sup> y 1: 1.25: 1.79: 17.62 L/pie<sup>3</sup>. Mientras que, para los concretos experimentales (cemento: CMR: GS: arena: piedra: agua): 0.80: 0.05: 0.15: 1.99: 2.26: 21.66 L/pie<sup>3</sup> y 0.80: 0.05: 0.15: 1.71: 2.22: 21.66 L/pie<sup>3</sup> (1<sup>era</sup> adición); (2<sup>da</sup> adición) 0.80: 0.10: 0.10: 1.99: 2.26: 21.67 L/pie<sup>3</sup> y 0.80: 0.10: 1.71: 2.22: 21.67 L/pie<sup>3</sup>. (3<sup>era</sup> adición) 0.80: 0.15: 0.05: 1.99: 2.27: 21.68 L/pie<sup>3</sup> y 0.80: 0.15: 0.05: 1.71: 2.22: 21.68 L/pie<sup>3</sup>. Por su parte, Ponceca Anca y Ponceca Quispe (2022), determinaron una dosificación en peso para el concreto patrón (cemento: arena: piedra: agua) de 1: 1.8: 1.9: 17.8 L/pie<sup>3</sup>, mientras que, para los experimentales (cemento: ceniza de madera: polvo de vidrio: arena: piedra: agua): 0.92: 0.08: 0.15: 1.8: 1.9: 17.8 L/pie<sup>3</sup>; 0.88: 0.12: 0.25: 1.8: 1.9: 17.8 L/pie<sup>3</sup> y 0.84: 0.16: 0.35: 1.8: 1.9: 17.8 L/pie<sup>3</sup>, los cuales difieren entre sí, por los porcentajes de sustitución, como también, por el TMN que fue de ½”, cuya variación respecto al hallado del AF y grueso fueron en 1.24% con 1.04%.

### De las cantidades experimentales

Por bolsa de cemento en kg, se obtuvo para el concreto convencional (cemento: arena: piedra: agua): 42.50: 61.68: 77.88: 19.55 L/bls. Para los concretos experimentales (cemento: CMR: GS: arena: piedra: agua): 34: 2.13: 6.38: 84.69: 96.21: 24.71 L/bls (1<sup>era</sup> adición); 34: 4.25: 4.25: 84.71: 96.22: 24.71 L/bls (2<sup>da</sup> adición); 34: 6.38: 2.13: 84.78: 96.28: 24.73 L/bls (3<sup>era</sup> adición). En cuanto a las cantidades empleadas en kg para la producción de las 15 probetas convencionales de 0.10 m de diámetro por 0.20 m de altura (cemento: arena: piedra: agua): 15.55: 24.72: 31.51: 7.15 L. Respecto a las 45 probetas experimentales (15 por adición) (cemento: CMR: GS: arena: piedra: agua): 9.8: 0.61: 1.84: 27.47: 31.51: 7.12 L (1<sup>era</sup> adición); 9.8: 1.22: 1.22: 27.47: 31.51: 7.12 L (2<sup>da</sup> adición); 9.79: 1.84: 0.61: 27.48: 31.51: 7.12 L (3<sup>era</sup> adición).

En cambio, Ponceca Anca y Ponceca Quispe (2022), no precisaron las dosificaciones en volúmenes ni las cantidades experimentales, del cual, solo especificaron los pesos por bolsa en kg para el concreto patrón (cemento: arena: piedra: agua), cuyos valores fueron de 42.50: 76.40: 80.90: 17.80 L/bolsa, variando a lo obtenido en arena, piedra y agua en 1.24%, 1.04% y 1.10%.

### **De las consistencias y asentamientos**

De acuerdo a la verificación del asentamiento teórico de 3" mediante Cono de Abrams, el concreto convencional tuvo un slump de 3", mientras que en los concretos experimentales, de 2.85" (1<sup>era</sup> y 2<sup>da</sup> adición) y 4" (3<sup>era</sup> adición). Según la NTP CE.010, para pavimentos rígidos se acepta un slump máximo hasta de 4", por lo que podemos enfatizar, que los concretos tanto convencional como experimental, han cumplido con lo especificado por norma, siendo todas de consistencia plástica.

No obstante, Ponceca Anca y Ponceca Quispe (2022), hallaron un slump patrón de 4", mientras que, en los experimentales con ceniza de madera, 3.5", 2.8" y 2.4", cuyo asentamiento en la 3<sup>era</sup> adición (16% de sustitución), no cumplió con lo estipulado por norma, quienes observaron el asentamiento, el cual decrece conforme la adición crece, ya que se determinó una variación del slump respecto al patrón de 12.50%, 30.00% y 40.00%. En referencia a lo obtenido, se observó el caso contrario, el asentamiento crece de manera proporcional al aumentar el porcentaje de adición, el cual, mantiene relativamente el slump convencional para las adiciones del 25% y 50%, los cuales también difieren, respecto a los resultados de los autores mencionados en 1" (1.33%), 0.5" (1.17%), 0.05" (1.02%) y 1.6" (1.67%).

### **De las apariencias y trabajabilidades**

Según preparación del concreto convencional y experimental, se observaron apariencias semigravosas, cuya trabajabilidad de mezclado y llenado fueron de condición fácil. Del mismo modo, Ponceca Anca y Ponceca Quispe (2022), obtuvieron mezclas de concreto trabajables con apariencias semigravosas.

### **De las densidades en estado fresco y endurecido**

Según NTP E.060, para un concreto normal cuyo  $f'c$  se encuentre dentro del rango de los 210 a 350  $\text{kg/cm}^2$ , la densidad debe estar comprendida entre 2200 a 2400  $\text{kg/m}^3$ , por lo que de acuerdo al  $f'c$ , se obtuvo para el convencional, 2237.82  $\text{kg/m}^3$ , el cual, al ser corregida fue de 2293.54  $\text{kg/m}^3$ , mientras que, en estado endurecido, de 2383.91  $\text{kg/m}^3$ . Para los concretos experimentales, 2222.39  $\text{kg/m}^3$  (teórica), 2278.59  $\text{kg/m}^3$  (corregida) y 2358.27  $\text{kg/m}^3$  (endurecido) (1<sup>era</sup> adición); 2222.38  $\text{kg/m}^3$  (teórica), 2278.58  $\text{kg/m}^3$  (corregida) y 2316.50  $\text{kg/m}^3$  (endurecido) (2<sup>da</sup> adición); 2222.35  $\text{kg/m}^3$  (teórica), 2278.54  $\text{kg/m}^3$  (corregida) y 2296.22  $\text{kg/m}^3$  (endurecido) (3<sup>era</sup> adición).

En tal sentido, las densidades obtenidas son normales, donde la variación del convencional y experimentales fue en 1.01%, 1.03% y 1.04%, cuya densidad promedio experimental fue de 2323.66  $\text{kg/m}^3$ , por lo que las adiciones combinadas de ceniza de madera roble y gránulos de silicio mantuvieron la densidad del concreto en 1.03%.

En consecuencia, Ponceca Anca y Ponceca Quispe (2022), definieron la densidad del concreto patrón, cuyo valor fue de 2373.75  $\text{kg/m}^3$ , el cual fue próximo del convencional, variando solo 0.04% y de 1.02% respecto a la densidad promedio experimental. Cabe mencionar, que dichos autores no precisaron las densidades experimentales.

## De las resistencias a la compresión

La NTP E.060, hace referencia que el concreto a la edad de 7 días debe alcanzar el 60% a 70% de su resistencia máxima, a los 14 días, entre 80 a 90%, a los 21 días, el 95%, el cual se aceptará, siempre y cuando, se alcance el 100% de la resistencia a los 28 días. De lo obtenido en promedio, en el concreto convencional a los 7, 14, 21 y 28 días fueron de 264.00 (94.29%), 302.06 (107.88%), 344.55 (123.05%) y 370.67 kg/cm<sup>2</sup> (132.38%). En cuanto a los concretos experimentales: (1<sup>era</sup> adición) 221.74 (79.19%), 244.06 (87.16%), 275.56 (98.41%) y 305.23 kg/cm<sup>2</sup> (109.01%). (2<sup>da</sup> adición) 215.91 (77.11%), 256.27 (91.53%), 282.99 (101.07) y 310.92 kg/cm<sup>2</sup> (111.04%). (3<sup>era</sup> adición) 215.45 (76.95%), 244.96 (87.49%), 268.24 (95.80%), 281.09 kg/cm<sup>2</sup> (100.39%). Cabe mencionar, que las fallas de fractura predominante en todos los concretos fueron por corte, siendo típicas. Teniendo en cuenta los resultados, se prescinde que las resistencias experimentales superan los rangos por edad en 1.20%, 1.05%, 1.04% y 1.07%, los cuales alcanzan la mayor parte de su resistencia a edad temprana a los 7 días (77.75%), teniendo un desarrollo creciente proporcional a partir de los 14 días. Según lo especificado por norma, los concretos experimentales superan los 280 kg/cm<sup>2</sup>, siendo todas aceptables.

En cambio, el Comité ACI – 211, sugiere que la aceptación del concreto debe darse cuando se cumpla con la resistencia mínima requerida a los 28 días, del cual, ningún concreto experimental logra alcanzar el  $f^c$  requerido, pero en base al cálculo de tendencia probabilística, la 1<sup>era</sup> y 2<sup>da</sup> adición, son las que tienen mayor probabilidad de éxito del 25% de su resistencia última promedio a los 28 días, las cuales podrían desarrollar una resistencia máxima de 381.54 y 388.65 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que es muy probable que logren superar lo requerido de 364 kg/cm<sup>2</sup>, posterior de la edad máxima indicada. En pocas palabras, los concretos experimentales bajo las adiciones combinadas descritas, lograron mejorar las compresiones para sustituciones en 20%.

En efecto, Ponceca Anca y Ponceca Quispe (2022), para un  $f'c$  de 280 kg/cm<sup>2</sup>, determinaron en los convencionales para 7, 14, 28 d.: 218.78, 248.07 y 283.13 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que, para los experimentales con ceniza de madera, 230.80, 256.94 y 308.73 kg/cm<sup>2</sup> para una sustitución del cemento en 8%. Al 12%, 206.69, 234.28 y 281.50 kg/cm<sup>2</sup>, y al 16%, 187.38, 213.69 y 256.76 kg/cm<sup>2</sup>. Se puede denotar que para sustituciones mayores al 12%, las resistencias a la compresión bajan considerablemente en 1.10% y 1.20%, por lo que solo se aceptaron las 2 primeras adiciones, las cuales logran superar el  $f'c$  de diseño, pero no logran exceder los 364 kg/cm<sup>2</sup>. En lo expuesto, podemos enfatizar que las resistencias obtenidas por estudio, logran superar los resultados determinados por los autores mencionados en 1.31% y 1.10% respectivamente.

Del mismo modo, Castillo y Pastor (2022), para un  $f'c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup>, obtuvieron para el convencional, 239.96 kg/cm<sup>2</sup>, mientras para sustituciones de 6%, 6.5%, 7% y 7.5% por adiciones combinadas de ceniza de madera eucalipto y capulí, determinaron resistencias de 225.05, 223.86, 217.48 y 201.88 kg/cm<sup>2</sup>, cuyos resultados solo fueron favorables hasta una sustitución del 7%, dado que la resistencia disminuyó a partir de la sustitución del 7.5%.

Igualmente, Chuquihuaccha y Malca (2022), determinaron a 28 d., 335 kg/cm<sup>2</sup>. En experimentales bajo sustitución del 5, 10, 15% por CMP, determinaron los valores de 304, 220.25 y 167.50 kg/cm<sup>2</sup>, cuyos resultados fueron desfavorables a partir del 15% de sustitución. Por lo tanto, para sustituciones del cemento mayores al 15%, las compresiones bajan considerablemente, y según lo determinado, las combinaciones del CMR y gránulos silicio al 20% de sustitución, lograron aumentar la compresión significativamente.

## De evaluación indirecta de durabilidad

### De la prueba de desgaste

Los resultados obtenidos para las edades en 60, 90 y 120 días, demostraron que hubo mayor desgaste en el concreto experimental de la 2<sup>da</sup> adición, cuyo promedio fue de 0.257% (231.12 kg/cm<sup>2</sup>), el cual es inferior al hallado por correlación lineal de la norma ASTM C779/C779M de 289.00 kg/cm<sup>2</sup>. Cabe precisar, que la 1<sup>era</sup> adición es la que menor desgaste tuvo, cuyo valor promedio fue de 0.137% (263.52 kg/cm<sup>2</sup>), el cual es más próximo al desgaste del concreto convencional de 0.107% (331.13 kg/cm<sup>2</sup>). Ambos valores son inferiores a los determinados por correlación de 282.91 kg/cm<sup>2</sup> (1<sup>era</sup> adición) y de 352.93 kg/cm<sup>2</sup> (convencional), los cuales tienen la misma variación de 1.07%, cuyo comportamiento mecánico por abrasión es similar, por lo que tendrían la misma durabilidad con una pérdida de resistencia inicial promedio de 19.39 kg/cm<sup>2</sup> (1<sup>era</sup> adición) y 21.80 kg/cm<sup>2</sup> (convencional), respectivamente.

En cambio, el desgaste del concreto experimental de la 3<sup>era</sup> adición fue inferior al de la 2<sup>da</sup> adición, cuya resultante promedio fue de 0.223% (218.31 kg/cm<sup>2</sup>) respecto a 0.257% (231.12 kg/cm<sup>2</sup>), variando en 1.06%. Mientras que, por correlación, la 3<sup>era</sup> adición tuvo un desgaste de 0.24% (257.08 kg/cm<sup>2</sup>), cuya pérdida de resistencia inicial es de 1.18% (38.77 kg/cm<sup>2</sup>), en comparación al de la 2<sup>da</sup> adición de 1.25% (57.88 kg/cm<sup>2</sup>) (289.00 kg/cm<sup>2</sup>  $\approx$  231.12 kg/cm<sup>2</sup>).

Pese que en 2<sup>da</sup> adición haya otorgado mayor resistencia, el desgaste superficial determinado es muy superior al de las otras dos experimentales y al convencional en 1.88%, 1.15% y 2.40%, deduciéndose que para dosis iguales en CMR y gránulos de silicio, es directamente proporcional, a medida que la resistencia sea mayor, por lo que el porcentaje de desgaste ante efectos de fricción será superior, perdiendo más valor de su resistencia inicial respecto a la 1<sup>era</sup> adición (32.40 kg/cm<sup>2</sup>) y 3<sup>era</sup> adición (12.81 kg/cm<sup>2</sup>), comparado al convencional en 100.01 kg/cm<sup>2</sup>, pues mecánicamente, no confluye adecuadamente.

Experimentalmente, en términos de durabilidad, las 3 adiciones logran desarrollar en promedio un aporte significativo de 20.60%; específicamente, la 1<sup>era</sup> adición mejora la durabilidad en un 11.76%, en comparación a 5.75% (3<sup>era</sup> adición) y 3.09% (2<sup>da</sup> adición), siendo esta, la de mayor relevancia, respecto al índice de desgaste superficial del convencional de 10.70%.

### **De la prueba a fuego**

De acuerdo a lo estipulado por la ASTM E119, los resultados determinados del período a 60, 90 y 120 días, manifestaron que el concreto de la 2<sup>da</sup> adición es la que conserva más sus propiedades mecánicas de resistencia inicial, la cual puede perder hasta un 41.00% ( $90.68 \text{ kg/cm}^2$ ) ( $310.92 \text{ kg/cm}^2 \approx 220.24 \text{ kg/cm}^2$ ) ante efectos de temperatura, no mayores a  $700.00 \text{ }^\circ\text{C}$ , cuya valoración según correlación de la norma, fue del 75.00% ( $248.74 \text{ kg/cm}^2$ ), siendo de condición buena, la cual tiene el mismo desempeño que el concreto convencional, con un índice de resistencia residual de 41.00% ( $370.67 \text{ kg/cm}^2 \approx 262.56 \text{ kg/cm}^2$ ), variando entre sí, en 1.19%, que igualmente, es de buena calidad ante temperaturas menores a  $700.00 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Sin embargo, la 1<sup>era</sup> adición preserva su resistencia inicial hasta en un 41.00% ( $89.02 \text{ kg/cm}^2$ ) ( $305.23 \text{ kg/cm}^2 \approx 216.21 \text{ kg/cm}^2$ ), variando solo 1.02%, respecto al de la 2<sup>da</sup> adición, ante el rango de  $300.00 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $700.00 \text{ }^\circ\text{C}$ , cuya valoración fue buena, teniendo un comportamiento idóneo ante efectos de fuego, siendo el más óptimo, ya que de acuerdo al análisis de resultados, la resistencia residual fue de 1.19% ( $27.97 \text{ kg/cm}^2$ ), el cual es muy similar al del convencional y de la 2<sup>da</sup> adición en 1.21% ( $33.98 \text{ kg/cm}^2$ ) y 1.19% ( $28.50 \text{ kg/cm}^2$ ), respectivamente.

Del mismo modo, la 3<sup>era</sup> adición mantiene la compresión inicial hasta en 50.00% ( $93.69 \text{ kg/cm}^2$ ) ( $281.09 \text{ kg/cm}^2 \approx 187.40 \text{ kg/cm}^2$ ), siendo de condición regular, ya que presentó mayor degradación frente a temperaturas menores a  $600.00 \text{ }^\circ\text{C}$ , cuya varianza residual fue de 1.15 % ( $75.16 \text{ kg/cm}^2$ ) (patrón), 0.95% ( $28.81 \text{ kg/cm}^2$ ) (1<sup>era</sup> adición) y de 1.03% ( $32.84 \text{ kg/cm}^2$ ) (2<sup>da</sup> adición).

Las pérdidas experimentales de resistencia, fue aproximadamente del 44.00% (43.81 kg/cm<sup>2</sup>), variando en 1.29% (33.98 kg/cm<sup>2</sup>) con 1.07% (16.98 kg/cm<sup>2</sup>) entre lo residual por norma vs lo real. En cuanto al peso unitario final por compresión, esta disminuye en 1.41% (687.79 kg/m<sup>3</sup>) (2358.27 kg/m<sup>3</sup>  $\approx$  1670.48 kg/m<sup>3</sup>) (1<sup>era</sup> adición), 1.41% (675.61 kg/m<sup>3</sup>) (2316.50 kg/m<sup>3</sup>  $\approx$  1640.89 kg/m<sup>3</sup>) (2<sup>da</sup> adición), 1.50% (765.33 kg/m<sup>3</sup>) (2296.22 kg/m<sup>3</sup>  $\approx$  1530.89 kg/m<sup>3</sup>) (3<sup>era</sup> adición), respecto al convencional de 1.41% (kg/m<sup>3</sup>) (695.27 kg/m<sup>3</sup>) (2383.91 kg/m<sup>3</sup>  $\approx$  1688.64 kg/m<sup>3</sup>).

En lo que concierne a los cambios de coloración superficial, según degradación del concreto por desempeño estrés, se observó por acción del calor, la formación de manchas negras por reacción inherente del carbono (gránulos de silicio) y materia orgánica (ceniza de madera roble), donde hubo mayor expansión térmica cerca a los núcleos de las probetas. Del diagnóstico realizado, en base a la lectura de las temperaturas en cada probeta, se presenció calcinación incipiente que originó microfisuras y cuarteduras entre 0.00 °C a 300.00 °C, el cual tuvo un color gris oscuro. Como también, calcinación superficial que causó descarbonatación y fisuramiento en relación de 300.00 °C a 600.00 °C, con un color rosado.

A su vez, calcinación avanzada que provocó pérdida de masa y delaminación entre 600.00 °C a 900.00 °C, bajo un color gris claro. Este efecto último, fue el que gobernó en la 3<sup>era</sup> adición, a una temperatura mucho menor a la indicada. En pocas palabras, los concretos experimentales pueden perder ante el fuego hasta un 33.33% de su resistencia inicial de compresión.

## **Del análisis de viabilidad**

### **De los costos de producción**

Los precios actuales de MO, materiales y equip./htas., se determinó el costo por m<sup>3</sup> del concreto convencional, cuyo valor fue de S/. 619.41.

Del mismo, para los concretos experimentales se hallaron los montos de S/. 576.03 (1<sup>era</sup> adición), S/. 568.34 (2<sup>da</sup> adición) y S/. 560.83 (3<sup>era</sup> adición), los cuales representan un ahorro respecto al costo convencional de 1.08%, 1.09% y 1.10%. Cabe precisar que los precios actuales de mano corresponden al período de junio del 2023 a mayo del 2024, según Gremio de Construcción Civil del Perú, cuyos montos variarán posterior a la fecha indicada, como también, los precios de los materiales y alquiler de equipos son relativos, los cuales dependerán de la ubicación del proyecto.

### **De las utilidades**

Primeramente, se calculó el desagregado de los gastos generales teniendo en cuenta la incidencia de los gastos fijos (movilización/desmovilización, gastos administrativos y diversos), cuyo monto por mes fue de S/.4020.00 (0.40%), mientras que para los gastos variables (dirección técnica y administrativa, equipos, alquiler de oficina, sueldo del personal staff, carta fianza y otros) de S/.45843.00 (4.59%), determinándose un gasto general global por mes de S/.49863.22 (5.00%).

Posteriormente, en función del gasto general, términos financieros y conceptos de adelanto de obra, se calcularon las utilidades de los concretos experimentales, respecto al costo del concreto convencional por m<sup>3</sup>. Para ello, se tuvo presente el factor de interés, cuyas tasas efectivas fueron de 22.46%, 25.64% y 28.91%, dando como resultado, ganancias del proyecto de 7.53% (1<sup>era</sup> adición), 8.99% (2<sup>da</sup> adición) y 10.45% (3<sup>era</sup> adición). Generando a su vez, utilidades de 9.93%, 11.66% y 13.47%. De lo obtenido, podemos enfatizar que, a menor ganancia de proyecto, menor será el porcentaje de utilidad que obtendremos, dado que la tasa efectiva es mayor.

## **De los ratios de costos**

Para el desarrollo del acápite correspondiente, se obtuvo un ratio de costo inicial de concreto por m<sup>3</sup>, según data del GIP - MPCH, en relación a las obras de pavimentación rígida ejecutadas en el período 2012 – 2022, en la cual, se calculó un valor por índice de transitabilidad, cuyo resultado promedio fue de S/673.10, incluido IGV. Cabe precisar, que se consideró las dimensiones promedio de una pavimentación rígida de baja, media y alta transitabilidad por km, para un ancho de calzada de 7.00 m y espesores de 0.20 m, 0.25 m y 0.30 m, dado que no se contó con la información completa de las obras mencionadas, en cuanto a metrados, especificaciones técnicas, entre otros aspectos complementarios.

A su vez, se halló el costo del flete (materiales, mov., desmov. equip.), con una distancia media en 25 km en condiciones normales, cuyo monto fue de S/12.00. Del mismo modo, se calculó un ratio de costo oferta teniendo en cuenta el precio convencional y experimental, en dimensiones promedio por carril de 3.50 m de ancho, 3.00 m de longitud con espesores variables por transitabilidad de 0.20 m, 0.25 m y 0.30 m, determinándose un valor promedio con IGV de S/ 682.85. La variación entre ratios se debe al alza de precios en los últimos años, cuya diferencia hallada fue de S/9.75 (1.01%).

## **Del VAN**

De lo expuesto, en función a los valores determinados (precio unitario, ganancia del proyecto, flete y utilidad), para un tiempo de 20 años, se calcularon los VAN de los concretos evaluados, cuyas resultantes fueron de S/ 945.46 (convencional), S/ 181.77 (1<sup>era</sup> adición), S/ 114.83 (2<sup>da</sup> adición) y S/ 62.25 (3<sup>era</sup> adición), variando respecto al convencional en 5.20%, 8.23% y 15.19%, respectivamente, las cuales son aceptables, ya que son mayores a cero.

## **Del TIR**

En base a los flujos netos cálculos, se interpoló el TIR de los concretos, bajo la consideración de que el VAN sea próximo a cero, cuyas resultantes fueron de 26% (convencional), 16% (1<sup>era</sup> adición), 15% (2<sup>da</sup> adición) y 14% (3<sup>era</sup> adición), los cuales son superiores a la tasa de descuento del 12%, difiriendo del convencional en 1.60%, 1.74% y 1.88%, siendo todas rentables y aceptables.

## **De los costos beneficios**

De acuerdo a las relaciones de los flujos beneficios y de costos, se determinaron las viabilidades del concreto por m<sup>3</sup>, siendo de 1.81 (convencional), 1.40 (1<sup>era</sup> adición), 1.36 (2<sup>da</sup> adición) y 1.33 (3<sup>era</sup> adición), cuya varianza con el patrón es de 1.30%, 1.34% y 1.37%; denotándose que los valores hallados son mayores a 1, resultando ser de condición aceptable. Cabe mencionar, que la viabilidad es un índice de probabilidad de éxito para llevar a cabo la ejecución de un producto, en base a la parte técnica - económica, del cual, dichos valores obtenidos son viables en su totalidad.

## Conclusiones

De acuerdo al ensayo espectral de FRXDE, los elementos mayoritarios que conforman la ceniza de madera roble fueron el óxido de calcio (CaO) (62.78%),  $Al_2O_3$  (13.55%) con el  $K_2O$  (11.14%). Mientras que, para los gránulos de silicio, predominó el dióxido de silicio ( $SiO_2$ ) (70.00%) y el carbono (C) (25.50%). En cuanto a los potenciales de hidrógeno de las sustituciones del cemento en 20% por las adiciones combinadas con agregados, se determinaron los valores de 12.56% (1<sup>era</sup> adición), 12.57% (2<sup>da</sup> adición) y 12.61% (3<sup>era</sup> adición), respectivamente.

Según ensayos por norma, el agregado fino tuvo las siguientes características: granulometría (arena bien gradada), peso esparcido ( $1519 \text{ g/cm}^3$ ), p. compacto ( $1746 \text{ g/cm}^3$ ), p. específico ( $2.588 \text{ g/cm}^3$ ), humedad (1.31%), absorción (0.14%) y módulo de finura (3.184). En cuanto al agregado grueso: granulometría (piedra chancada bien gradada), TM (1”), TMN (3/4”), peso esparcido ( $1455 \text{ g/cm}^3$ ), p. compacto ( $1533 \text{ g/cm}^3$ ), p. específico ( $2.457 \text{ g/cm}^3$ ), humedad (0.33%) y absorción (0.95%), cuyos valores cumplieron con los límites permisibles, siendo ambos de buena calidad.

Conforme al método ACI – 211, se determinó una proporción convencional por peso y vol. (cem./arena/piedra/agua) de 1: 1.45: 1.83: 17.62 L/pie<sup>3</sup> y 1: 1.25: 1.79: 17.62 L/pie<sup>3</sup> para una relación a/c corregida de 0.46 (12 bolsas). Para los concretos experimentales (cemento/CMR/GS/arena/piedra/agua) de 0.80: 0.05: 0.15: 1.99: 2.26: 21.66 L/pie<sup>3</sup> y 0.80: 0.05: 0.15: 1.71: 2.22: 21.66 L/pie<sup>3</sup> (1<sup>era</sup> adición); 0.80: 0.10: 0.10: 1.99: 2.26: 21.67 L/pie<sup>3</sup> y 0.80: 0.10: 0.10: 1.71: 2.22: 21.67 L/pie<sup>3</sup> (2<sup>da</sup> adición) y de 0.80: 0.15: 0.05: 1.99: 2.26: 21.68 L/pie<sup>3</sup> y 0.80: 0.15: 0.05: 1.71: 2.22: 21.68 L/pie<sup>3</sup> (3<sup>era</sup> adición), en las cuales se obtuvieron relaciones a/c corregidas de 0.58 (10 bolsas). Del mismo modo, por bolsa en kg de 42.50: 61.68: 77.88: 19.55 L/bls (convencional); 34: 2.13: 6.38: 84.69: 96.21: 24.71 L/bls (1<sup>era</sup> adición); 34: 4.25: 4.25: 84.71: 96.22: 24.71 L/bls (2<sup>da</sup> adición) y de 34: 6.38: 2.13: 84.78: 96.28: 24.73 L/bls (3<sup>era</sup> adición), correspondientemente.

Por método ACI – 211, se cuantificaron las siguientes cantidades en kg para la producción de 15 probetas convencionales (cemento/arena/piedra/agua) de 15.55: 24.72: 31.51: 7.15 L; mientras que para la producción de las probetas experimentales (cemento/CMR/GS/arena/piedra/agua) (15 testigos c/u) de 9.8: 0.61: 1.84: 27.47: 31.51: 7.12 L (1<sup>era</sup> adición); 9.8: 1.22: 1.22: 27.47: 31.51: 7.12 L (2<sup>da</sup> adición) y de 9.79: 1.84: 0.61: 27.48: 31.51: 7.12 L (3<sup>era</sup> adición), correlativamente.

De acuerdo a los requisitos de aceptación del concreto, según NTP.E060, las compresiones obtenidas superaron los 280 kg/cm<sup>2</sup>, cuyos valores para los tiempos ya mencionados, fueron de 264 (94.29%), 302.06 (107.88%), 344.55 (123.05%) y 370.67 kg/cm<sup>2</sup> (132.38%) en promedio. En cuanto a los concretos experimentales, se determinaron los valores de 221.74 (79.19%), 244.06 (87.16%), 275.56 (98.41%) y 305.23 kg/cm<sup>2</sup> (109.01%) (1<sup>era</sup> adición); 215.91 (77.11%), 256.27 (91.53%), 282.99 (101.07%) y 310.92 kg/cm<sup>2</sup> (111.04%) (2<sup>da</sup> adición) y de 215.45 (76.95%), 244.96 (87.49%), 268.24 (95.80%) y 281.09 kg/cm<sup>2</sup> (100.39%) (3<sup>era</sup> adición), respectivamente.

Conforme a la norma ASTM C779/C779M, el desgaste por abrasión a los 60, 90 y 120 días para el concreto convencional fue de 344.72, 326.19 y 322.48 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que, para los experimentales: 262.50, 262.50 y 265.55 kg/cm<sup>2</sup> (1<sup>era</sup> adición), 239.41, 239.41 y 214.53 kg/cm<sup>2</sup> (2<sup>da</sup> adición) y de 213.63, 210.82 y 230.49 kg/cm<sup>2</sup> (3<sup>era</sup> adición), cuya correlación de desgaste experimental promedio fue de 276.33 kg/cm<sup>2</sup> respecto al convencional de 352.93 kg/cm<sup>2</sup>, los cuales cumplen con lo estipulado por norma. En cuanto a la resistencia residual por temperatura para las mismas edades, de acuerdo a la norma ASTM E-119, fue de 265.64, 261.38 y 260.67 kg/cm<sup>2</sup> (convencional), 218.39, 216.52 y 213.73 kg/cm<sup>2</sup> (1<sup>era</sup> adición), 223.06, 217.36 y 220.29 kg/cm<sup>2</sup> (2<sup>da</sup> adición) y 191.82, 180.91 y 189.47 kg/cm<sup>2</sup> (3<sup>era</sup> adición), por lo tanto, los resultados experimentales de la 1<sup>era</sup> adición presentaron mayor capacidad de durabilidad, tanto por desgaste como por fuego.

En base a la influencia técnica y económica de los materiales sustituyentes, se determinó un índice de viabilidad en el concreto experimental (1<sup>era</sup> adición) de 1.40, según ratio de costo oferta por precio unitario y volumen, cuyo precio unitario por m<sup>3</sup> fue de S/.576.03, con un VAN de S/.181.77 y un TIR de 16%, respecto a la viabilidad del concreto convencional de 1.81.

## **Recomendaciones**

Se exhorta a realizar ensayos químicos de comprobación para simulaciones de mezclas totales, sobre todo, del potencial de hidrogeno, dado al ser muy primordial en la validez de resultados experimentales, el cual representa un índice de éxito o fracaso, sobre los materiales sustituyentes que reemplazarían parcialmente al cemento en un determinado porcentaje.

Se sugiere emplear agregados de buena calidad, cuya procedencia sean auténticas de cantera, dado que las partículas son más uniformes, las cuales son más óptimas para la producción de concretos, cuyas resistencias, demandan mayores exigencias de gradación y caracterización en las mismas.

Se recomienda tener presente el tiempo de fraguado en las pruebas de control por asentamiento, preparación y llenado de probetas tanto convencional como experimental, lo cual puede generar segregación entre los agregados, siempre y cuando, los procedimientos demanden mucho más tiempo, por lo que puede repercutir directamente sobre las resistencias y durabilidades esperadas, ya que las consistencias pueden variar por la pérdida del agua de mezcla.

Teniendo en cuenta los alcances de la NTP.E.060, se sugiere evaluar la compresión y durabilidad en concretos experimentales, bajo combinaciones del CMR con gránulos de silicio para sustituciones mayores al 20%, y a su vez, comprobar las resultantes del estudio, en base a 20%.

Se recomienda que las cotizaciones sean propias del sitio, las cuales tengan vigencia actual. Del mismo modo, respetar las disposiciones conforme a ley en cuanto a MO, para con ello, fortalecer el análisis de viabilidad, realizando un estudio de mercadeo a nivel macro, de acuerdo a la información de expedientes de obras ya ejecutadas, con el fin de obtener un ratio de costo inicial mucho más próximo según metrados reales, en función de los requerimientos y especificaciones técnicas establecidas que demanda la construcción de pavimentos rígidos, teniendo en cuenta, los márgenes de rentabilidad, utilidad y gastos generales que implican las obras de concreto, sobre todo, las partidas de concreto simple, cuyos nuevos productos experimentales, sirvan a optimizar los costos de ejecución.


## Referencias

- [1] Timoteo Caro, Y. R. “*Influencia de sustitución del cemento por ceniza de madera sobre la resistencia a la compresión del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$* ”. Tesis, Facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo. Huaraz. Perú, 2021.
- [2] Mogollón Otero, L. J. & Oliva Wong, S. “*Estudio de la trabajabilidad y resistencia a la compresión del concreto usando ceniza de viruta de madera tornillo*”. Tesis, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura. Piura. Perú, 2023.
- [3] Castillo Salas, C. C., & Pastor Norabuena, S. A. “*Influencia en las propiedades físico - mecánicas en el concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  sustituyendo con cenizas de eucalipto y madera de capulí, Ancash*”. Tesis, Facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo. Lima, Perú, 2022.
- [4] Ccana Tairo, E. “*Influencia de la ceniza de madera del capulí sobre las propiedades físico mecánicas para un diseño de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Cusco*”. Tesis, Facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo. Lima. Perú, 2021.
- [5] Valencia Puma, J. F. “*Análisis de concreto elaborado con agregado reciclado producto de la demolición de veredas de concreto adicionado con humo de sílice frente a esfuerzos de compresión para el reuso en veredas en la Ciudad del Cusco 2017-2018. 2018*”. Tesis, Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Alas Peruanas. Cusco, Perú, 2018.
- [6] Cruzado Castillo, M. Y., & Olivera Payano, R. “*Evaluación de las cenizas de hoja y de madera del eucalipto en el concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Pataz, La Libertad*”. Tesis, Facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo. Lima. Perú, 2022.
- [7] Ponceca Anca, F., & Ponceca Quispe, W. “*Evaluación de la ceniza de madera y polvo de vidrio residual en el pavimento rígido  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , Andahuaylas*”. Tesis, Facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo. Lima, Perú, 2022.
- [8] Chuqui huaccha Montoro, H. J., & Malca Vásquez, A. Y. “*Resistencia a la compresión del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con adición de ceniza de madera de pino, Huaraz*”. Tesis, Facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo. Huaraz, Perú, 2022.


- [9] García Cahuana, E. R. "*Incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo para aumentar la resistencia a compresión del concreto*". Tesis, Facultad de Ingeniería de la Universidad Peruana del Centro. Huancayo, Perú, 2021.
- [10] Espinal Hinostroza, J. G. & Rimachi Araujo, G. "*Influencia de la adición de nanosílice ( $\text{SiO}_2$ ) y dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) en las propiedades del concreto modificado con baja dosificación de nanopartículas*". Tesis, Facultad de Ingeniería de la Universidad Peruana Unión. Lima, Perú, 2020.
- [11] Guzmán, D. S. "*Tecnología del concreto y el mortero*". Bhandar Editores, Bogotá. Colombia, 2001.
- [12] Norma Técnica Peruana E.010. "*Madera*". Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú, 2018.
- [13] Vázquez Chacón, J. Y. "*Roble común: características, hábitat, distribución, cultivo*". 2019. <https://www.lifeder.com/roble-comun/>
- [14] Rus Arias, E. "*Viabilidad*". Economipedia. Artículo científico, 2020. <https://economipedia.com/definiciones/viabilidad.html>
- [15] Norma Técnica Peruana E.060. "*Concreto armado*". Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú, 2018
- [16] Instituto Americano del Concreto. "*Reglamento Estructural para Edificaciones*". Comité ACI 211. EE.UU, 2018.
- [17] Norma Británica. "*Ensayos químicos. Parte 812*". Reino Unido, 1988.
- [18] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, "*Especificaciones Generales para la Construcción*". EG - 2013, Lima, Perú, 2013.
- [19] Abanto, T. "*Tecnología del concreto*". Editorial San Marcos E.I.R.L. Perú, 2017.
- [20] Quispe, J. y Tintaya, J. "*Análisis comparativo de técnicas de curados en concretos expuestos a ciclos de congelamiento y deshielo en la Región de Puno*". Tesis. Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión. Puno, Perú, 2019.

## Anexos

## Anexo 1. Comp. quím. CMR y gránulos silicio



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
**UNIDAD DE SERVICIOS TÉCNICOS**



**REPORTE DE ANÁLISIS N° 67 – 2023 – FIQIA**

1. **TESISTA** : Marcos Luis Chuquillín Vergara

2. **DNI** : 46429417

3. **TESIS** : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos.

4. **UNIVERSIDAD** : Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

5. **ESCUELA** : Ingeniería Civil Ambiental

---

1. **DATOS DE LA MUESTRA**

- Número de muestras : 03
- Fecha de monitoreo : 30/10/2023

2. **RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO**


Determinación de CQ para diseño de mezcla de concreto  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , con sustitución de cemento portland tipo 1 en 20% por adición combinada de ceniza de madera roble y gránulos de silicio.

Composición química			
Ceniza de madera roble		Gránulos de silicio	
Símbología	%	Símbología	%
CaO	62.78	SiO <sub>2</sub>	68.85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.55	C	26.12
K <sub>2</sub> O	11.14	NaOH	2.28
SiO <sub>2</sub>	5.69	KOH	1.45
SO <sub>3</sub>	4.02	HF	1.29
FeO <sub>3</sub>	1.78		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.84		
MnO	0.13		
TiO <sub>2</sub>	0.05		
ZnO	0.02		

Ensayo espectral FRXDE - Laboratorio FIQIA (UNPRG)  
Muestra: 150 g c/u

**Leyenda**

CQ: Composición química  
FRXDE: Ensayo de fluorescencia por rayos X



**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**  
**USAT**  
**TÉCNICO DE LABORATORIO**

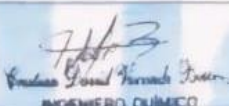

---

Ciudad Universitaria - Telefaxis: (074) 281633
Lambayeque - Perú



### 3. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos fueron realizados en el Laboratorio de Investigación y Servicios Técnicos de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, siguiendo estrictos estándares de calidad.

Firma	 INGENIERO QUÍMICO	Firma	 DECAND
Analista	Ing. GABRIELA MARÍA Visconde Beltrán	V°B°	Dr. César Augusto Montezá Arbulú
Fecha del Análisis		03 de Noviembre del 2023	



## Anexo 2. pH sustituciones CMR y gránulos silicio



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
**UNIDAD DE SERVICIOS TÉCNICOS**



**REPORTE DE ANÁLISIS N° 67 – 2023 – FIQA**

1. **TESISTA** : Marcos Luis Chuquilín Vergara

2. **DNI** : 46429417

3. **TESIS** : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos.

4. **UNIVERSIDAD** : Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

5. **ESCUELA** : Ingeniería Civil Ambiental

---

**1. DATOS DE LA MUESTRA**

- Número de muestras : 03
- Fecha de monitoreo : 30/10/2023
- 

**2. RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO**

Determinación de pH para diseño de mezcla de concreto  $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , con sustitución de cemento portland tipo 1 en 20% por adición combinada de ceniza de madera roble y gránulos de silicio.

ADICIÓN	pH
80% CPTI + 20% AC (25%CMR + 75%GS)+ AF + AG	12.56
80% CPTI + 20% AC (50%CMR + 50%GS)+ AF + AG	12.57
80% CPTI + 20% AC (75%CMR + 25%GS)+ AF + AG	12.61

Dosificaciones: 1 cemento; 2 agregado fino; 2 agregado grueso.

**Leyenda**

- CMR: Ceniza de Madera de Roble
- GS: Gránulos de Silicio
- CPTI: Cemento Portland Tipo 1
- AC: Adición Combinada de CMR y GS
- AF: Agregado Fino
- AG: Agregado Grueso



**USAT**  
LABORATORIO DE SERVICIOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

TECNICO DE LABORATORIO

Ciudad Universitaria - Telefax: (074) 283633



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
**UNIDAD DE SERVICIOS TÉCNICOS**



### 3. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos fueron realizados en el Laboratorio de Investigación y Servicios Técnicos de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, siguiendo estrictos estándares de calidad. El potenciómetro de mesa totalmente calibrado.

Firma		Firma	
Analista	Ing. <b>CECILIA DAVILA</b> Visconde Beltrán	V°B°	Dr. César Augusto Monteza Arbulú
Fecha del Análisis		03 de Noviembre del 2023	



## Validación ensayos en laboratorio EICA - USAT



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

INFORME N° LEM USAT 001-2024-I

FECHA: 25 de Marzo 2024

### VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

**ESTUDIANTE:** Marcos Luis Chuquilin Vergara.

**TITULO DE LA TESIS:** Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos.

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados 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:

- Composición química de la ceniza de madera roble y gránulos de silicio.
- pH sustituciones de cemento por ceniza de madera roble y gránulos de silicio.
- Granulometría del agregado fino, grueso, ceniza de madera roble y gránulos de silicio.
- Módulo de finura del agregado fino.
- Peso unitario seco suelto y compactado del agregado fino y grueso.
- Peso específico y contenido de absorción del agregado fino, grueso, ceniza de madera roble y gránulos de silicio.
- Contenido de humedad del agregado fino y grueso.
- Rotura a la compresión de probetas de concreto (7, 14, 21 y 28 días).
- Prueba de desgaste por abrasión en probetas de concreto (60, 90 y 120 días).
- Prueba a fuego en probetas de concreto (60, 90 y 120 días).

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto

Henry Rivadeneira Oblitas  
 Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental



### Anexo 3. Granulom. con fineza AF

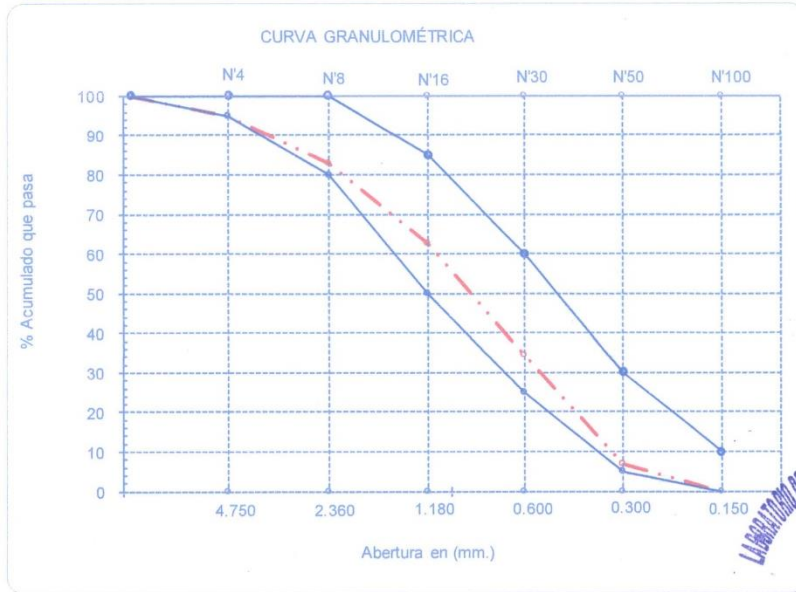


Tesista : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 Lugar : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 Fecha de emisión : 02 de noviembre del 2023

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino  
 Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Muestra : Arena gruesa - Cantera P. Inicial H. 772.0 % de Humedad = 1.31  
 Tres Tomas P. Inicial S. 762.0

Malla		Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa		
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	38	5.0	5.0	95.0	95	100
Nº 08	2.360	92	12.1	17.1	82.9	80	100
Nº 16	1.180	156	20.5	37.5	62.5	50	85
Nº 30	0.600	214	28.1	65.6	34.4	25	60
Nº 50	0.300	210	27.6	93.2	6.8	5	30
Nº 100	0.150	52.0	6.8	100.0	0.0	0	10
Fondo		0	0.0	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				3.184			
Abertura de malla de referencia				9.500			



LABORATORIO DE ENSAYOS DE CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
**USAT**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

## Anexo 4. P. unit. seco esparcido con compacto AF



**Tesista** : Marcos Luis Chuquillin Vergara  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
**Lugar** : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
**Fecha de emisión** : 02 de noviembre del 2023

**Ensayo** : Peso unitario del agregado fino  
**Referencia** : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

**Muestra** : Arena gruesa - Cantera Tres Tomas

### 1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>8350</b>	<b>8520</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8350	8520
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1524	1555
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1519</b>	

### 2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>9620</b>	<b>9770</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9620	9770
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1755	1783
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1746</b>	



## Anexo 5. P. específico con contenido de absorción AF y grueso



**Tesista** : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
**Lugar** : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
**Fecha de emisión** : 02 de noviembre del 2023

**Ensayo** : Peso específico y Absorción del agregado fino

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

**Muestra** : Arena gruesa - Cantera Tres Tomas

### I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco -	(g)	<b>949.9</b>	<b>949.9</b>
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	642.77	642.77
3.- Peso del Agua	(g)	307.08	307.08
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del F	(g)	642.09	642.09
5.- Peso del Frasco	(g)	<b>142.77</b>	<b>142.77</b>
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	<b>499</b>	<b>499</b>
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

### II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm3)	<b>2.588</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm3)	2.592
C.- PESO ESPECÍFICO APARENTE	(g/cm3)	2.597
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.14</b>

**Ensayo** : Peso específico y Absorción del agregado grueso

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

**Muestra** : Piedra chancada 1/2" - Cantera Tres Tomas

### I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	<b>1610</b>	<b>1560</b>
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	<b>1620</b>	<b>1580</b>
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del	(g)	<b>1850</b>	<b>1820</b>
4.- Peso de la canastilla	(g)	<b>880</b>	<b>880</b>
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	970	940

### II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm3)	<b>2.457</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm3)	2.481
C.- PESO ESPECÍFICO APARENTE	(g/cm3)	2.516
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.95</b>



## Anexo 6. Cont. hum. AF y AG



**Tesista** : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
**Lugar** : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
**Fecha de emisión** : 02 de noviembre del 2023

**Ensayo** : Contenido de humedad del agregado fino  
**Referencia** : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Muestra : Arena gruesa - Cantera Tres Tomas

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>772</b>	<b>772</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>762</b>	<b>762</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.31	1.31
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>1.31</b>	

**Ensayo** : Contenido de humedad del agregado grueso  
**Referencia** : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Muestra : Piedra chancada 1/2" - Cantera Tres Tomas

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>6110</b>	<b>6110</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>6090</b>	<b>6090</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.3	0.3
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.33</b>	



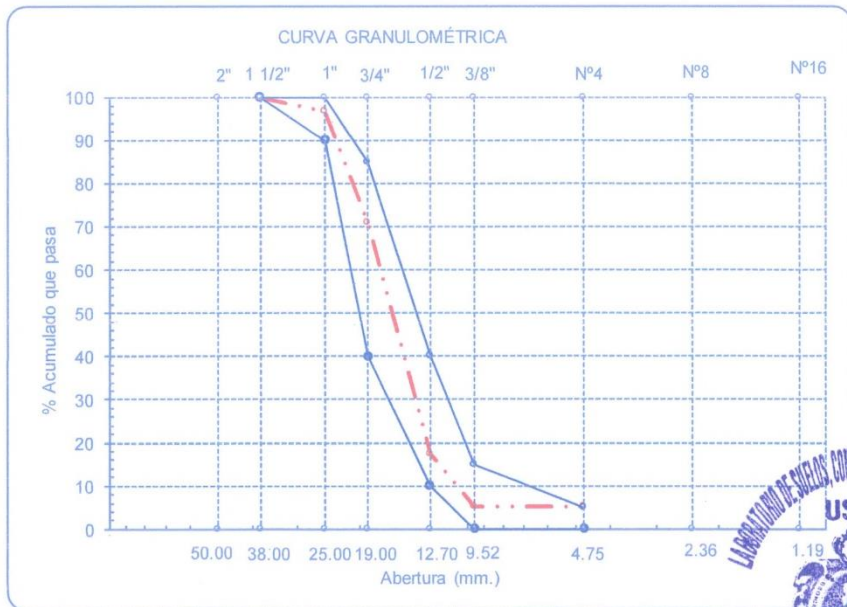
### Anexo 7. Granulometría agre. gru.



**Tesista** : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
**Lugar** : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
**Fecha de emisión** : 02 de noviembre del 2023  
**Ensayo** : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso  
**Referencia** : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

**Muestra** : Piedra chancada 1/2" - Cantera Tres Ton **P. Inicial H.** 2320 **% de**  
**P. Inicial S.** 2310 **Humedad =** 0.43

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones USO 56	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	78.0	3.4	3.4	96.6	90.0	100.0
3/4"	19.00	596.0	25.8	29.2	70.8	40.0	85.0
1/2"	12.70	1232.0	53.3	82.5	17.5	10.0	40.0
3/8"	9.52	284.0	12.3	94.8	5.2	0.0	15.0
Nº 04	4.75	0.0	0.0	94.8	5.2	0.0	5.0
Nº 08	2.36	30.0	1.3	96.1	3.9	0.0	0.0
Nº 16	1.19	6.0	0.3	96.4	3.6	0.0	0.0
Fondo		0.7	0.0	96.4	3.6		
Tamaño Maximo			1"	38.00			
Tamaño Maximo Nominal			3/4"	25.00			



## Anexo 8. P. seco esparcido con compacto AG



**Tesista** : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
**Lugar** : Chidayo, Lambayeque - Perú  
**Fecha de emisión** : 02 de noviembre del 2023

Ensayo : Peso unitario del agregado grueso  
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Muestra : Piedra chancada 1/2" - Cantera Tres Tomas

### A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>7920</b>	<b>7990</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7920	7990
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1455	1468
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1455</b>	

### B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>8370</b>	<b>8390</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8370.0	8390.0
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1538	1541
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1534</b>	



## Anexo 9. Granulometría ceniza de madera roble

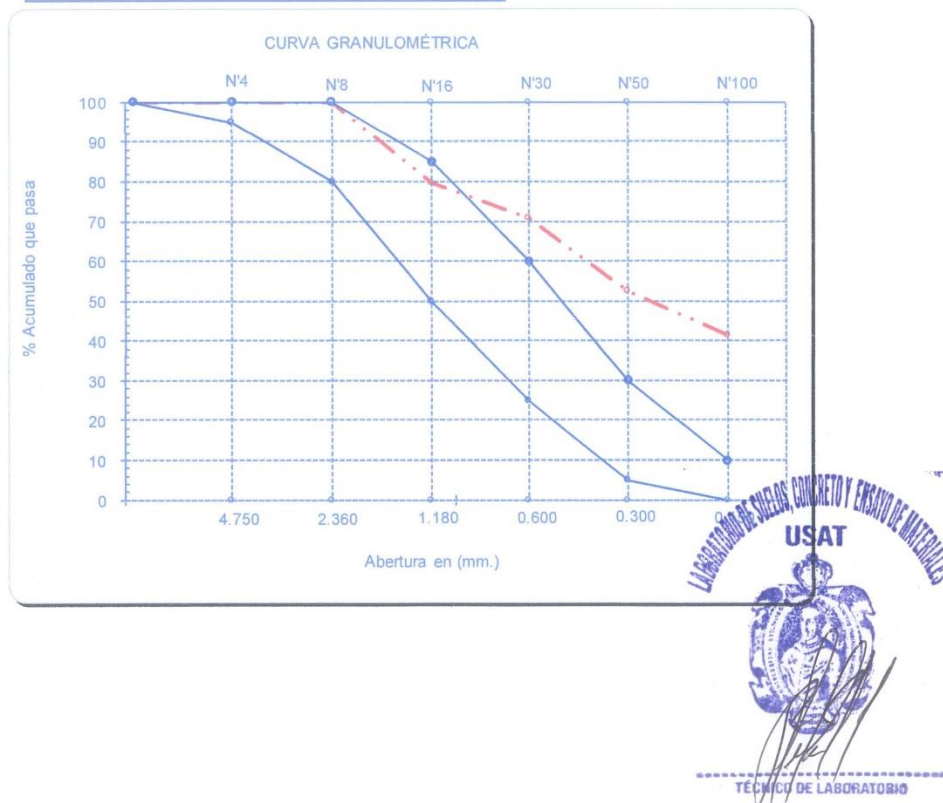


**Tesista** : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
**Lugar** : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
**Fecha de emisión** : 02 de noviembre del 2023

**Ensayo** : Análisis granulométrico por tamizado de la ceniza de madera roble  
**Referencia** : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

**Muestra** : Ceniza de madera roble    **P. Inicial H.** 50.0    **% de Humedad =** 0.00  
**P. Inicial S.** 50.0

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)						
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	0	0.0	0.0	100.0	95	100
Nº 08	2.360	0	0.0	0.0	100.0	80	100
Nº 16	1.180	10.153	20.3	20.3	79.7	50	85
Nº 30	0.600	4.388	8.8	29.1	70.9	25	60
Nº 50	0.300	9.194	18.4	47.5	52.5	5	30
Nº 100	0.150	5.6	11.2	58.6	41.4	0	10
Fondo		20.685	41.4	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				1.555			
Abertura de malla de referencia				9.500			



## Anexo 10. Peso específico y contenido de absorción CMR



**Tesista** : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
**Lugar** : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
**Fecha de emisión** : 02 de noviembre del 2023

**Ensayo** : Peso específico y Absorción de la ceniza de madera roble

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

**Muestra** : Ceniza de madera roble

### I.- Datos.

1.- Peso de la muestra Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	<b>917.2</b>	<b>917.2</b>
2.- Peso de la muestra Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	642.77	642.77
3.- Peso del Agua	(g)	274.45	274.45
4.- Peso de la muestra Secada al Horno + Peso del	(g)	642.07	642.07
5.- Peso del Frasco	(g)	<b>142.77</b>	<b>142.77</b>
6.- Peso de la muestra Secada al Horno	(g)	<b>499</b>	<b>499</b>
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

### II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.214</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.217
C.- PESO ESPECÍFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.221
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.14</b>



## Anexo 11. Granulometría gránulos silicio

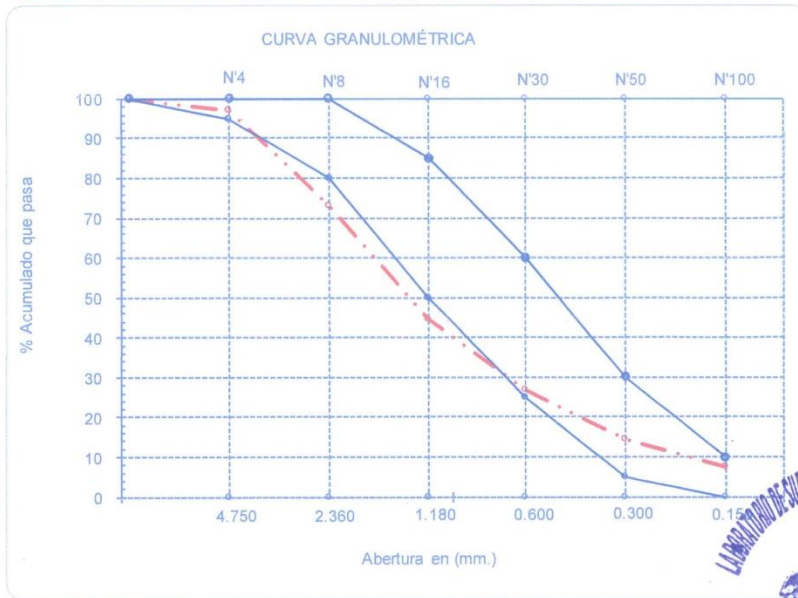


**Tesista** : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
**Lugar** : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
**Fecha de emisión** : 02 de noviembre del 2023

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado de los gránulos de silicio  
 Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

**Muestra** : Gránulos de silicio  
**P. Inicial H.** 885.0  
**P. Inicial S.** 885.0  
**% de Humedad =** 0.00

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)					100	100
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	24.8	2.8	2.8	97.2	95	100
Nº 08	2.360	214.28	24.2	27.0	73.0	80	100
Nº 16	1.180	252.46	28.5	55.5	44.5	50	85
Nº 30	0.600	156.95	17.7	73.3	26.7	25	60
Nº 50	0.300	109.31	12.4	85.6	14.4	5	30
Nº 100	0.150	61.7	7.0	92.6	7.4	0	10
Fondo		65.5	7.4	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				3.369			
Abertura de malla de referencia				9.500			



**USAT**  
 LABORATORIO DE CEMENTO, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TÉCNICO DE LABORATORIO

## Anexo 12. P. específ. con absorbencia gránulos de silicio



**Tesista** : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
**Lugar** : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
**Fecha de emisión** : 02 de noviembre del 2023

Ensayo : Peso específico y Absorción de los gránulos de silicio

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Muestra : Gránulos de silicio

### I.- Datos.

1.- Peso de la muestra Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	<b>984.7</b>	<b>984.7</b>
2.- Peso de la muestra Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	642.77	642.77
3.- Peso del Agua	(g)	341.91	341.91
4.- Peso de la muestra Secada al Horno + Peso del	(g)	642.07	642.07
5.- Peso del Frasco	(g)	<b>142.77</b>	<b>142.77</b>
6.- Peso de la muestra Secada al Horno	(g)	<b>499</b>	<b>499</b>
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

### II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>3.158</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	3.163
C.- PESO ESPECÍFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	3.172
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.14</b>



## Anexo 13. Convencional por resistencia



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESISISTA : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 ENSAYO : Diseño de mezcla de concreto convencional sin aditivo  
 REFERENCIA : Comité ACI 211.

### DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CONVENCIONAL - ACI 211 ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ )

#### Datos generales

Construcción = Pavimentos  
 $f_c = 280.00 \text{ kg/cm}^2$  (resistencia a la compresión del concreto)  
 $\gamma_a = 1000.00 \text{ kg/m}^3$  (peso específico del agua)  
 $a = \text{Potable l (agua potable)}$

#### Datos del cemento

Tipo = Cemento  
 Peso = 42.50 kg (peso de la bolsa de cemento)  
 $\gamma_c = 3.10 \text{ g/cm}^3$  (peso específico del cemento)  
 Mezcla = Sin aire incorporado

#### Datos de agregados

##### Agregado fino (arena gruesa)

Peso unitario suelto seco = **1519.00**  $\text{kg/m}^3$   
 Peso unitario compactado seco = **1746.00**  $\text{kg/m}^3$   
 Peso específico del agregado fino = **2.59**  $\text{g/cm}^3$   
 Grado de absorción = **0.14** %  
 Contenido de humedad = **1.31** %  
 Módulo de finiza = **3.18**  
 Tamaño máximo nominal (TMN) = - in  
 Cantera de procedencia = Tres Tomas de Ferreñafe

##### Agregado grueso (piedra chancada)

Peso unitario suelto seco = **1455.00**  $\text{kg/m}^3$   
 Peso unitario compactado seco = **1533.00**  $\text{kg/m}^3$   
 Peso específico del agregado grueso = **2.46**  $\text{g/cm}^3$   
 Grado de absorción = **0.95** %  
 Contenido de humedad = **0.33** %  
 Módulo de finiza = -  
 Tamaño máximo nominal (TMN) = **0.75** in  
 Cantera de procedencia = Tres Tomas de Ferreñafe

#### 1. Resistencia a la compresión requerida ( $f'cr$ ):

$f_c = 280.00 \text{ kg/cm}^2$   
 $f_{cr} = 364.00 \text{ kg/cm}^2$

#### 2. Selección del asentamiento:

Asentamiento = 3.00 in  
 Consistencia = Plástica (trabajable - vibración ligera chuseada)

#### 3. Contenido de aire atrapado:

TMN = 0.75 in  
 Aire atrapado = **2.00** %

#### 4. Relación agua/cemento (a/c):

$f_{cr} = 364.00 \text{ kg/cm}^2$   
 $a/c = \mathbf{0.466}$

#### 5. Peso del agua (a):

$a = \mathbf{205.00}$  l (peso del agua por  $\text{m}^3$  de concreto)  
 $a = 205.00$  kg (peso del agua por  $\text{m}^3$  de concreto)



## 6. Peso del cemento (c):

$$c = 439.91 \text{ kg (peso del cemento por m}^3 \text{ de concreto)}$$

## 6.1 Factor cemento (fc):

$$f_c = 10.35 \text{ bls (factor cemento)}$$

## 7. Volumen del agregado grueso:

$$\begin{aligned} \text{TMN} &= 0.75 \text{ in} \\ \text{MF} &= 3.18 \text{ (módulo de fineza del agregado fino)} \\ \text{Volumen de agregado grueso} &= \mathbf{0.58} \text{ m}^3 \text{ (volumen del agregado grueso compactado seco)} \end{aligned}$$

## 7.1 Peso total del agregado grueso (P.U.C.S):

$$\begin{aligned} \text{P.U.C.S} &= 1533.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso unitario compactado seco del agregado grueso)} \\ \text{Total} &= 891.59 \text{ kg (peso agregado grueso por m}^3 \text{ de concreto)} \end{aligned}$$

## 8. Volumen absoluto de los materiales para el concreto:

## 8.1 Volumen absoluto del cemento:

$$\begin{aligned} c &= 439.91 \text{ kg (peso del cemento por m}^3 \text{ de concreto)} \\ Y_c &= 3.10 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del cemento)} \\ Y_c &= 3100.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del cemento)} \\ \text{Vol. Abs. c.} &= 0.14 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del cemento)} \end{aligned}$$

## 8.2 Volumen absoluto del agregado grueso:

$$\begin{aligned} \text{Peso A.G.} &= 891.59 \text{ kg (peso del agregado grueso por m}^3 \text{ de concreto)} & 56.04 \text{ \%} \\ Y_{A.G.} &= 2.46 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del agregado grueso)} \\ Y_c &= 2457.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agregado grueso)} \\ \text{Vol. Abs. A.G.} &= 0.36 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agregado grueso)} \end{aligned}$$

## 8.3 Volumen absoluto del agua:

$$\begin{aligned} a &= 205.00 \text{ kg (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)} \\ Y_a &= 1000.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agua)} \\ \text{Vol. Abs. a} &= 0.21 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agua)} \end{aligned}$$

## 8.4 Volumen absoluto del aire atrapado:

$$\begin{aligned} \text{Aire} &= 2.00 \text{ \% (aire atrapado)} \\ \text{Vol. Abs. Aire} &= 0.020 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del aire)} \end{aligned}$$

## 8.5 Volumen absoluto del agregado fino:

$$\begin{aligned} \sum \text{Vol. Abs. A.F.} &= 0.73 \text{ m}^3 \text{ (sumatoria de volúmenes absolutos)} \\ m^3 C^o &= 1.00 \text{ m}^3 \text{ (volumen del concreto por m}^3 \text{)} \\ \text{Vol. Abs. a} &= 0.27 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agregado fino)} \\ Y_{A.F.} &= 2.59 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del agregado fino)} \\ Y_{A.F.} &= 2588.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agregado fino)} \\ \text{Peso A.F.} &= 699.31 \text{ kg (peso del agregado fino por m}^3 \text{ de concreto)} & 43.96 \text{ \%} \end{aligned}$$

## 9. Corrección de los agregados:

## 9.1 Por humedad:

$$\begin{aligned} \text{A.F.} &= 708.47 \text{ kg (corrección del agregado fino)} \\ \text{A.G.} &= 894.54 \text{ kg (corrección del agregado grueso)} \end{aligned}$$



## 9.2 Por absorción:

A.F. =	8.18	kg (corrección del agregado fino)
A.G. =	-5.53	kg (corrección del agregado grueso)
$\Sigma$ =	2.65	kg (agua libre)
$\Sigma$ =	2.65	l (agua libre)

## 10. Agua efectiva:

a ef. =	202.35	l (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	
a ef. =	202.35	kg (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	a/c (corregido) = 0.460

## 11. Cemento efectivo:

c ef. =	488.18	kg (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)
c.ef =	12.00	bls (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)

## 12. Proporciones:

12.1 Por pesos (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
A.F. =	1.45	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	1.83	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	17.62	(agua)
a/c =	0.460	(relación agua/cemento)

12.2 Por volumen (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
A.F. =	1.25	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	1.79	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	17.62	(agua)

## 12.3 Por bolsa de cemento (42.5 kg):

c =	42.50	kg (cemento)
A.F. =	61.68	kg/bls (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	77.88	kg/bls (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	19.55	l/bls (agua)

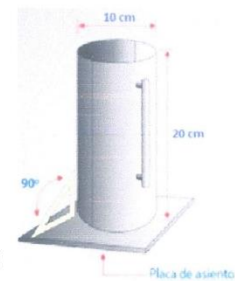
## 12.4 Para probetas cilíndricas:

Medidas de la probeta

H =	0.20	m (altura)
D =	0.10	m (diámetro)
Vol. =	0.0024	m <sup>3</sup> (volumen de probeta)
Nº =	15.00	(número de probetas)
Vol. Total =	0.04	m <sup>3</sup> (volumen de probetas)

Cantidades por número de probetas

c =	15.55	kg (cemento)
A.F. =	24.72	kg (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	31.51	kg (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	7.15	l (agua)



Chiclayo, 03 de noviembre del 2023



## Anexo 14. Diseño mezcla experimental por resistencia (1<sup>era</sup> adición)



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESISISTA : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 ENSAYO : Diseño de mezcla de concreto experimental sin aditivo (1<sup>era</sup> adición: 25% CMR + 75% GS)  
 REFERENCIA : Comité ACI 211.

### DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EXPERIMENTAL - ACI 211 (1<sup>era</sup> adición: 25% CMR + 75% GS) ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ )

<u>Datos generales</u>				<u>Datos del cemento</u>	
Construcción =	Pavimentos			Tipo =	Cemento
$f_c =$	280.00	$\text{kg/cm}^2$	(resistencia a la compresión del concreto)	Peso =	42.50
$\gamma_a =$	1000.00	$\text{kg/m}^3$	(peso específico del agua)	$\gamma_c =$	3.10
$a =$	Potable	l	(agua potable)	Mezcla =	Sin aire incorporado
CMR =	25.00	%	$\gamma_{\text{CMR}} = 2.214$	Sustitución =	20.00
GS =	75.00	%	$\gamma_{\text{GS}} = 3.158$		% (sustitución del cemento)
			$\text{g/cm}^3$		
			(p.esp.ceniza)		
			$\text{g/cm}^3$		
			(p.esp.gránulos)		

<u>Datos de agregados</u>		
<u>Agregado fino (arena gruesa)</u>		
Peso unitario suelto seco =	1519.00	$\text{kg/m}^3$
Peso unitario compactado seco =	1746.00	$\text{kg/m}^3$
Peso específico del agregado fino =	2.59	$\text{g/cm}^3$
Grado de absorción =	0.14	%
Contenido de humedad =	1.31	%
Módulo de fineza =	3.18	
Tamaño máximo nominal (TMN) =	-	in
Cantera de procedencia =	Tres Tomas de Ferreñafe	
<u>Agregado grueso (piedra chancada)</u>		
Peso unitario suelto seco =	1455.00	$\text{kg/m}^3$
Peso unitario compactado seco =	1533.00	$\text{kg/m}^3$
Peso específico del agregado grueso =	2.46	$\text{g/cm}^3$
Grado de absorción =	0.95	%
Contenido de humedad =	0.33	%
Módulo de fineza =	-	
Tamaño máximo nominal (TMN) =	0.75	in
Cantera de procedencia =	Tres Tomas de Ferreñafe	

#### 1. Resistencia a la compresión requerida ( $f'_{cr}$ ):

$$f_c = 280.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{cr} = 364.00 \text{ kg/cm}^2$$

#### 2. Selección del asentamiento:

$$\text{Asentamiento} = 3.00 \text{ in}$$

$$\text{Consistencia} = \text{Plástica (trabajable - vibración ligera chuseada)}$$

#### 3. Contenido de aire atrapado:

$$\text{TMN} = 0.75 \text{ in}$$

$$\text{Aire atrapado} = 2.00 \%$$

#### 4. Relación agua/cemento (a/c):

$$f_{cr} = 364.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{pH (1<sup>era</sup> adición)} = 12.56 \%$$

$$a/c = 0.592$$

#### 5. Peso del agua (a):

$$a = 205.00 \text{ l (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)}$$

$$a = 205.00 \text{ kg (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)}$$



## 6. Peso del cemento (c):

$$c = 346.52 \text{ kg (peso del cemento por m}^3 \text{ de concreto)}$$

## 6.1 Factor cemento (fc):

$$fc = 8.15 \text{ bls (factor cemento)}$$

## 7. Volumen del agregado grueso:

$$TMN = 0.75 \text{ in}$$

$$MF = 3.18 \text{ (módulo de fineza del agregado fino)}$$

$$\text{Volumen de agregado grueso} = 0.58 \text{ m}^3 \text{ (volumen del agregado grueso compactado seco)}$$

## 7.1 Peso total del agregado grueso (P.U.C.S):

$$P.U.C.S = 1533.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso unitario compactado seco del agregado grueso)}$$

$$\text{Total} = 891.59 \text{ kg (peso agregado grueso por m}^3 \text{ de concreto)}$$

## 8. Volumen absoluto de los materiales para el concreto:

## 8.1 Volumen absoluto del cemento:

$$c = 346.52 \text{ kg (peso del cemento por m}^3 \text{ de concreto)}$$

$$\gamma_c = 3.10 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del cemento)}$$

$$\gamma_c = 3100.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del cemento)}$$

$$\text{Vol. Abs. c.} = 0.11 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del cemento)}$$

## 8.2 Volumen absoluto del agregado grueso:

$$\text{Peso A.G} = 891.59 \text{ kg (peso del agregado grueso por m}^3 \text{ de concreto)} \quad 53.42 \quad \%$$

$$\gamma_{A.G} = 2.46 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del agregado grueso)}$$

$$\gamma_c = 2457.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agregado grueso)}$$

$$\text{Vol. Abs. A.G} = 0.36 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agregado grueso)}$$

## 8.3 Volumen absoluto del agua:

$$a = 205.00 \text{ kg (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)}$$

$$\gamma_a = 1000.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agua)}$$

$$\text{Vol. Abs. a} = 0.21 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agua)}$$

## 8.4 Volumen absoluto del aire atrapado:

$$\text{Aire} = 2.00 \quad \% \text{ (aire atrapado)}$$

$$\text{Vol. Abs. Aire} = 0.020 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del aire)}$$

## 8.5 Volumen absoluto del agregado fino:

$$\Sigma \text{ Vol. Abs. A.F.} = 0.70 \text{ m}^3 \text{ (sumatoria de volúmenes absolutos)}$$

$$m^3 C^o = 1.00 \text{ m}^3 \text{ (volumen del concreto por m}^3 \text{)}$$

$$\text{Vol. Abs. a} = 0.30 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agregado fino)}$$

$$\gamma_{A.F.} = 2.59 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del agregado fino)}$$

$$\gamma_{A.F.} = 2588.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agregado fino)}$$

$$\text{Peso A.F.} = 777.28 \text{ kg (peso del agregado fino por m}^3 \text{ de concreto)} \quad 46.58 \quad \%$$

## 9. Corrección de los agregados:

## 9.1 Por humedad:

$$A.F. = 787.47 \text{ kg (corrección del agregado fino)}$$

$$A.G. = 894.54 \text{ kg (corrección del agregado grueso)}$$

$$46.82 \quad \%$$

$$53.18 \quad \%$$



9.2 Por absorción:

A.F. =	9.09	kg (corrección del agregado fino)
A.G. =	-5.53	kg (corrección del agregado grueso)
Σ =	3.57	kg (agua libre)
Σ =	3.57	l (agua libre)

10. Agua efectiva:

a ef. =	201.43	l (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	
a ef. =	201.43	kg (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	a/c (corregido) = 0.581

11. Cemento efectivo:

c ef. =	395.15	kg (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)
c.ef =	10.00	bls (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)

12. Proporciones:

12.1 Por pesos (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
c =	0.80	(cemento sustituido en 20%)
CMR =	0.05	(ceniza de madera roble)
GS =	0.15	(gránulos de silicio)
A.F. =	1.99	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	2.26	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	21.66	(agua)
a/c =	0.581	(relación agua/cemento)

12.2 Por volumen (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
c =	0.80	(cemento sustituido en 20%)
CMR =	0.05	(ceniza de madera roble)
GS =	0.15	(gránulos de silicio)
A.F. =	1.71	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	2.22	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	21.66	(agua)

12.3 Por bolsa de cemento (42.5 kg):

c =	42.50	kg (cemento)
c =	34.00	kg (cemento sustituido en 20%)
CMR =	2.13	kg (ceniza de madera roble)
GS =	6.38	kg (gránulos de silicio)
A.F. =	84.69	kg/bls (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	96.21	kg/bls (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	24.71	l/bls (agua)

12.4 Para probetas cilíndricas:

Medidas de la probeta

H =	0.20	m (altura)
D =	0.10	m (diámetro)
Vol. =	0.0024	m <sup>3</sup> (volumen de probeta)
N <sup>o</sup> =	15.00	(número de probetas)
Vol. Total =	0.04	m <sup>3</sup> (volumen de probetas)

Cantidades por número de probetas

c =	12.25	kg (cemento)
c =	9.80	kg (cemento sustituido en 20%)
CMR =	0.61	kg (ceniza de madera roble)
GS =	1.84	kg (gránulos de silicio)
A.F. =	27.47	kg (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	31.51	kg (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	7.12	l (agua)



## Anexo 15. Experimental por resistencia (2<sup>da</sup> adición)



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESISISTA : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 ENSAYO : Diseño de mezcla de concreto experimental sin aditivo (2<sup>da</sup> adición: 50% CMR + 50% GS)  
 REFERENCIA: Comité ACI 211.

### DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EXPERIMENTAL - ACI 211 (2<sup>da</sup> adición: 50% CMR + 50% GS) ( $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ )

<u>Datos generales</u>			<u>Datos del cemento</u>		
Construcción =	Pavimentos		Tipo =	Cemento	
$f'_c =$	280.00	kg/cm <sup>2</sup> (resistencia a la compresión del concreto)	Peso =	42.50	kg (peso de la bolsa de cemento)
$\gamma_a =$	1000.00	kg/m <sup>3</sup> (peso específico del agua)	$\gamma_c =$	3.10	g/cm <sup>3</sup> (peso específico del cemento)
a =	Potable l (agua potable)		Mezcla = Sin aire incorporado		
CMR =	50.00	% $\gamma_{CMR} = 2.214$ g/cm <sup>3</sup> (p.esp.ceniza)	Sustitución =	20.00	% (sustitución del cemento)
GS =	50.00	% $\gamma_{GS} = 3.158$ g/cm <sup>3</sup> (p.esp.gránulos)			

<u>Datos de agregados</u>			<u>Datos de agregados</u>		
<u>Agregado fino (arena gruesa)</u>			<u>Agregado grueso (piedra chancada)</u>		
Peso unitario suelto seco =	1519.00	kg/m <sup>3</sup>	Peso unitario suelto seco =	1455.00	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado seco =	1746.00	kg/m <sup>3</sup>	Peso unitario compactado seco =	1533.00	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agregado fino =	2.59	g/cm <sup>3</sup>	Peso específico del agregado grueso =	2.46	g/cm <sup>3</sup>
Grado de absorción =	0.14	%	Grado de absorción =	0.95	%
Contenido de humedad =	1.31	%	Contenido de humedad =	0.33	%
Módulo de finiza =	3.18		Módulo de finiza =	-	
Tamaño máximo nominal (TMN) =	-	in	Tamaño máximo nominal (TMN) =	0.75	in
Cantera de procedencia =	Tres Tomas de Ferreñafe		Cantera de procedencia =	Tres Tomas de Ferreñafe	

#### 1. Resistencia a la compresión requerida ( $f'_cr$ ):

$$f'_c = 280.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_cr = 364.00 \text{ kg/cm}^2$$

#### 2. Selección del asentamiento:

$$\text{Asentamiento} = 3.00 \text{ in}$$

$$\text{Consistencia} = \text{Plástica (trabajable - vibración ligera chuscada)}$$

#### 3. Contenido de aire atrapado:

$$\text{TMN} = 0.75 \text{ in}$$

$$\text{Aire atrapado} = 2.00 \%$$

#### 4. Relación agua/cemento (a/c):

$$f'_cr = 364.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{pH (2<sup>da</sup> adición)} = 12.57 \%$$

$$a/c = 0.592$$

#### 5. Peso del agua (a):

$$a = 205.00 \text{ l (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)}$$

$$a = 205.00 \text{ kg (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)}$$



## 6. Peso del cemento (c):

$$c = 346.46 \text{ kg (peso del cemento por m}^3 \text{ de concreto)}$$

## 6.1 Factor cemento (fc):

$$fc = 8.15 \text{ bls (factor cemento)}$$

## 7. Volumen del agregado grueso:

$$TMN = 0.75 \text{ in}$$

$$MF = 3.18 \text{ (módulo de finza del agregado fino)}$$

$$\text{Volumen de agregado grueso} = 0.58 \text{ m}^3 \text{ (volumen del agregado grueso compactado seco)}$$

## 7.1 Peso total del agregado grueso (P.U.C.S):

$$P.U.C.S = 1533.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso unitario compactado seco del agregado grueso)}$$

$$\text{Total} = 891.59 \text{ kg (peso agregado grueso por m}^3 \text{ de concreto)}$$

## 8. Volumen absoluto de los materiales para el concreto:

## 8.1 Volumen absoluto del cemento:

$$c = 346.46 \text{ kg (peso del cemento por m}^3 \text{ de concreto)}$$

$$\gamma_c = 3.10 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del cemento)}$$

$$\gamma_c = 3100.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del cemento)}$$

$$\text{Vol. Abs. c.} = 0.11 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del cemento)}$$

## 8.2 Volumen absoluto del agregado grueso:

$$\text{Peso A.G} = 891.59 \text{ kg (peso del agregado grueso por m}^3 \text{ de concreto)} \quad 53.42 \quad \%$$

$$\gamma_{A.G} = 2.46 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del agregado grueso)}$$

$$\gamma_c = 2457.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agregado grueso)}$$

$$\text{Vol. Abs. A.G} = 0.36 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agregado grueso)}$$

## 8.3 Volumen absoluto del agua:

$$a = 205.00 \text{ kg (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)}$$

$$\gamma_a = 1000.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agua)}$$

$$\text{Vol. Abs. a} = 0.21 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agua)}$$

## 8.4 Volumen absoluto del aire atrapado:

$$\text{Aire} = 2.00 \quad \% \text{ (aire atrapado)}$$

$$\text{Vol. Abs. Aire} = 0.020 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del aire)}$$

## 8.5 Volumen absoluto del agregado fino:

$$\sum \text{Vol. Abs. A.F.} = 0.70 \text{ m}^3 \text{ (sumatoria de volúmenes absolutos)}$$

$$m^3 C^o = 1.00 \text{ m}^3 \text{ (volumen del concreto por m}^3 \text{)}$$

$$\text{Vol. Abs. a} = 0.30 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agregado fino)}$$

$$\gamma_{A.F.} = 2.59 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del agregado fino)}$$

$$\gamma_{A.F.} = 2588.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agregado fino)}$$

$$\text{Peso A.F.} = 777.33 \text{ kg (peso del agregado fino por m}^3 \text{ de concreto)} \quad 46.58 \quad \%$$

## 9. Corrección de los agregados:

## 9.1 Por humedad:

$$A.F. = 787.52 \text{ kg (corrección del agregado fino)}$$

$$A.G. = 894.54 \text{ kg (corrección del agregado grueso)}$$



## 9.2 Por absorción:

A.F. =	9.09	kg (corrección del agregado fino)
A.G. =	-5.53	kg (corrección del agregado grueso)
$\Sigma$ =	3.57	kg (agua libre)
$\Sigma$ =	3.57	l (agua libre)

## 10. Agua efectiva:

a ef. =	201.43	l (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	
a ef. =	201.43	kg (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	a/c (corregido) = 0.581

## 11. Cemento efectivo:

c ef. =	395.09	kg (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)
c.ef =	10.00	bls (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)

## 12. Proporciones:

12.1 Por pesos (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
c =	0.80	(cemento sustituido en 20%)
CMR =	0.10	(ceniza de madera roble)
GS =	0.10	(gránulos de silicio)
A.F. =	1.99	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	2.26	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	21.67	(agua)
a/c =	0.581	(relación agua/cemento)

12.2 Por volumen (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
c =	0.80	(cemento sustituido en 20%)
CMR =	0.10	(ceniza de madera roble)
GS =	0.10	(gránulos de silicio)
A.F. =	1.71	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	2.22	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	21.67	(agua)

## 12.3 Por bolsa de cemento (42.5 kg):

c =	42.50	kg (cemento)
c =	34.00	kg (cemento sustituido en 20%)
CMR =	4.25	kg (ceniza de madera roble)
GS =	4.25	kg (gránulos de silicio)
A.F. =	84.71	kg/bls (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	96.22	kg/bls (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	24.71	l/bls (agua)

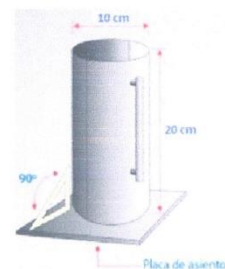
## 12.4 Para probetas cilíndricas:

Medidas de la probeta

H =	0.20	m (altura)
D =	0.10	m (diámetro)
Vol. =	0.0024	m <sup>3</sup> (volumen de probeta)
Nº =	15.00	(número de probetas)
Vol. Total =	0.04	m <sup>3</sup> (volumen de probetas)

Cantidades por número de probetas

c =	12.24	kg (cemento)
c =	9.80	kg (cemento sustituido en 20%)
CMR =	1.22	kg (ceniza de madera roble)
GS =	1.22	kg (gránulos de silicio)
A.F. =	27.47	kg (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	31.51	kg (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	7.12	l (agua)



Chiclayo, 03 de noviembre del 2023

## Anexo 16. Mezcla experimental resistencia (3<sup>era</sup> adición)



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
TESISTA : Marcos Luis Chuquín Vergara  
TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
ENSAYO : Diseño de mezcla de concreto experimental sin aditivo (3<sup>era</sup> adición: 75% CMR + 25% GS)  
REFERENCIA : Comité ACI 211.

### DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EXPERIMENTAL - ACI 211 (3<sup>era</sup> adición: 50% CMR + 50% GS) ( $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ )

<u>Datos generales</u>				<u>Datos del cemento</u>	
Construcción =	Pavimentos			Tipo =	Cemento
$f_c =$	280.00	$\text{kg/cm}^2$ (resistencia a la compresión del concreto)		Peso =	42.50 kg (peso de la bolsa de cemento)
$\gamma_a =$	1000.00	$\text{kg/m}^3$ (peso específico del agua)		$\gamma_c =$	3.10 $\text{g/cm}^3$ (peso específico del cemento)
a =	Potable	l (agua potable)		Mezcla =	Sin aire incorporado
CMR =	75.00	% $\gamma_{\text{CMR}} = 2.214$	$\text{g/cm}^3$ (p.esp.ceniza)	Sustitución =	20.00 % (sustitución del cemento)
GS =	25.00	% $\gamma_{\text{GS}} = 3.158$	$\text{g/cm}^3$ (p.esp.gránulos)		

<u>Datos de agregados</u>			<u>Datos de agregados</u>		
<u>Agregado fino (arena gruesa)</u>			<u>Agregado grueso (piedra chancada)</u>		
Peso unitario suelto seco =	1519.00	$\text{kg/m}^3$	Peso unitario suelto seco =	1455.00	$\text{kg/m}^3$
Peso unitario compactado seco =	1746.00	$\text{kg/m}^3$	Peso unitario compactado seco =	1533.00	$\text{kg/m}^3$
Peso específico del agregado fino =	2.59	$\text{g/cm}^3$	Peso específico del agregado grueso =	2.46	$\text{g/cm}^3$
Grado de absorción =	0.14	%	Grado de absorción =	0.95	%
Contenido de humedad =	1.31	%	Contenido de humedad =	0.33	%
Módulo de finiza =	3.18		Módulo de finiza =	-	
Tamaño máximo nominal (TMN) =	-	in	Tamaño máximo nominal (TMN) =	0.75	in
Cantera de procedencia =	Tres Tomas de Ferreñafe		Cantera de procedencia =	Tres Tomas de Ferreñafe	

#### 1. Resistencia a la compresión requerida ( $f_{cr}$ ):

$$f_c = 280.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{cr} = 364.00 \text{ kg/cm}^2$$

#### 2. Selección del asentamiento:

$$\text{Asentamiento} = 3.00 \text{ in}$$

$$\text{Consistencia} = \text{Plástica (trabajable - vibración ligera chuseada)}$$

#### 3. Contenido de aire atrapado:

$$\text{TMN} = 0.75 \text{ in}$$

$$\text{Aire atrapado} = 2.00 \%$$

#### 4. Relación agua/cemento (a/c):

$$f_{cr} = 364.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{pH (3<sup>era</sup> adición)} = 12.61 \%$$

$$a/c = 0.592$$

#### 5. Peso del agua (a):

$$a = 205.00 \text{ l (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)}$$

$$a = 205.00 \text{ kg (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)}$$



## 6. Peso del cemento (c):

$$c = 346.23 \text{ kg (peso del cemento por m}^3 \text{ de concreto)}$$

## 6.1 Factor cemento (fc):

$$f_c = 8.15 \text{ bls (factor cemento)}$$

## 7. Volumen del agregado grueso:

$$TMN = 0.75 \text{ in}$$

$$MF = 3.18 \text{ (módulo de finza del agregado fino)}$$

$$\text{Volumen de agregado grueso} = 0.58 \text{ m}^3 \text{ (volumen del agregado grueso compactado seco)}$$

## 7.1 Peso total del agregado grueso (P.U.C.S):

$$P.U.C.S = 1533.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso unitario compactado seco del agregado grueso)}$$

$$\text{Total} = 891.59 \text{ kg (peso agregado grueso por m}^3 \text{ de concreto)}$$

## 8. Volumen absoluto de los materiales para el concreto:

## 8.1 Volumen absoluto del cemento:

$$c = 346.23 \text{ kg (peso del cemento por m}^3 \text{ de concreto)}$$

$$\gamma_c = 3.10 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del cemento)}$$

$$\gamma_c = 3100.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del cemento)}$$

$$\text{Vol. Abs. c.} = 0.11 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del cemento)}$$

## 8.2 Volumen absoluto del agregado grueso:

$$\text{Peso A.G.} = 891.59 \text{ kg (peso del agregado grueso por m}^3 \text{ de concreto)} \quad 53.42 \quad \%$$

$$\gamma_{A.G.} = 2.46 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del agregado grueso)}$$

$$\gamma_c = 2457.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agregado grueso)}$$

$$\text{Vol. Abs. A.G.} = 0.36 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agregado grueso)}$$

## 8.3 Volumen absoluto del agua:

$$a = 205.00 \text{ kg (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)}$$

$$\gamma_a = 1000.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agua)}$$

$$\text{Vol. Abs. a} = 0.21 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agua)}$$

## 8.4 Volumen absoluto del aire atrapado:

$$\text{Aire} = 2.00 \quad \% \text{ (aire atrapado)}$$

$$\text{Vol. Abs. Aire} = 0.020 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del aire)}$$

## 8.5 Volumen absoluto del agregado fino:

$$\sum \text{Vol. Abs. A.F.} = 0.70 \text{ m}^3 \text{ (sumatoria de volúmenes absolutos)}$$

$$m^3 C^o = 1.00 \text{ m}^3 \text{ (volumen del concreto por m}^3 \text{)}$$

$$\text{Vol. Abs. a} = 0.30 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agregado fino)}$$

$$\gamma_{A.F.} = 2.59 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del agregado fino)}$$

$$\gamma_{A.F.} = 2588.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agregado fino)}$$

$$\text{Peso A.F.} = 777.53 \text{ kg (peso del agregado fino por m}^3 \text{ de concreto)} \quad 46.58 \quad \%$$

## 9. Corrección de los agregados:

## 9.1 Por humedad:

$$A.F. = 787.71 \text{ kg (corrección del agregado fino)}$$

$$A.G. = 894.54 \text{ kg (corrección del agregado grueso)}$$



## 9.2 Por absorción:

A.F. =	9.10	kg (corrección del agregado fino)
A.G. =	-5.53	kg (corrección del agregado grueso)
$\Sigma$ =	3.57	kg (agua libre)
$\Sigma$ =	3.57	l (agua libre)

## 10. Agua efectiva:

a ef. =	201.43	l (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	
a ef. =	201.43	kg (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	a/c (corregido) = 0.582

## 11. Cemento efectivo:

c ef. =	394.86	kg (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)
c.ef =	10.00	bls (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)

## 12. Proporciones:

12.1 Por pesos (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
c =	0.80	(cemento sustituido en 20%)
CMR =	0.15	(ceniza de madera roble)
GS =	0.05	(gránulos de silicio)
A.F. =	1.99	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	2.27	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	21.68	(agua)
a/c =	0.582	(relación agua/cemento)

12.2 Por volumen (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
c =	0.80	(cemento sustituido en 20%)
CMR =	0.15	(ceniza de madera roble)
GS =	0.05	(gránulos de silicio)
A.F. =	1.71	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	2.22	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	21.68	(agua)

## 12.3 Por bolsa de cemento (42.5 kg):

c =	42.50	kg (cemento)
c =	34.00	kg (cemento sustituido en 20%)
CMR =	6.38	kg (ceniza de madera roble)
GS =	2.13	kg (gránulos de silicio)
A.F. =	84.78	kg/bls (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	96.28	kg/bls (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	24.73	l/bls (agua)

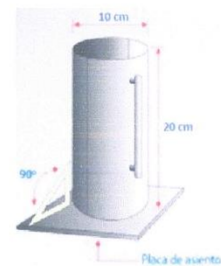
## 12.4 Para probetas cilíndricas:

Medidas de la probeta

H =	0.20	m (altura)
D =	0.10	m (diámetro)
Vol. =	0.0024	m <sup>3</sup> (volumen de probeta)
Nº =	<b>15.00</b>	(número de probetas)
Vol. Total =	0.04	m <sup>3</sup> (volumen de probetas)

Cantidades por número de probetas

c =	12.24	kg (cemento)
c =	9.79	kg (cemento sustituido en 20%)
CMR =	1.84	kg (ceniza de madera roble)
GS =	0.61	kg (gránulos de silicio)
A.F. =	27.48	kg (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	31.51	kg (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	7.12	l (agua)



Chiclayo, 03 de noviembre del 2023



## Anexo 17. Informe por resistencia diseño de mezcla convencional y experimental



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 ENSAYO : Diseño de mezcla de concreto convencional y experimental sin aditivo  
 REFERENCIA : Comité ACI 211.

Dosificaciones para diseños de mezclas de concreto convencional y experimental								
Descripción	Por pesos (L/pie <sup>3</sup> )				Por volumen (L/pie <sup>3</sup> )			
	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición
c =	1.00	0.80	0.80	0.80	1.00	0.80	0.80	0.80
CMR =	-	0.05	0.10	0.15	-	0.05	0.10	0.15
GS =	-	0.15	0.10	0.05	-	0.15	0.10	0.05
A.F. =	1.45	1.99	1.99	1.99	1.25	1.71	1.71	1.71
A.G. =	1.83	2.26	2.26	2.27	1.79	2.22	2.22	2.22
a =	17.62	21.66	21.67	21.68	17.62	21.66	21.67	21.68

Leyenda:

c = Cemento (bls)  
 CMR = Cenizas de madera roble  
 GS = Gránulos de silicio  
 A.F. = Agregado fino (arena gruesa)  
 A.G. = Agregado grueso (piedra chancada)  
 a = Agua

Relaciones agua/cemento y factores cemento del concreto convencional y experimental						
Mezcla	a/c	a/c correg.	F.C (bls)	F.C correg. (bls)	F.C c/desp. (15%)(bls)	
Convencional	0.466	0.460	10.35	12.00	14.00	
1 <sup>era</sup> adición (25% CMR + 75% GS)	0.592	0.581	8.15	10.00	12.00	
2 <sup>da</sup> adición (50% CMR + 50% GS)	0.592	0.581	8.15	10.00	12.00	
3 <sup>era</sup> adición (75% CMR + 25% GS)	0.592	0.582	8.15	10.00	12.00	

Leyenda:

a/c = Relación agua/cemento  
 F.C = Factor cemento  
 CMR = Cenizas de madera roble  
 GS = Gránulos de silicio



Cantidades requeridas para diseños de mezclas de concreto convencional y experimental								
Descripción	Por bolsa de cemento (42.5 kg)				Por número de probetas (kg)			
	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición
c =	42.50	34.00	34.00	34.00	15.55	9.80	9.80	9.79
CMR =	-	2.13	4.25	6.38	-	0.61	1.22	1.84
GS =	-	6.38	4.25	2.13	-	1.84	1.22	0.61
A.F. =	61.68	84.69	84.71	84.78	24.72	27.47	27.47	27.48
A.G. =	77.88	96.21	96.22	96.28	31.51	31.51	31.51	31.51
a =	19.55	24.71	24.71	24.73	7.15	7.12	7.12	7.12

Leyenda:

- c = Cemento total o parcialmente sustituido en 20% (kg)  
 CMR = Cenizas de madera roble (kg)  
 GS = Gránulos de silicio (kg)  
 A.F. = Agregado fino (arena gruesa) (kg)  
 A.G. = Agregado grueso (piedra chancada) (kg)  
 a = Agua (lbs)

Pesos unitarios del concreto convencional y experimental				
Peso unitario	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición
Teórico (kg/m <sup>3</sup> )	2237.82	2222.39	2222.38	2222.35
Corregido (kg/m <sup>3</sup> )	2293.54	2278.59	2278.58	2278.54
Por rotura a la compresión (kg/m <sup>3</sup> )	2383.91	2358.27	2316.50	2296.22

Chiclayo, 04 de diciembre del 2023



## Anexo 18. Tradicional por durabilidad



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESIS : Marcos Luis Chuquilín Vergara  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 ENSAYO : Diseño de mezcla de concreto convencional sin aditivo  
 REFERENCIA : Comité ACI 211.

### DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CONVENCIONAL - ACI 211 ( $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ )

<u>Datos generales</u>		<u>Datos del cemento</u>	
Construcción = Pavimentos		Tipo = Cemento	
$f'_c = 280.00 \text{ kg/cm}^2$ (resistencia a la compresión del concreto)		Peso = 42.50 kg (peso de la bolsa de cemento)	
$\gamma_a = 1000.00 \text{ kg/m}^3$ (peso específico del agua)		$\gamma_c = 3.10 \text{ g/cm}^3$ (peso específico del cemento)	
a = Potable l (agua potable)		Mezcla = Sin aire incorporado	

<u>Datos de agregados</u>	
<u>Agregado fino (arena gruesa)</u>	<u>Agregado grueso (piedra chancada)</u>
Peso unitario suelto seco = <b>1519.00</b> $\text{kg/m}^3$	Peso unitario suelto seco = <b>1455.00</b> $\text{kg/m}^3$
Peso unitario compactado seco = <b>1746.00</b> $\text{kg/m}^3$	Peso unitario compactado seco = <b>1533.00</b> $\text{kg/m}^3$
Peso específico del agregado fino = <b>2.59</b> $\text{g/cm}^3$	Peso específico del agregado grueso = <b>2.46</b> $\text{g/cm}^3$
Grado de absorción = <b>0.14</b> %	Grado de absorción = <b>0.95</b> %
Contenido de humedad = <b>1.31</b> %	Contenido de humedad = <b>0.33</b> %
Módulo de finza = <b>3.18</b>	Módulo de finza = -
Tamaño máximo nominal (TMN) = - in	Tamaño máximo nominal (TMN) = <b>0.75</b> in
Cantera de procedencia = Tres Tomas de Ferreñafe	Cantera de procedencia = Tres Tomas de Ferreñafe

#### 1. Resistencia a la compresión requerida ( $f'_{cr}$ ):

$f'_c = 280.00 \text{ kg/cm}^2$   
 $f'_{cr} = 364.00 \text{ kg/cm}^2$

#### 2. Selección del asentamiento:

Asentamiento = 3.00 in  
 Consistencia = Plástica (trabajable - vibración ligera chuseada)

#### 3. Contenido de aire atrapado:

TMN = 0.75 in  
 Aire atrapado = **2.00** %

#### 4. Relación agua/cemento (a/c):

$f'_{cr} = 364.00 \text{ kg/cm}^2$   
 $a/c = \mathbf{0.50}$  (Exposición moderada a sulfatos) (Martínez Santos Jorge Luis: 106.80 ppm en el suelo) (Pérez Gonzales D. & Llauce Dávila Y.: 524 ppm en suelo arenoso)

#### 5. Peso del agua (a):

a = **205.00** l (peso del agua por  $\text{m}^3$  de concreto)  
 a = 205.00 kg (peso del agua por  $\text{m}^3$  de concreto)



## 6. Peso del cemento (c):

$$c = 410.00 \text{ kg (peso del cemento por m}^3 \text{ de concreto)}$$

## 6.1 Factor cemento (fc):

$$fc = 9.65 \text{ bls (factor cemento)}$$

## 7. Volumen del agregado grueso:

$$TMN = 0.75 \text{ in}$$

$$MF = 3.18 \text{ (módulo de fineza del agregado fino)}$$

$$\text{Volumen de agregado grueso} = 0.58 \text{ m}^3 \text{ (volumen del agregado grueso compactado seco)}$$

## 7.1 Peso total del agregado grueso (P.U.C.S):

$$P.U.C.S = 1533.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso unitario compactado seco del agregado grueso)}$$

$$\text{Total} = 891.59 \text{ kg (peso agregado grueso por m}^3 \text{ de concreto)}$$

## 8. Volumen absoluto de los materiales para el concreto:

## 8.1 Volumen absoluto del cemento:

$$c = 410.00 \text{ kg (peso del cemento por m}^3 \text{ de concreto)}$$

$$Y_c = 3.10 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del cemento)}$$

$$Y_c = 3100.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del cemento)}$$

$$\text{Vol. Abs. c.} = 0.13 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del cemento)}$$

## 8.2 Volumen absoluto del agregado grueso:

$$\text{Peso A.G} = 891.59 \text{ kg (peso del agregado grueso por m}^3 \text{ de concreto)} \quad 55.18 \quad \%$$

$$Y_{A.G} = 2.46 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del agregado grueso)}$$

$$Y_c = 2457.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agregado grueso)}$$

$$\text{Vol. Abs. A.G} = 0.36 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agregado grueso)}$$

## 8.3 Volumen absoluto del agua:

$$a = 205.00 \text{ kg (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)}$$

$$Y_a = 1000.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agua)}$$

$$\text{Vol. Abs. a} = 0.21 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agua)}$$

## 8.4 Volumen absoluto del aire atrapado:

$$\text{Aire} = 2.00 \quad \% \text{ (aire atrapado)}$$

$$\text{Vol. Abs. Aire} = 0.020 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del aire)}$$

## 8.5 Volumen absoluto del agregado fino:

$$\sum \text{Vol. Abs. A.F.} = 0.72 \text{ m}^3 \text{ (sumatoria de volúmenes absolutos)}$$

$$\text{m}^3 \text{ C}^\circ = 1.00 \text{ m}^3 \text{ (volumen del concreto por m}^3 \text{)}$$

$$\text{Vol. Abs. a} = 0.28 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agregado fino)}$$

$$Y_{A.F.} = 2.59 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del agregado fino)}$$

$$Y_{A.F.} = 2588.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agregado fino)}$$

$$\text{Peso A.F.} = 724.29 \text{ kg (peso del agregado fino por m}^3 \text{ de concreto)} \quad 44.82 \quad \%$$

## 9. Corrección de los agregados:

## 9.1 Por humedad:

$$A.F. = 733.77 \text{ kg (corrección del agregado fino)}$$

$$A.G. = 894.54 \text{ kg (corrección del agregado grueso)}$$



## 9.2 Por absorción:

A.F. =	8.47	kg (corrección del agregado fino)
A.G. =	-5.53	kg (corrección del agregado grueso)
$\Sigma$ =	2.95	kg (agua libre)
$\Sigma$ =	2.95	l (agua libre)

## 10. Agua efectiva:

a ef. =	202.05	l (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	
a ef. =	202.05	kg (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	a/c (corregido) = 0.493

## 11. Cemento efectivo:

c ef. =	458.48	kg (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)
c.ef. =	11.00	bls (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)

## 12. Proporciones:

12.1 Por pesos (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
A.F. =	1.60	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	1.95	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	18.73	(agua)
a/c =	0.493	(relación agua/cemento)

12.2 Por volumen (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
A.F. =	1.38	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	1.91	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	18.73	(agua)

## 12.3 Por bolsa de cemento (42.5 kg):

c =	42.50	kg (cemento)
A.F. =	68.02	kg/bls (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	82.92	kg/bls (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	20.94	l/bls (agua)

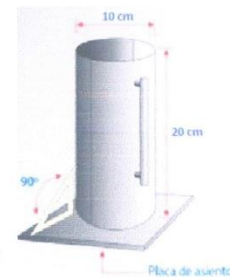
## 12.4 Para probetas cilíndricas:

Medidas de la probeta

H =	0.20	m (altura)
D =	0.10	m (diámetro)
Vol. =	0.0024	m <sup>3</sup> (volumen de probeta)
N° =	<b>15.00</b>	(número de probetas)
Vol. Total =	0.04	m <sup>3</sup> (volumen de probetas)

Cantidades por número de probetas

c =	14.49	kg (cemento)
A.F. =	25.60	kg (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	31.51	kg (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	7.14	l (agua)



Chiclayo, 03 de noviembre del 2023



## Anexo 19. Diseño mezcla experimental durabilidad (1<sup>era</sup> adición)



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESISISTA : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 ENSAYO : Diseño de mezcla de concreto experimental sin aditivo (1<sup>era</sup> adición: 25% CMR + 75% GS)  
 REFERENCIA : Comité ACI 211.

### DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EXPERIMENTAL - ACI 211 (1<sup>era</sup> adición: 25% CMR + 75% GS) ( $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ )

<u>Datos generales</u>			<u>Datos del cemento</u>		
Construcción = Pavimentos			Tipo =	Cemento	
$f_c = 280.00$	$\text{kg/cm}^2$ (resistencia a la compresión del concreto)		Peso =	42.50	kg (peso de la bolsa de cemento)
$\gamma_a = 1000.00$	$\text{kg/m}^3$ (peso específico del agua)		$\gamma_c = 3.10$	$\text{g/cm}^3$ (peso específico del cemento)	
a = Potable	l (agua potable)		Mezcla =	Sin aire incorporado	
CMR = 25.00	% $\gamma_{\text{CMR}} = 2.214$	$\text{g/cm}^3$ (p.esp.ceniza)	Sustitución =	20.00	% (sustitución del cemento)
GS = 75.00	% $\gamma_{\text{GS}} = 3.158$	$\text{g/cm}^3$ (p.esp.gránulos)			

<u>Datos de agregados</u>					
<u>Agregado fino (arena gruesa)</u>		<u>Agregado grueso (piedra chancada)</u>			
Peso unitario suelto seco =	<b>1519.00</b>	$\text{kg/m}^3$	Peso unitario suelto seco =	<b>1455.00</b>	$\text{kg/m}^3$
Peso unitario compactado seco =	<b>1746.00</b>	$\text{kg/m}^3$	Peso unitario compactado seco =	<b>1533.00</b>	$\text{kg/m}^3$
Peso específico del agregado fino =	<b>2.59</b>	$\text{g/cm}^3$	Peso específico del agregado grueso =	<b>2.46</b>	$\text{g/cm}^3$
Grado de absorción =	<b>0.14</b>	%	Grado de absorción =	<b>0.95</b>	%
Contenido de humedad =	<b>1.31</b>	%	Contenido de humedad =	<b>0.33</b>	%
Módulo de fineza =	<b>3.18</b>		Módulo de fineza =	-	
Tamaño máximo nominal (TMN) =	-	in	Tamaño máximo nominal (TMN) =	<b>0.75</b>	in
Cantera de procedencia =	Tres Tomas de Ferreñafe		Cantera de procedencia =	Tres Tomas de Ferreñafe	

#### 1. Resistencia a la compresión requerida ( $f_{cr}$ ):

$$f_c = 280.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{cr} = 364.00 \text{ kg/cm}^2$$

#### 2. Selección del asentamiento:

Asentamiento = 3.00 in  
 Consistencia = Plástica (trabajable - vibración ligera chuseada)

#### 3. Contenido de aire atrapado:

TMN = 0.75 in  
 Aire atrapado = **2.00** %

#### 4. Relación agua/cemento (a/c):

$f_{cr} = 364.00 \text{ kg/cm}^2$   
 $\text{pH (1}^{\text{era}} \text{ adición)} = 12.56$  %  
 $a/c = 0.626$  (Exposición moderada a sulfatos) (Martínez Santos Jorge et al.: 106.80 ppm en suelo) (Pérez Gonzales D. & Llauce Dávila Y.: 524 ppm en suelo arenoso)

#### 5. Peso del agua (a):

a = **205.00** l (peso del agua por  $\text{m}^3$  de concreto)  
 a = 205.00 kg (peso del agua por  $\text{m}^3$  de concreto)



## 6. Peso del cemento (c):

$$c = 327.69 \text{ kg (peso del cemento por m}^3 \text{ de concreto)}$$

## 6.1 Factor cemento (fc):

$$f_c = 7.71 \text{ bls (factor cemento)}$$

## 7. Volumen del agregado grueso:

$$\begin{aligned} \text{TMN} &= 0.75 \text{ in} \\ \text{MF} &= 3.18 \text{ (módulo de finza del agregado fino)} \\ \text{Volumen de agregado grueso} &= \mathbf{0.58} \text{ m}^3 \text{ (volumen del agregado grueso compactado seco)} \end{aligned}$$

## 7.1 Peso total del agregado grueso (P.U.C.S):

$$\begin{aligned} \text{P.U.C.S} &= 1533.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso unitario compactado seco del agregado grueso)} \\ \text{Total} &= 891.59 \text{ kg (peso agregado grueso por m}^3 \text{ de concreto)} \end{aligned}$$

## 8. Volumen absoluto de los materiales para el concreto:

## 8.1 Volumen absoluto del cemento:

$$\begin{aligned} c &= 327.69 \text{ kg (peso del cemento por m}^3 \text{ de concreto)} \\ \gamma_c &= 3.10 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del cemento)} \\ \gamma_c &= 3100.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del cemento)} \\ \text{Vol. Abs. c.} &= 0.11 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del cemento)} \end{aligned}$$

## 8.2 Volumen absoluto del agregado grueso:

$$\begin{aligned} \text{Peso A.G.} &= 891.59 \text{ kg (peso del agregado grueso por m}^3 \text{ de concreto)} & 52.93 \text{ \%} \\ \gamma_{A.G.} &= 2.46 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del agregado grueso)} \\ \gamma_c &= 2457.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agregado grueso)} \\ \text{Vol. Abs. A.G.} &= 0.36 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agregado grueso)} \end{aligned}$$

## 8.3 Volumen absoluto del agua:

$$\begin{aligned} a &= 205.00 \text{ kg (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)} \\ \gamma_a &= 1000.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agua)} \\ \text{Vol. Abs. a} &= 0.21 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agua)} \end{aligned}$$

## 8.4 Volumen absoluto del aire atrapado:

$$\begin{aligned} \text{Aire} &= 2.00 \text{ \% (aire atrapado)} \\ \text{Vol. Abs. Aire} &= 0.020 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del aire)} \end{aligned}$$

## 8.5 Volumen absoluto del agregado fino:

$$\begin{aligned} \sum \text{Vol. Abs. A.F.} &= 0.69 \text{ m}^3 \text{ (sumatoria de volúmenes absolutos)} \\ \text{m}^3 \text{ C}^\circ &= 1.00 \text{ m}^3 \text{ (volumen del concreto por m}^3 \text{)} \\ \text{Vol. Abs. a} &= 0.31 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agregado fino)} \\ \gamma_{A.F.} &= 2.59 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del agregado fino)} \\ \gamma_{A.F.} &= 2588.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agregado fino)} \\ \text{Peso A.F.} &= 793.01 \text{ kg (peso del agregado fino por m}^3 \text{ de concreto)} & 47.07 \text{ \%} \end{aligned}$$

## 9. Corrección de los agregados:

## 9.1 Por humedad:

$$\begin{aligned} \text{A.F.} &= 803.39 \text{ kg (corrección del agregado fino)} \\ \text{A.G.} &= 894.54 \text{ kg (corrección del agregado grueso)} \end{aligned}$$



9.2 Por absorción:

A.F. =	9.28	kg (corrección del agregado fino)
A.G. =	-5.53	kg (corrección del agregado grueso)
$\Sigma$ =	3.75	kg (agua libre)
$\Sigma$ =	3.75	l (agua libre)

10. Agua efectiva:

a ef. =	201.25	l (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	
a ef. =	201.25	kg (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	a/c (corregido) = 0.614

11. Cemento efectivo:

c ef. =	376.29	kg (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)
c.ef =	9.00	bls (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)

12. Proporciones:

12.1 Por pesos (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
c =	0.80	(cemento sustituido en 20%)
CMR =	0.05	(ceniza de madera roble)
GS =	0.15	(gránulos de silicio)
A.F. =	2.14	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	2.38	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	22.73	(agua)
a/c =	0.614	(relación agua/cemento)

12.2 Por volumen (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
c =	0.80	(cemento sustituido en 20%)
CMR =	0.05	(ceniza de madera roble)
GS =	0.15	(gránulos de silicio)
A.F. =	1.84	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	2.33	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	22.73	(agua)

12.3 Por bolsa de cemento (42.5 kg):

c =	42.50	kg (cemento)
c =	34.00	kg (cemento sustituido en 20%)
CMR =	2.13	kg (ceniza de madera roble)
GS =	6.38	kg (gránulos de silicio)
A.F. =	90.74	kg/bls (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	101.03	kg/bls (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	26.10	l/bls (agua)

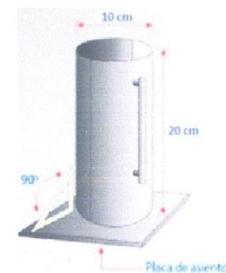
12.4 Para probetas cilíndricas:

Medidas de la probeta

H =	0.20	m (altura)
D =	0.10	m (diámetro)
Vol. =	0.0024	m <sup>3</sup> (volumen de probeta)
N <sup>o</sup> =	15.00	(número de probetas)
Vol. Total =	0.04	m <sup>3</sup> (volumen de probetas)

Cantidades por número de probetas

c =	11.58	kg (cemento)
c =	9.27	kg (cemento sustituido en 20%)
CMR =	0.58	kg (ceniza de madera roble)
GS =	1.74	kg (gránulos de silicio)
A.F. =	28.03	kg (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	31.51	kg (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	7.11	l (agua)



Chiclayo, 03 de noviembre del 2023

## Anexo 20. Experimental por durabilidad (2<sup>da</sup> adición)



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
TESISTA : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
ENSAYO : Diseño de mezcla de concreto experimental sin aditivo (2<sup>da</sup> adición: 50% CMR + 50% GS)  
REFERENCIA: Comité ACI 211.

### DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EXPERIMENTAL - ACI 211 (2<sup>da</sup> adición: 50% CMR + 50% GS) ( $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ )

<u>Datos generales</u>			<u>Datos del cemento</u>		
Construcción =	Pavimentos		Tipo =	Cemento	
$f'_c =$	280.00	kg/cm <sup>2</sup> (resistencia a la compresión del concreto)	Peso =	42.50	kg (peso de la bolsa de cemento)
$\gamma_a =$	1000.00	kg/m <sup>3</sup> (peso específico del agua)	$\gamma_c =$	3.10	g/cm <sup>3</sup> (peso específico del cemento)
a =	Potable l (agua potable)		Mezcla = Sin aire incorporado		
CMR =	50.00	% $\gamma_{CMR} =$ 2.214 g/cm <sup>3</sup> (p.esp.ceniza)	Sustitución =	20.00	% (sustitución del cemento)
GS =	50.00	% $\gamma_{GS} =$ 3.158 g/cm <sup>3</sup> (p.esp.gránulos)			

<u>Agregado fino (arena gruesa)</u>			<u>Agregado grueso (piedra chancada)</u>		
Peso unitario suelto seco =	<b>1519.00</b>	kg/m <sup>3</sup>	Peso unitario suelto seco =	<b>1455.00</b>	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado seco =	<b>1746.00</b>	kg/m <sup>3</sup>	Peso unitario compactado seco =	<b>1533.00</b>	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agregado fino =	<b>2.59</b>	g/cm <sup>3</sup>	Peso específico del agregado grueso =	<b>2.46</b>	g/cm <sup>3</sup>
Grado de absorción =	<b>0.14</b>	%	Grado de absorción =	<b>0.95</b>	%
Contenido de humedad =	<b>1.31</b>	%	Contenido de humedad =	<b>0.33</b>	%
Módulo de finiza =	<b>3.18</b>		Módulo de finiza =	-	
Tamaño máximo nominal (TMN) =	-	in	Tamaño máximo nominal (TMN) =	<b>0.75</b>	in
Cantera de procedencia =	Tres Tomas de Ferreñafe		Cantera de procedencia =	Tres Tomas de Ferreñafe	

#### 1. Resistencia a la compresión requerida ( $f'_{cr}$ ):

$$f'_c = 280.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = 364.00 \text{ kg/cm}^2$$

#### 2. Selección del asentamiento:

$$\text{Asentamiento} = 3.00 \text{ in}$$

$$\text{Consistencia} = \text{Plástica (trabajable - vibración ligera chuseada)}$$

#### 3. Contenido de aire atrapado:

$$\text{TMN} = 0.75 \text{ in}$$

$$\text{Aire atrapado} = 2.00 \%$$

#### 4. Relación agua/cemento (a/c):

$$f'_{cr} = 364.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{pH (2<sup>da</sup> adición)} = 12.57 \%$$

$$a/c = 0.626 \text{ (Exposición moderada a sulfatos) (Martínez Santos Jorge Luis: 106.80 ppm en el suelo) (Pérez Gonzales D. & Ulauc Dávila Y.: 524 ppm en suelo de uso)}$$

#### 5. Peso del agua (a):

$$a = 205.00 \text{ l (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)}$$

$$a = 205.00 \text{ kg (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)}$$



## 6. Peso del cemento (c):

$$c = 327.63 \text{ kg (peso del cemento por m}^3 \text{ de concreto)}$$

## 6.1 Factor cemento (fc):

$$fc = 7.71 \text{ bls (factor cemento)}$$

## 7. Volumen del agregado grueso:

$$TMN = 0.75 \text{ in}$$

$$MF = 3.18 \text{ (módulo de fineza del agregado fino)}$$

$$\text{Volumen de agregado grueso} = 0.58 \text{ m}^3 \text{ (volumen del agregado grueso compactado seco)}$$

## 7.1 Peso total del agregado grueso (P.U.C.S):

$$P.U.C.S = 1533.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso unitario compactado seco del agregado grueso)}$$

$$\text{Total} = 891.59 \text{ kg (peso agregado grueso por m}^3 \text{ de concreto)}$$

## 8. Volumen absoluto de los materiales para el concreto:

## 8.1 Volumen absoluto del cemento:

$$c = 327.63 \text{ kg (peso del cemento por m}^3 \text{ de concreto)}$$

$$\gamma_c = 3.10 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del cemento)}$$

$$\gamma_c = 3100.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del cemento)}$$

$$\text{Vol. Abs. c.} = 0.11 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del cemento)}$$

## 8.2 Volumen absoluto del agregado grueso:

$$\text{Peso A.G.} = 891.59 \text{ kg (peso del agregado grueso por m}^3 \text{ de concreto)} \quad 52.92 \quad \%$$

$$\gamma_{A.G.} = 2.46 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del agregado grueso)}$$

$$\gamma_c = 2457.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agregado grueso)}$$

$$\text{Vol. Abs. A.G.} = 0.36 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agregado grueso)}$$

## 8.3 Volumen absoluto del agua:

$$a = 205.00 \text{ kg (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)}$$

$$\gamma_a = 1000.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agua)}$$

$$\text{Vol. Abs. a} = 0.21 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agua)}$$

## 8.4 Volumen absoluto del aire atrapado:

$$\text{Aire} = 2.00 \quad \% \text{ (aire atrapado)}$$

$$\text{Vol. Abs. Aire} = 0.020 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del aire)}$$

## 8.5 Volumen absoluto del agregado fino:

$$\sum \text{Vol. Abs. A.F.} = 0.69 \text{ m}^3 \text{ (sumatoria de volúmenes absolutos)}$$

$$\text{m}^3 \text{ C}^o = 1.00 \text{ m}^3 \text{ (volumen del concreto por m}^3 \text{)}$$

$$\text{Vol. Abs. a} = 0.31 \text{ m}^3 \text{ (volumen absoluto del agregado fino)}$$

$$\gamma_{A.F.} = 2.59 \text{ g/cm}^3 \text{ (peso específico del agregado fino)}$$

$$\gamma_{A.F.} = 2588.00 \text{ kg/m}^3 \text{ (peso específico del agregado fino)}$$

$$\text{Peso A.F.} = 793.05 \text{ kg (peso del agregado fino por m}^3 \text{ de concreto)} \quad 47.08 \quad \%$$

## 9. Corrección de los agregados:

## 9.1 Por humedad:

$$A.F. = 803.44 \text{ kg (corrección del agregado fino)}$$

$$A.G. = 894.54 \text{ kg (corrección del agregado grueso)}$$



9.2 Por absorción:

A.F. =	9.28	kg (corrección del agregado fino)
A.G. =	-5.53	kg (corrección del agregado grueso)
$\Sigma$ =	3.75	kg (agua libre)
$\Sigma$ =	3.75	l (agua libre)

10. Agua efectiva:

a ef. =	201.25	l (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	
a ef. =	201.25	kg (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	a/c (corregido) = 0.614

11. Cemento efectivo:

c ef. =	376.24	kg (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)
c.ef =	9.00	bls (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)

12. Proporciones:

12.1 Por pesos (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
c =	0.80	(cemento sustituido en 20%)
CMR =	0.10	(ceniza de madera roble)
GS =	0.10	(gránulos de silicio)
A.F. =	2.14	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	2.38	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	22.73	(agua)
a/c =	0.614	(relación agua/cemento)

12.2 Por volumen (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
c =	0.80	(cemento sustituido en 20%)
CMR =	0.10	(ceniza de madera roble)
GS =	0.10	(gránulos de silicio)
A.F. =	1.84	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	2.33	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	22.73	(agua)

12.3 Por bolsa de cemento (42.5 kg):

c =	42.50	kg (cemento)
c =	34.00	kg (cemento sustituido en 20%)
CMR =	4.25	kg (ceniza de madera roble)
GS =	4.25	kg (gránulos de silicio)
A.F. =	90.76	kg/bls (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	101.05	kg/bls (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	26.11	l/bls (agua)

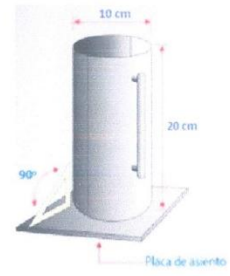
12.4 Para probetas cilíndricas:

Medidas de la probeta

H =	0.20	m (altura)
D =	0.10	m (diámetro)
Vol. =	0.0024	m <sup>3</sup> (volumen de probeta)
N <sup>o</sup> =	15.00	(número de probetas)
Vol. Total =	0.04	m <sup>3</sup> (volumen de probetas)

Cantidades por número de probetas

c =	11.58	kg (cemento)
c =	9.26	kg (cemento sustituido en 20%)
CMR =	1.16	kg (ceniza de madera roble)
GS =	1.16	kg (gránulos de silicio)
A.F. =	28.03	kg (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	31.51	kg (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	7.11	l (agua)



## Anexo 21. Experimental durabilidad (3<sup>era</sup> adición)



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
TESISTA : Marcos Luis Chuquilín Vergara  
TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
ENSAYO : Diseño de mezcla de concreto experimental sin aditivo (3<sup>era</sup> adición: 75% CMR + 25% GS)  
REFERENCIA: Comité ACI 211.

### DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO EXPERIMENTAL - ACI 211 (3<sup>era</sup> adición: 50% CMR + 50% GS) ( $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ )

<u>Datos generales</u>		<u>Datos del cemento</u>	
Construcción = Pavimentos		Tipo = Cemento	
$f_c = 280.00 \text{ kg/cm}^2$ (resistencia a la compresión del concreto)		Peso = 42.50 kg (peso de la bolsa de cemento)	
$\gamma_a = 1000.00 \text{ kg/m}^3$ (peso específico del agua)		$\gamma_c = 3.10 \text{ g/cm}^3$ (peso específico del cemento)	
a = Potable l (agua potable)		Mezcla = Sin aire incorporado	
CMR = 75.00 % $\gamma_{CMR} = 2.214 \text{ g/cm}^3$ (p.esp.ceniza)		Sustitución = 20.00 % (sustitución del cemento)	
GS = 25.00 % $\gamma_{GS} = 3.158 \text{ g/cm}^3$ (p.esp.gránulos)			

<u>Datos de agregados</u>		<u>Datos de agregados</u>	
<u>Agregado fino (arena gruesa)</u>		<u>Agregado grueso (piedra chancada)</u>	
Peso unitario suelto seco = <b>1519.00</b> kg/m <sup>3</sup>		Peso unitario suelto seco = <b>1455.00</b> kg/m <sup>3</sup>	
Peso unitario compactado seco = <b>1746.00</b> kg/m <sup>3</sup>		Peso unitario compactado seco = <b>1533.00</b> kg/m <sup>3</sup>	
Peso específico del agregado fino = <b>2.59</b> g/cm <sup>3</sup>		Peso específico del agregado grueso = <b>2.46</b> g/cm <sup>3</sup>	
Grado de absorción = <b>0.14</b> %		Grado de absorción = <b>0.95</b> %	
Contenido de humedad = <b>1.31</b> %		Contenido de humedad = <b>0.33</b> %	
Módulo de fineza = <b>3.18</b>		Módulo de fineza = <b>-</b>	
Tamaño máximo nominal (TMN) = <b>-</b> in		Tamaño máximo nominal (TMN) = <b>0.75</b> in	
Cantera de procedencia = Tres Tomas de Ferreñafe		Cantera de procedencia = Tres Tomas de Ferreñafe	

#### 1. Resistencia a la compresión requerida ( $f'_{cr}$ ):

$$f_c = 280.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{cr} = 364.00 \text{ kg/cm}^2$$

#### 2. Selección del asentamiento:

$$\text{Asentamiento} = 3.00 \text{ in}$$

$$\text{Consistencia} = \text{Plástica (trabajable - vibración ligera chuseada)}$$

#### 3. Contenido de aire atrapado:

$$\text{TMN} = 0.75 \text{ in}$$

$$\text{Aire atrapado} = \mathbf{2.00} \%$$

#### 4. Relación agua/cemento (a/c):

$$f_{cr} = 364.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{pH (3<sup>era</sup> adición)} = \mathbf{12.61} \%$$

$$a/c = \mathbf{0.626}$$

(Exposición moderada a sulfatos) (Martínez Santos Jorge Luis: 106.82 ppm en el suelo) (Pérez Gonzales D. & Lluave Dávila Y.: 524 ppm en suelo arena)

#### 5. Peso del agua (a):

$$a = \mathbf{205.00} \text{ l (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)}$$

$$a = 205.00 \text{ kg (peso del agua por m}^3 \text{ de concreto)}$$



6. Peso del cemento (c):

c = 327.42 kg (peso del cemento por m<sup>3</sup> de concreto)

6.1 Factor cemento (fc):

fc = 7.70 bls (factor cemento)

7. Volumen del agregado grueso:

TMN = 0.75 in  
 MF = 3.18 (módulo de fineza del agregado fino)  
 Volumen de agregado grueso = **0.58** m<sup>3</sup> (volumen del agregado grueso compactado seco)

7.1 Peso total del agregado grueso (P.U.C.S):

P.U.C.S = 1533.00 kg/m<sup>3</sup> (peso unitario compactado seco del agregado grueso)  
 Total = 891.59 kg (peso agregado grueso por m<sup>3</sup> de concreto)

8. Volumen absoluto de los materiales para el concreto:

8.1 Volumen absoluto del cemento:

c = 327.42 kg (peso del cemento por m<sup>3</sup> de concreto)  
 Y<sub>c</sub> = 3.10 g/cm<sup>3</sup> (peso específico del cemento)  
 Y<sub>c</sub> = 3100.00 kg/m<sup>3</sup> (peso específico del cemento)  
 Vol. Abs. c. = 0.11 m<sup>3</sup> (volumen absoluto del cemento)

8.2 Volumen absoluto del agregado grueso:

Peso A.G = 891.59 kg (peso del agregado grueso por m<sup>3</sup> de concreto) 52.92 %  
 Y<sub>A.G</sub> = 2.46 g/cm<sup>3</sup> (peso específico del agregado grueso)  
 Y<sub>c</sub> = 2457.00 kg/m<sup>3</sup> (peso específico del agregado grueso)  
 Vol. Abs. A.G = 0.36 m<sup>3</sup> (volumen absoluto del agregado grueso)

8.3 Volumen absoluto del agua:

a = 205.00 kg (peso del agua por m<sup>3</sup> de concreto)  
 Y<sub>a</sub> = 1000.00 kg/m<sup>3</sup> (peso específico del agua)  
 Vol. Abs. a = 0.21 m<sup>3</sup> (volumen absoluto del agua)

8.4 Volumen absoluto del aire atrapado:

Aire = 2.00 % (aire atrapado)  
 Vol. Abs. Aire = 0.020 m<sup>3</sup> (volumen absoluto del aire)

8.5 Volumen absoluto del agregado fino:

∑ Vol. Abs. A.F. = 0.69 m<sup>3</sup> (sumatoria de volúmenes absolutos)  
 m<sup>3</sup> C<sup>o</sup> = 1.00 m<sup>3</sup> (volumen del concreto por m<sup>3</sup>)  
 Vol. Abs. a = 0.31 m<sup>3</sup> (volumen absoluto del agregado fino)  
 Y<sub>A.F.</sub> = 2.59 g/cm<sup>3</sup> (peso específico del agregado fino)  
 Y<sub>A.F.</sub> = 2588.00 kg/m<sup>3</sup> (peso específico del agregado fino)  
 Peso A.F. = 793.22 kg (peso del agregado fino por m<sup>3</sup> de concreto) 47.08 %

9. Corrección de los agregados:

9.1 Por humedad:

A.F. = 803.62 kg (corrección del agregado fino)  
 A.G. = 894.54 kg (corrección del agregado grueso)



9.2 Por absorción:

A.F. =	9.28	kg (corrección del agregado fino)
A.G. =	-5.53	kg (corrección del agregado grueso)
Σ =	3.75	kg (agua libre)
Σ =	3.75	l (agua libre)

10. Agua efectiva:

a ef. =	201.25	l (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	
a ef. =	201.25	kg (agua efectiva por m <sup>3</sup> de concreto)	a/c (corregido) = 0.615

11. Cemento efectivo:

c ef. =	376.03	kg (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)
c.ef =	9.00	bls (cemento efectivo por m <sup>3</sup> de concreto)

12. Proporciones:

12.1 Por pesos (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
c =	0.80	(cemento sustituido en 20%)
CMR =	0.15	(ceniza de madera roble)
GS =	0.05	(gránulos de silicio)
A.F. =	2.14	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	2.38	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	22.75	(agua)
a/c =	0.615	(relación agua/cemento)

12.2 Por volumen (L/pie<sup>3</sup>):

c =	1.00	(cemento)
c =	0.80	(cemento sustituido en 20%)
CMR =	0.15	(ceniza de madera roble)
GS =	0.05	(gránulos de silicio)
A.F. =	1.84	(agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	2.33	(agregado grueso) (piedra chancada)
a =	22.75	(agua)

12.3 Por bolsa de cemento (42.5 kg):

c =	42.50	kg (cemento)
c =	34.00	kg (cemento sustituido en 20%)
CMR =	6.38	kg (ceniza de madera roble)
GS =	2.13	kg (gránulos de silicio)
A.F. =	90.83	kg/bls (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	101.10	kg/bls (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	26.12	l/bls (agua)

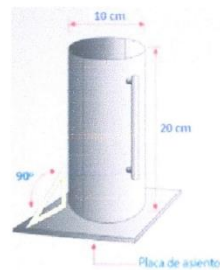
12.4 Para probetas cilíndricas:

Medidas de la probeta

H =	0.20	m (altura)
D =	0.10	m (diámetro)
Vol. =	0.0024	m <sup>3</sup> (volumen de probeta)
Nº =	15.00	(número de probetas)
Vol. Total =	0.04	m <sup>3</sup> (volumen de probetas)

Cantidades por número de probetas

c =	11.57	kg (cemento)
c =	9.26	kg (cemento sustituido en 20%)
CMR =	1.74	kg (ceniza de madera roble)
GS =	0.58	kg (gránulos de silicio)
A.F. =	28.03	kg (agregado fino) (arena gruesa)
A.G. =	31.51	kg (agregado grueso) (piedra chancada)
a =	7.11	l (agua)



## Anexo 22. Dossier por durabilidad



**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**  
**LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT**

**ESCUELA** : Ingeniería Civil Ambiental  
**TESISTA** : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
**TESIS** : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
**UBICACIÓN** : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
**ENSAYO** : Diseño de mezcla de concreto convencional y experimental sin aditivo  
**REFERENCIA** : Comité ACI 211.

Dosificaciones para diseños de mezclas de concreto convencional y experimental								
Descripción	Por pesos (L/pie <sup>3</sup> )				Por volumen (L/pie <sup>3</sup> )			
	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición
c =	1.00	0.80	0.80	0.80	1.00	0.80	0.80	0.80
CMR =	-	0.05	0.10	0.15	-	0.05	0.10	0.15
GS =	-	0.15	0.10	0.05	-	0.15	0.10	0.05
A.F. =	1.60	2.14	2.14	2.14	1.38	1.84	1.84	1.84
A.G. =	1.95	2.38	2.38	2.38	1.91	2.33	2.33	2.33
a =	18.73	22.73	22.73	22.75	18.73	22.73	22.73	22.75

Leyenda:

c = Cemento (bls)  
 CMR = Cenizas de madera roble  
 GS = Gránulos de silicio  
 A.F. = Agregado fino (arena gruesa)  
 A.G. = Agregado grueso (piedra chancada)  
 a = Agua

Relaciones agua/cemento y factores cemento del concreto convencional y experimental					
Mezcla	a/c	a/c correg.	F.C (bls)	F.C correg. (bls)	F.C c/desp. (15%)(bls)
Convencional	0.5	0.493	9.65	11.00	13.00
1 <sup>era</sup> adición (25% CMR + 75% GS)	0.626	0.614	7.71	9.00	11.00
2 <sup>da</sup> adición (50% CMR + 50% GS)	0.626	0.614	7.71	9.00	11.00
3 <sup>era</sup> adición (75% CMR + 25% GS)	0.626	0.615	7.70	9.00	11.00

Leyenda:

a/c = Relación agua/cemento  
 F.C = Factor cemento  
 CMR = Cenizas de madera roble  
 GS = Gránulos de silicio



Cantidades requeridas para diseños de mezclas de concreto convencional y experimental								
Descripción	Por bolsa de cemento (42.5 kg)				Por número de probetas (kg)			
	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición
c =	42.50	34.00	34.00	34.00	14.49	9.27	9.26	9.26
CMR =	-	2.13	4.25	6.38	-	0.58	1.16	1.74
GS =	-	6.38	4.25	2.13	-	1.74	1.16	0.58
A.F. =	68.02	90.74	90.76	90.83	25.60	28.03	28.03	28.03
A.G. =	82.92	101.03	101.05	101.10	31.51	31.51	31.51	31.51
a =	20.94	26.10	26.11	26.12	7.14	7.11	7.11	7.11

**Leyenda:**

- c = Cemento total o parcialmente sustituido en 20% (kg)  
 CMR = Cenizas de madera roble (kg)  
 GS = Gránulos de silicio (kg)  
 A.F. = Agregado fino (arena gruesa) (kg)  
 A.G. = Agregado grueso (piedra chancada) (kg)  
 a = Agua (l/bols)

Pesos unitarios del concreto convencional y experimental				
Peso unitario	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición
Teórico (kg/m <sup>3</sup> )	2232.88	2219.28	2219.28	2219.24
Corregido (kg/m <sup>3</sup> )	2288.84	2275.47	2275.46	2275.43
Por rotura a la compresión (kg/m <sup>3</sup> )	2383.91	2358.27	2316.50	2296.22

Chiclayo, 04 de diciembre del 2023



## Anexo 23. Compresiones convencionales



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 ENSAYO : Resistencia a la compresión de cilindros de concreto convencional (NTP 339.034/ASTM C39M)  
 REFERENCIA : Comité ACI 211.

Rotura de probetas de concreto convencional ( $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ )											
N°	Descripción	Medidas (cm)		Fecha		Edad (días)	Dial de carga (kg.f)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (%)	Tipo de fractura
		Altura (H)	Diámetro (D)	Vaceado	Rotura						
1	Probeta N° 01	20.00	10.00	3/11/2023	10/11/2023	7.00	17835.40	227.09	280.00	81.10	Cono
2	Probeta N° 02	20.00	10.00	3/11/2023	10/11/2023	7.00	21692.70	276.20	280.00	98.64	Corte
3	Probeta N° 03	20.00	10.00	3/11/2023	10/11/2023	7.00	22675.80	288.72	280.00	103.11	Columnar
4	Probeta N° 04	20.00	10.00	3/11/2023	17/11/2023	14.00	23638.00	300.97	280.00	107.49	Cono y separación
5	Probeta N° 05	20.00	10.00	3/11/2023	17/11/2023	14.00	23737.50	302.23	280.00	107.94	Corte
6	Probeta N° 06	20.00	10.00	3/11/2023	17/11/2023	14.00	23795.30	302.97	280.00	108.20	Corte
7	Probeta N° 07	20.00	10.00	3/11/2023	24/11/2023	21.00	26712.40	340.11	280.00	121.47	Corte
8	Probeta N° 08	20.00	10.00	3/11/2023	24/11/2023	21.00	27027.30	344.12	280.00	122.90	Cono
9	Probeta N° 09	20.00	10.00	3/11/2023	24/11/2023	21.00	27444.00	349.43	280.00	124.80	Cono
10	Probeta N° 10	20.00	10.00	3/11/2023	1/12/2023	28.00	28266.70	359.90	280.00	128.54	Corte
11	Probeta N° 11	20.00	10.00	3/11/2023	1/12/2023	28.00	28482.30	362.65	280.00	129.52	Cono y separación
12	Probeta N° 12	20.00	10.00	3/11/2023	1/12/2023	28.00	30588.40	389.46	280.00	139.09	Corte

Area de base del espécimen = 78.54 cm<sup>2</sup>

### OBSERVACIONES:

Las probetas convencionales fueron elaboradas por el tesista.

Chiclayo, 01 de diciembre del 2023



## Anexo 24. Compresiones experimentales (1<sup>era</sup> adición)



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESIS : Marcos Luis Chuquin Vergara  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 ENSAYO : Resistencia a la compresión de cilindros de concreto experimental (1<sup>era</sup> adición: 25% CMR + 75% GS) (NTP 339.034/ASTM C39M)  
 REFERENCIA : Comité ACI 211.

Rotura de probetas de concreto experimental (1 <sup>era</sup> adición: 25% CMR + 75% GS) ( $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ )											
N°	Descripción	Medidas (cm)		Fecha		Edad (días)	Dial de carga (kg.f)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (%)	Tipo de fractura
		Altura (H)	Diámetro (D)	Vaceado	Rotura						
1	Probeta N° 01	20.00	10.00	6/11/2023	13/11/2023	7.00	15907.40	202.54	280.00	72.34	Cono
2	Probeta N° 02	20.00	10.00	6/11/2023	13/11/2023	7.00	17707.90	225.46	280.00	80.52	Cono y corte
3	Probeta N° 03	20.00	10.00	6/11/2023	13/11/2023	7.00	18631.00	237.22	280.00	84.72	Columnar
4	Probeta N° 04	20.00	10.00	6/11/2023	20/11/2023	14.00	18662.40	237.62	280.00	84.86	Corte
5	Probeta N° 05	20.00	10.00	6/11/2023	20/11/2023	14.00	19357.60	246.47	280.00	88.02	Cono
6	Probeta N° 06	20.00	10.00	6/11/2023	20/11/2023	14.00	19485.40	248.10	280.00	88.61	Corte
7	Probeta N° 07	20.00	10.00	6/11/2023	27/11/2023	21.00	20405.30	259.81	280.00	92.79	Cono
8	Probeta N° 08	20.00	10.00	6/11/2023	27/11/2023	21.00	22212.90	282.82	280.00	101.01	Corte
9	Probeta N° 09	20.00	10.00	6/11/2023	27/11/2023	21.00	22308.80	284.04	280.00	101.44	Corte
10	Probeta N° 10	20.00	10.00	6/11/2023	4/12/2023	28.00	23357.10	297.39	280.00	106.21	Corte
11	Probeta N° 11	20.00	10.00	6/11/2023	4/12/2023	28.00	24279.80	309.14	280.00	110.41	Corte
12	Probeta N° 12	20.00	10.00	6/11/2023	4/12/2023	28.00	24281.10	309.16	280.00	110.41	Cono y separación

Area de base del espécimen = 78.54 cm<sup>2</sup>

### OBSERVACIONES:

Las probetas experimentales (1<sup>era</sup> adición: 25% CMR + 75% GS) fueron elaboradas por el tesisista.

### Legenda:

CMR = Ceniza de madera roble  
 GS = Gránulos de silicio

Chiclayo, 04 de diciembre del 2023



## Anexo 25. Compresiones experimentales (2<sup>da</sup> adición)



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESIS : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 ENSAYO : Resistencia a la compresión de cilindros de concreto experimental (2<sup>da</sup> adición: 50% CMR + 50% GS) (NTP 339.034/ASTM C39M)  
 REFERENCIA : Comité ACI 211.

Rotura de probetas de concreto experimental (2 <sup>da</sup> adición: 50% CMR + 50% GS) ( $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ )											
Nº	Descripción	Medidas (cm)		Fecha		Edad (días)	Dial de carga (kg.f)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (%)	Tipo de fractura
		Altura (H)	Diámetro (D)	Vaceado	Rotura						
1	Probeta N° 01	20.00	10.00	6/11/2023	13/11/2023	7.00	14976.20	190.68	280.00	68.10	Corte
2	Probeta N° 02	20.00	10.00	6/11/2023	13/11/2023	7.00	17887.30	227.75	280.00	81.34	Corte
3	Probeta N° 03	20.00	10.00	6/11/2023	13/11/2023	7.00	18009.80	229.31	280.00	81.90	Columnar
4	Probeta N° 04	20.00	10.00	6/11/2023	20/11/2023	14.00	19661.40	250.34	280.00	89.41	Corte
5	Probeta N° 05	20.00	10.00	6/11/2023	20/11/2023	14.00	19851.10	252.75	280.00	90.27	Corte
6	Probeta N° 06	20.00	10.00	6/11/2023	20/11/2023	14.00	20870.00	265.72	280.00	94.90	Cono
7	Probeta N° 07	20.00	10.00	6/11/2023	27/11/2023	21.00	21157.00	269.38	280.00	96.21	Corte
8	Probeta N° 08	20.00	10.00	6/11/2023	27/11/2023	21.00	22514.90	286.67	280.00	102.38	Cono y separación
9	Probeta N° 09	20.00	10.00	6/11/2023	27/11/2023	21.00	23005.90	292.92	280.00	104.61	Cono y separación
10	Probeta N° 10	20.00	10.00	6/11/2023	4/12/2023	28.00	23645.70	301.07	280.00	107.52	Cono y corte
11	Probeta N° 11	20.00	10.00	6/11/2023	4/12/2023	28.00	23950.70	304.95	280.00	108.91	Cono y corte
12	Probeta N° 12	20.00	10.00	6/11/2023	4/12/2023	28.00	25661.90	326.74	280.00	116.69	Corte

Area de base del espécimen = 78.54 cm<sup>2</sup>

### OBSERVACIONES:

Las probetas experimentales (2<sup>da</sup> adición: 50% CMR + 50% GS) fueron elaboradas por el tesisista.

### Legenda:

CMR = Ceniza de madera roble  
 GS = Gránulos de silicio

Chiclayo, 04 de diciembre del 2023



## Anexo 26. Compresiones experimentales (3<sup>era</sup> adición)



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESIS : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 ENSAYO : Resistencia a la compresión de cilindros de concreto experimental (3<sup>era</sup> adición: 75% CMR + 25% GS) (NTP 339.034/ASTM C39M)  
 REFERENCIA : Comité ACI 211.

Rotura de probetas de concreto experimental (3 <sup>era</sup> adición: 75% CMR + 25% GS) ( $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ )											
N°	Descripción	Medidas (cm)		Fecha		Edad (días)	Dial de carga (kg.f)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (%)	Tipo de fractura
		Altura (H)	Diámetro (D)	Vaceado	Rotura						
1	Probeta N° 01	20.00	10.00	6/11/2023	13/11/2023	7.00	15707.70	200.00	280.00	71.43	Corte
2	Probeta N° 02	20.00	10.00	6/11/2023	13/11/2023	7.00	16349.90	208.17	280.00	74.35	Columnar
3	Probeta N° 03	20.00	10.00	6/11/2023	13/11/2023	7.00	18707.70	238.19	280.00	85.07	Corte
4	Probeta N° 04	20.00	10.00	6/11/2023	20/11/2023	14.00	18744.60	238.66	280.00	85.24	Corte
5	Probeta N° 05	20.00	10.00	6/11/2023	20/11/2023	14.00	18815.00	239.56	280.00	85.56	Corte
6	Probeta N° 06	20.00	10.00	6/11/2023	20/11/2023	14.00	20158.30	256.66	280.00	91.67	Cono y corte
7	Probeta N° 07	20.00	10.00	6/11/2023	27/11/2023	21.00	20453.40	260.42	280.00	93.01	Cono y separación
8	Probeta N° 08	20.00	10.00	6/11/2023	27/11/2023	21.00	21075.30	268.34	280.00	95.84	Columnar
9	Probeta N° 09	20.00	10.00	6/11/2023	27/11/2023	21.00	21674.50	275.97	280.00	98.56	Cono y corte
10	Probeta N° 10	20.00	10.00	6/11/2023	4/12/2023	28.00	21996.30	280.06	280.00	100.02	Cono y corte
11	Probeta N° 11	20.00	10.00	6/11/2023	4/12/2023	28.00	22043.00	280.66	280.00	100.24	Corte
12	Probeta N° 12	20.00	10.00	6/11/2023	4/12/2023	28.00	22192.00	282.56	280.00	100.91	Cono y separación

Area de base del espécimen = 78.54 cm<sup>2</sup>

### OBSERVACIONES:

Las probetas experimentales (3<sup>era</sup> adición: 75% CMR + 25% GS) fueron elaboradas por el tesista.

### Legenda:

CMR = Ceniza de madera roble  
 GS = Gránulos de silicio

Chiclayo, 04 de diciembre del 2023



## Anexo 27. Curva de tendencia de resistencias



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESISISTA : Marcos Luis Chuquilin Vergara  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 ENSAYO : Resistencia a la compresión de cilindros de concreto convencional y experimental (NTP 339.034/ASTM C39M)  
 REFERENCIA : Comité ACI 211.

Resistencias a la compresión de probetas convencionales y experimentales ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ )									
Probeta N°	Convencional	1 <sup>era</sup> adición	2 <sup>da</sup> adición	3 <sup>era</sup> adición	Edad (días)	%f'c conv.	%f'c (1A)	%f'c (2A)	%f'c (3A)
1	227.09	202.54	190.68	200.00	7	81.10	72.34	68.10	71.43
2	276.20	225.46	227.75	208.17	7	98.64	80.52	81.34	74.35
3	288.72	237.22	229.31	238.19	7	103.11	84.72	81.90	85.07
4	300.97	237.62	250.34	238.66	14	107.49	84.86	89.41	85.24
5	302.23	246.47	252.75	239.56	14	107.94	88.02	90.27	85.56
6	302.97	248.10	265.72	256.66	14	108.20	88.61	94.90	91.67
7	340.11	259.81	269.38	260.42	21	121.47	92.79	96.21	93.01
8	344.12	282.82	286.67	268.34	21	122.90	101.01	102.38	95.84
9	349.43	284.04	292.92	275.97	21	124.80	101.44	104.61	98.56
10	359.90	297.39	301.07	280.06	28	128.54	106.21	107.52	100.02
11	362.65	309.14	304.95	280.66	28	129.52	110.41	108.91	100.24
12	389.46	309.16	326.74	282.56	28	139.09	110.41	116.69	100.91

Legenda:

1<sup>era</sup> adición = 25% CMR + 75% GS

2<sup>da</sup> adición = 50% CMR + 50% GS

3<sup>era</sup> adición = 75% CMR + 25% GS

CMR = Ceniza de madera roble

GS = Gránulos de silicio

%f'c (1A) = Porcentaje de resistencia a la compresión 1<sup>era</sup> adición

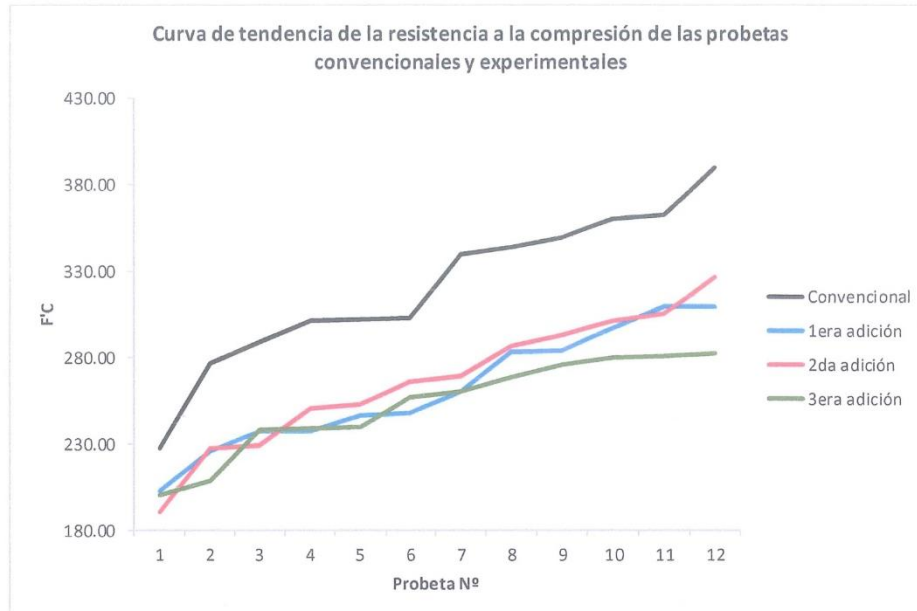
%f'c (2A) = Porcentaje de resistencia a la compresión 2<sup>da</sup> adición

%f'c (3A) = Porcentaje de resistencia a la compresión 3<sup>era</sup> adición

Chiclayo, 04 de diciembre del 2023



### CURVA DE TENDENCIA POR RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



#### Tendencia probabilística de los concretos experimentales

Desviación estándar ( $\sigma$ )	1 <sup>era</sup> adición (kg/cm <sup>2</sup> )	2 <sup>da</sup> adición (kg/cm <sup>2</sup> )	3 <sup>era</sup> adición (kg/cm <sup>2</sup> )
$\sigma_{\text{muestra}}$ a los 7 días	17.64	21.86	20.11
$\sigma_{\text{muestra}}$ a los 14 días	5.64	8.28	10.14
$\sigma_{\text{muestra}}$ a los 21 días	13.65	12.19	7.77
$\sigma_{\text{muestra}}$ a los 28 días	6.79	13.84	1.30
$\Sigma_{\text{total}} \sigma_{\text{muestras}}$	43.72	56.17	39.33
Prom. $\sigma_{\text{muestras}}$	10.93	14.04	9.83
Prom. $\sigma_{\text{muestras}} / \Sigma_{\text{total}} \sigma_{\text{muestras}}$	0.25	0.25	0.25
<b>Tendencia (+) (%)</b>	<b>25.00</b>	<b>25.00</b>	<b>25.00</b>
Resistencia promedio a los 28 días	305.23	310.92	281.09
<b>Resistencia máxima probabilística</b>	<b>381.54</b>	<b>388.65</b>	<b>351.37</b>

Fuente: Elaboración propia.



## Validación prueba de desgaste por abrasión en laboratorio LEMS W&C EIRL



Prolongación Bolognesi Km. 3,5  
Chiclayo – Lambayeque  
R.U.C. 20480781334  
Email: lemswyceirl@gmail.com

### CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Chiclayo, 22 de marzo del 2024

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 “Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos”.

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 Bachiller Marcos Luis Chuquilin Vergara identificado con DNI N° 46429417 egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Ambiental de la UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO y autor del trabajo de investigación denominado “Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos” 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 garantiza la absoluta confidencialidad de la información solicitada.

Ensayos realizados:

- Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio - ASTM C944-12 (12 muestras).

Atentamente.



LEMS W&C EIRL  
WILSON OLAYA AGUILAR  
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 246904



## Anexo 28. Prueba de desgaste por abrasión convencional y experimental (60 días)



Prolongación Bolognesi Km. 3.5

Chiclayo - Lambayeque

R. U. C. 20480781334

Email: servicios@lemswycerl.com

**Solicitud de Ensayo** : 0201A-24/ LEMS W&C  
**Solicitante** : Bach Marcos Luis Chuquilin Vergara  
**Proyecto / Obra** : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
**Ubicación** : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
**Fecha de Apertura** : Martes, 02 de enero del 2024  
**Inicio de Esayo** : Martes, 02 de enero del 2024  
**Fin de Ensayo** : Viernes, 05 de enero del 2024

**ENSAYO** : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

**NORMA** : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	f'c 280 kg/cm2_Patrón	03/11/2023	02/01/2024	60	2	3	98	961.6	960.9	0.63	0.07
M-2	f'c 280 kg/cm2_25% CMR + 75%GS	06/11/2023	05/01/2024	60	2	3	98	887.0	885.8	1.27	0.14
M-3	f'c 280 kg/cm2_50% CMR + 50%GS	06/11/2023	05/01/2024	60	2	3	98	905.7	903.6	2.08	0.23
M-4	f'c 280 kg/cm2_75% CMR + 25%GS	06/11/2023	05/01/2024	60	2	3	98	881.1	878.9	2.15	0.24

NOTA 1 : Según norma se deberá ensayar como mínimo tres especímenes.

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.



## Anexo 29. Prueba de desgaste por abrasión convencional y experimental (90 días)



Prolongación Bolognesi Km. 3.5  
Chiclayo - Lambayeque  
R.U.C. 20480781334  
Email: servicios@lemswycerl.com

**Solicitud de Ensayo** : 0201A-24/ LEMS W&C  
**Solicitante** : Bach Marcos Luis Chuquilin Vergara  
**Proyecto / Obra** : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
**Ubicación** : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
**Fecha de Apertura** : Martes, 02 de enero del 2024  
**Inicio de Ensayo** : Jueves, 01 de febrero del 2024  
**Fin de Ensayo** : Domingo, 04 de febrero del 2024

**ENSAYO** : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

**NORMA** : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	f'c 280 kg/cm2_Patrón	03/11/2023	01/02/2024	90	2	3	98	874.0	872.9	1.08	0.12
M-2	f'c 280 kg/cm2_25% CMR + 75%GS	06/11/2023	04/02/2024	90	2	3	98	877.2	876.0	1.22	0.14
M-3	f'c 280 kg/cm2_50% CMR + 50%GS	06/11/2023	04/02/2024	90	2	3	98	904.5	902.5	2.04	0.23
M-4	f'c 280 kg/cm2_75% CMR + 25%GS	06/11/2023	04/02/2024	90	2	3	98	855.2	853.0	2.12	0.25

NOTA 1 : Según norma se deberá ensayar como mínimo tres especímenes.

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.

LEMS W&C EIRL  
  
 WILSON OLAYA AGUILAR  
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

Miguel Angel Ruiz Perales  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 246904

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES  
 USAT  
  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

## Anexo 30. Prueba de desgaste por abrasión convencional y experimental (120 días)



Prolongación Bolognesi Km. 3.5  
Chiclayo - Lambayeque  
R.U.C. 20480781334  
Email: servicios@lemswceirl.com

**Solicitud de Ensayo** : 0201A-24/ LEMS W&C  
**Solicitante** : Bach Marcos Luis Chuquilin Vergara  
**Proyecto / Obra** : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
**Ubicación** : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.  
**Fecha de Apertura** : Martes, 02 de enero del 2024  
**Inicio de Ensayo** : Sábado, 02 de marzo del 2024  
**Fin de Ensayo** : Martes, 05 de marzo del 2024

**ENSAYO** : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

**NORMA** : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	f'c 280 kg/cm2_Patrón	03/11/2023	02/03/2024	120	2	3	98	865.2	864.0	1.11	0.13
M-2	f'c 280 kg/cm2_25% CMR + 75%GS	06/11/2023	05/03/2024	120	2	3	98	848.2	847.1	1.14	0.13
M-3	f'c 280 kg/cm2_50% CMR + 50%GS	06/11/2023	05/03/2024	120	2	3	98	892.1	889.3	2.81	0.31
M-4	f'c 280 kg/cm2_75% CMR + 25%GS	06/11/2023	05/03/2024	120	2	3	98	811.1	809.7	1.44	0.18

NOTA 1 : Según norma se deberá ensayar como mínimo tres especímenes.

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.

LEMS W&C EIRL  
  
 WILSON OLAYA AGUILAR  
 T.E.C. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

Miguel Angel Ruiz Perales  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 246904



### Anexo 31. Prueba a fuego de concreto convencional (60, 90, 120 días)



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESIS : Marcos Luis Chuquilín Vergara  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de sílicio para concreto de pavimentos rígidos  
 UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 ENSAYO : Prueba a fuego de cilindros de concreto convencional  
 REFERENCIA : ASTM E-119

Correlación de temperatura	
t (hrs)	Temp. llegada (°C)
0.083	538 ≤
0.17	538 ≤ 704
0.5	704 ≤ 843
1	843 ≤ 927
2	927 ≤ 1010
4	1010 ≤ 1093
> 8	≥ 1260

Calidad residual			
Color	Temp. (°C)	Resistencia residual (% inicial)	Valoración
Ninguno	-300	100 ≤ 80	Muy buena (100%)
Rosado	300 ≤ 600	80 ≤ 40	Buena (75%)
Grisáceo	600 ≤ 900	40 ≤ 20	Regular (50%)
Amarillento	900 ≤ 1200	20 ≤ 0	Mala (20%)

	fe prom. a los 28 días = 370.67 kg/cm <sup>2</sup> Edad de probeta = 60.00 días Tiempo de exposición = 0.50 hrs Temperatura llegada = 605.50 °C Color = Rosado Temperatura corregida = 339.50 °C Resistencia residual = 80.00 % Resistencia residual = 296.54 kg/cm <sup>2</sup> Valoración = Buena calidad Valoración = 75.00 % Conclusión = Concreto de buena calidad al 75%, cuya resistencia residual al 80% fue de 296.54 kg/cm <sup>2</sup>	
	fe prom. a los 28 días = 370.67 kg/cm <sup>2</sup> Edad de probeta = 90.00 días Tiempo de exposición = 0.50 hrs Temperatura llegada = 783.30 °C Color = Rosado grisáceo Temperatura corregida = 523.40 °C Resistencia residual = 80.00 % Resistencia residual = 296.54 kg/cm <sup>2</sup> Valoración = Buena calidad Valoración = 75.00 % Conclusión = Concreto de buena calidad al 75%, cuya resistencia residual al 80% fue de 296.54 kg/cm <sup>2</sup>	
	fe prom. a los 28 días = 370.67 kg/cm <sup>2</sup> Edad de probeta = 120.00 días Tiempo de exposición = 0.50 hrs Temperatura llegada = 609.40 °C Color = Rosado grisáceo Temperatura corregida = 455.90 °C Resistencia residual = 80.00 % Resistencia residual = 296.54 kg/cm <sup>2</sup> Valoración = Buena calidad Valoración = 75.00 % Conclusión = Concreto de buena calidad al 75%, cuya resistencia residual al 80% fue de 296.54 kg/cm <sup>2</sup>	

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
**USAT**  
  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Diagnóstico de durabilidad indirecta por prueba a fuego				
Probeta	Edad (días)	Resistencia residual (kg/cm <sup>2</sup> )	Valoración	%
Convencional	60.00	296.54	Buena	75.00
Convencional	90.00	296.54	Buena	75.00
Convencional	120.00	296.54	Buena	75.00
<b>Promedio</b>		<b>296.54</b>	<b>Buena</b>	<b>75.00</b>

**OBSERVACIONES:****Degradación del concreto (desempeño estrés)**

Por calcinación incipiente (formación de microfisuras cuarteduras) (0 °C a 300 °C) (color gris oscuro).

Por calcinación superficial (descarbonatación, fisuramiento térmico) (300 °C a 300 °C) (color rosado).

Por calcinación avanzada (pérdida de masa, delaminación o descascamiento) (600 °C a 900 °C) (color gris claro).

Nota: Las probetas convencionales fueron elaboradas por el tesista.

Chiclayo, 08 de marzo del 2024



## Anexo 32. Prueba a fuego de concreto experimental (1<sup>era</sup> adición) (60, 90, 120 días)



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESIS : Marcos Luis Chauquín Vergara  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 ENSAYO : Prueba a fuego de cilindros de concreto experimental (1<sup>era</sup> adición: 25% CMR + 75% GS)  
 REFERENCIA : ASTM E-119

Correlación de temperatura	
t (hrs)	Temp. llegada (°C)
0.083	538 ≤
0.17	538 ≤ 704
0.5	704 ≤ 843
1	843 ≤ 927
2	927 ≤ 1010
4	1010 ≤ 1093
> 8	≥ 1260

Calidad residual			
Color	Temp. (°C)	Resistencia residual (% inicial)	Valoración
Ninguno	-300	100 ≤ 80	Muy buena (100%)
Rosado	300 ≤ 600	80 ≤ 40	Buena (75%)
Grisáceo	600 ≤ 900	40 ≤ 20	Regular (50%)
Amarillento	900 ≤ 1200	20 ≤ 0	Mala (20%)

	<p>fc prom. a los 28 días = 305.23 kg/cm<sup>2</sup>                      Edad de probeta = 60.00 días                      Tiempo de exposición = 0.50 hrs                      Temperatura llegada = 605.50 °C                      Color = Rosado grisáceo                      Temperatura corregida = 348.50 °C                      Resistencia residual = 80.00 %                      Resistencia residual = 244.18 kg/cm<sup>2</sup>                      Valoración = Buena calidad                      Valoración = 75.00 %</p> <p>Conclusión = Concreto de buena calidad al 75%, cuya resistencia residual al 80% fue de 244.18 kg/cm<sup>2</sup></p>	
	<p>fc prom. a los 28 días = 305.23 kg/cm<sup>2</sup>                      Edad de probeta = 90.00 días                      Tiempo de exposición = 0.50 hrs                      Temperatura llegada = 783.30 °C                      Color = Rosado grisáceo                      Temperatura corregida = 499.70 °C                      Resistencia residual = 80.00 %                      Resistencia residual = 244.18 kg/cm<sup>2</sup>                      Valoración = Buena calidad                      Valoración = 75.00 %</p> <p>Conclusión = Concreto de buena calidad al 75%, cuya resistencia residual al 80% fue de 244.18 kg/cm<sup>2</sup></p>	
	<p>fc prom. a los 28 días = 305.23 kg/cm<sup>2</sup>                      Edad de probeta = 120.00 días                      Tiempo de exposición = 0.50 hrs                      Temperatura llegada = 609.40 °C                      Color = Rosado grisáceo                      Temperatura corregida = 455.90 °C                      Resistencia residual = 80.00 %                      Resistencia residual = 244.18 kg/cm<sup>2</sup>                      Valoración = Buena calidad                      Valoración = 75.00 %</p> <p>Conclusión = Concreto de buena calidad al 75%, cuya resistencia residual al 80% fue de 244.18 kg/cm<sup>2</sup></p>	



Diagnóstico de durabilidad indirecta por prueba a fuego				
Probeta	Edad (días)	Resistencia residual (kg/cm <sup>2</sup> )	Valoración	%
1 <sup>era</sup> adición	60.00	244.18	Buena	75.00
1 <sup>era</sup> adición	90.00	244.18	Buena	75.00
1 <sup>era</sup> adición	120.00	244.18	Buena	75.00
<b>Promedio</b>		<b>244.18</b>	<b>Buena</b>	<b>75.00</b>

**OBSERVACIONES:****Degradación del concreto (desempeño estrés)**

Por calcinación incipiente (formación de microfisuras cuarteduras) (0 °C a 300 °C) (color gris oscuro).

Por calcinación superficial (descarbonatación, fisuramiento térmico) (300 °C a 300 °C) (color rosado).

Por calcinación avanzada (pérdida de masa, delaminación o descascamiento) (600 °C a 900 °C) (color gris claro).

Nota: Las probetas convencionales fueron elaboradas por el tesista.

Chiclayo, 08 de marzo del 2024



### Anexo 33. Prueba a fuego de concreto experimental (2<sup>da</sup> adición) (60, 90, 120 días)



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESISISTA : Marcos Luis Chuquilín Vergara  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 ENSAYO : Prueba a fuego de cilindros de concreto experimental (2<sup>da</sup> adición: 50% CMR + 50% GS)  
 REFERENCIA : ASTM E-119

Correlación de temperatura	
t (hrs)	Temp. llegada (°C)
0.083	538 ≤
0.17	538 ≤ 704
0.5	704 ≤ 843
1	843 ≤ 927
2	927 ≤ 1010
4	1010 ≤ 1093
> 8	≥ 1260

Calidad residual			
Color	Temp. (°C)	Resistencia residual (% inicial)	Valoración
Ninguno	-300	100 ≤ 80	Muy buena (100%)
Rosado	300 ≤ 600	80 ≤ 40	Buena (75%)
Grisáceo	600 ≤ 900	40 ≤ 20	Regular (50%)
Amarillento	900 ≤ 1200	20 ≤ 0	Mala (20%)

	fe prom. a los 28 días = 310.92 kg/cm <sup>2</sup> Edad de probeta = 60.00 días Tiempo de exposición = 0.50 hrs Temperatura llegada = 605.50 °C Color = Rosado Temperatura corregida = 348.50 °C Resistencia residual = 80.00 % Resistencia residual = 248.74 kg/cm <sup>2</sup> Valoración = Buena calidad Valoración = 75.00 % Conclusión = Concreto de buena calidad al 75%, cuya resistencia residual al 80% fue de 248.74 kg/cm <sup>2</sup>	
	fe prom. a los 28 días = 310.92 kg/cm <sup>2</sup> Edad de probeta = 90.00 días Tiempo de exposición = 0.50 hrs Temperatura llegada = 783.30 °C Color = Rosado grisáceo Temperatura corregida = 513.30 °C Resistencia residual = 80.00 % Resistencia residual = 248.74 kg/cm <sup>2</sup> Valoración = Buena calidad Valoración = 75.00 % Conclusión = Concreto de buena calidad al 75%, cuya resistencia residual al 80% fue de 248.74 kg/cm <sup>2</sup>	
	fe prom. a los 28 días = 310.92 kg/cm <sup>2</sup> Edad de probeta = 120.00 días Tiempo de exposición = 0.50 hrs Temperatura llegada = 609.40 °C Color = Rosado grisáceo Temperatura corregida = 372.70 °C Resistencia residual = 80.00 % Resistencia residual = 248.74 kg/cm <sup>2</sup> Valoración = Buena calidad Valoración = 75.00 % Conclusión = Concreto de buena calidad al 75%, cuya resistencia residual al 80% fue de 248.74 kg/cm <sup>2</sup>	



Diagnóstico de durabilidad indirecta por prueba a fuego				
Probeta	Edad (días)	Resistencia residual (kg/cm <sup>2</sup> )	Valoración	%
2 <sup>da</sup> adición	60.00	248.74	Buena	75.00
2 <sup>da</sup> adición	90.00	248.74	Buena	75.00
2 <sup>da</sup> adición	120.00	248.74	Buena	75.00
<b>Promedio</b>		<b>248.74</b>	<b>Buena</b>	<b>75.00</b>

**OBSERVACIONES:****Degradación del concreto (desempeño estrés)**

Por calcinación incipiente (formación de microfisuras cuarteduras) (0 °C a 300 °C) (color gris oscuro).

Por calcinación superficial (descarbonatación, fisuramiento térmico) (300 °C a 300 °C) (color rosado).

Por calcinación avanzada (pérdida de masa, delaminación o descascaramiento) (600 °C a 900 °C) (color gris claro).

Nota: Las probetas convencionales fueron elaboradas por el tesista.

Chiclayo, 08 de marzo del 2024



### Anexo 34. Prueba a fuego de concreto experimental (3<sup>era</sup> adición) (60, 90, 120 días)



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental  
 TESIS : Marcos Luis Chuquín Vergara  
 TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos  
 UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú  
 ENSAYO : Prueba a fuego de cilindros de concreto experimental (3<sup>era</sup> adición: 75% CMR + 25% GS)  
 REFERENCIA : ASTM E-119

Correlación de temperatura	
t (hrs)	Temp. llegada (°C)
0.083	538 ≤
0.17	538 ≤ 704
0.5	704 ≤ 843
1	843 ≤ 927
2	927 ≤ 1010
4	1010 ≤ 1093
> 8	≥ 1260

Calidad residual			
Color	Temp. (°C)	Resistencia residual (% inicial)	Valoración
Ninguno	-300	100 ≤ 80	Muy buena (100%)
Rosado	300 ≤ 600	80 ≤ 40	Buena (75%)
Grisáceo	600 ≤ 900	40 ≤ 20	Regular (50%)
Amarillento	900 ≤ 1200	20 ≤ 0	Mala (20%)

		fe prom. a los 28 días = 281.09 kg/cm <sup>2</sup> Edad de probeta = 60.00 días Tiempo de exposición = 0.50 hrs Temperatura llegada = 605.50 °C Color = Grisáceo Temperatura corregida = 339.50 °C Resistencia residual = 40.00 % Resistencia residual = 112.44 kg/cm <sup>2</sup> Valoración = Regular calidad Valoración = 50.00 % Conclusión = Concreto de regular calidad al 50%, cuya resistencia residual al 40% fue de 112.44 kg/cm <sup>2</sup>	
		fe prom. a los 28 días = 281.09 kg/cm <sup>2</sup> Edad de probeta = 90.00 días Tiempo de exposición = 0.50 hrs Temperatura llegada = 783.30 °C Color = Grisáceo Temperatura corregida = 455.90 °C Resistencia residual = 40.00 % Resistencia residual = 112.44 kg/cm <sup>2</sup> Valoración = Regular calidad Valoración = 50.00 % Conclusión = Concreto de regular calidad al 50%, cuya resistencia residual al 40% fue de 112.44 kg/cm <sup>2</sup>	
		fe prom. a los 28 días = 281.09 kg/cm <sup>2</sup> Edad de probeta = 120.00 días Tiempo de exposición = 0.50 hrs Temperatura llegada = 609.40 °C Color = Grisáceo Temperatura corregida = 341.40 °C Resistencia residual = 40.00 % Resistencia residual = 112.44 kg/cm <sup>2</sup> Valoración = Regular calidad Valoración = 50.00 % Conclusión = Concreto de regular calidad al 50%, cuya resistencia residual al 40% fue de 112.44 kg/cm <sup>2</sup>	

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
**USAT**  
  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Diagnóstico de durabilidad indirecta por prueba a fuego				
Probeta	Edad (días)	Resistencia residual (kg/cm <sup>2</sup> )	Valoración	%
3 <sup>era</sup> adición	60.00	112.44	Regular	50.00
3 <sup>era</sup> adición	90.00	112.44	Regular	50.00
3 <sup>era</sup> adición	120.00	112.44	Regular	50.00
<b>Promedio</b>		<b>112.44</b>	<b>Regular</b>	<b>50.00</b>

**OBSERVACIONES:****Degradación del concreto (desempeño estrés)**

Por calcinación incipiente (formación de microfisuras cuarteduras) (0 °C a 300 °C) (color gris oscuro).

Por calcinación superficial (descarbonatación, fisuramiento térmico) (300 °C a 300 °C) (color rosado).

Por calcinación avanzada (pérdida de masa, delaminación o descascaramiento) (600 °C a 900 °C) (color gris claro).

Nota: Las probetas convencionales fueron elaboradas por el tesista.

Chiclayo, 08 de marzo del 2024



## Anexo 35. Curva de tendencia de resistencias residual por prueba a fuego



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - USAT

ESCUELA : Ingeniería Civil Ambiental

TESISTA : Marcos Luis Chuquilin Vergara

TESIS : Análisis de viabilidad del uso combinado de ceniza de madera roble y gránulos de silicio para concreto de pavimentos rígidos

UBICACIÓN : Chiclayo, Lambayeque - Perú

ENSAYO : Prueba a fuego de cilindros de concreto convencional y experimental

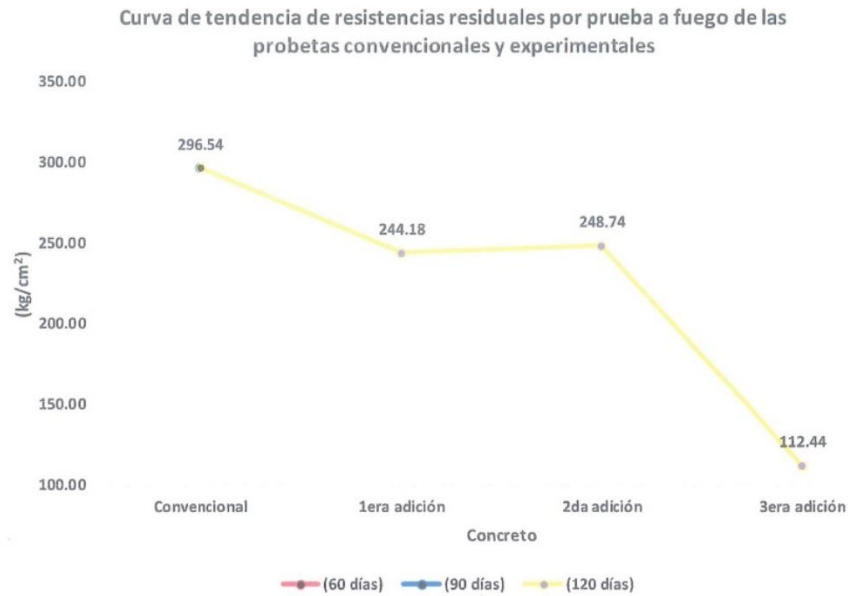
REFERENCIA : ASTM E-119

Diagnóstico de durabilidad indirecta por prueba a fuego					
Probeta	Resistencia residual			Valoración (promedio)	%
	(kg/cm <sup>2</sup> ) (60 días)	(kg/cm <sup>2</sup> ) (90 días)	(kg/cm <sup>2</sup> ) (120 días)		
Convencional	296.54	296.54	296.54	Buena	75.00
1 <sup>era</sup> adición	244.18	244.18	244.18	Buena	75.00
2 <sup>da</sup> adición	248.74	248.74	248.74	Buena	75.00
3 <sup>era</sup> adición	112.44	112.44	112.44	Regular	50.00

Chiclayo, 11 de marzo del 2024



## CURVA DE TENDENCIA DE RESISTENCIA RESIDUAL POR PRUEBA A FUEGO



### Tendencia probabilística de los concretos experimentales

Desviación estándar ( $\sigma$ )	f'c residual (kg/cm <sup>2</sup> )	Pesos unitarios del concreto convencional y experimental por durabilidad post fuego (kg/m <sup>3</sup> )	
$\sigma_{\text{muestra 1}^{\text{era}} \text{ adición}}$	0.00	1688.64	Patrón
$\sigma_{\text{muestra 2}^{\text{da}} \text{ adición}}$	0.00		
$\sigma_{\text{muestra 3}^{\text{era}} \text{ adición}}$	0.00	1670.48	1 <sup>era</sup> adición
$\Sigma_{\text{total}} \sigma_{\text{muestras}}$	0.00		
Prom. $\sigma_{\text{muestras}}$	0.00		
Prom. $\sigma_{\text{muestras}} / \Sigma_{\text{total}} \sigma_{\text{muestras}}$	0.33	1640.89	2 <sup>da</sup> adición
<b>Tendencia (+) (%)</b>	<b>33.33</b>	<b>1530.89</b>	<b>3<sup>era</sup> adición</b>
		<b>f'c residual real post fuego</b>	
f'c residual promedio (patrón)	296.54	262.56	kg/cm <sup>2</sup>
f'c residual promedio (1 <sup>era</sup> adición)	244.18	216.21	kg/cm <sup>2</sup>
f'c residual promedio (2 <sup>da</sup> adición)	248.74	220.24	kg/cm <sup>2</sup>
f'c residual promedio (3 <sup>era</sup> adición)	112.44	187.40	kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.



## Anexo 36. Memoria fotográfica

### Ensayos químicos



Figura 7. Muestras para determinación del pH.

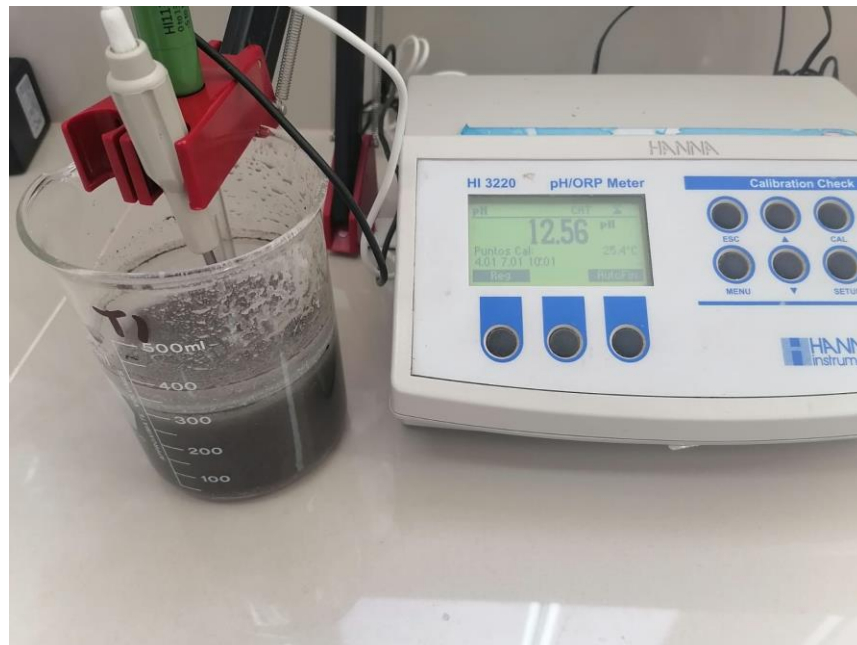


Figura 8. pH de la 1<sup>ra</sup> adición: 80% CPTI + 20 % AC (25% CMR + 75% GS) + AF + AG.

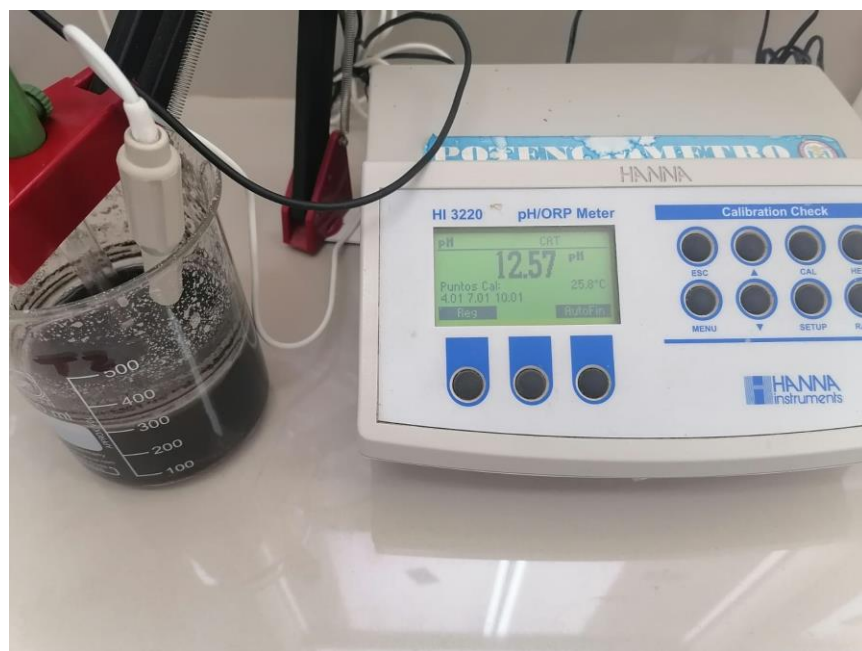


Figura 9. pH de la 2<sup>da</sup> adición: 80% CPTI + 20 % AC (50% CMR + 50% GS) + AF + AG.



Figura 10. pH de la 3<sup>era</sup> adición: 80% CPTI + 20 % AC (75% CMR + 25% GS) + AF + AG.

## Ensayos físicos



Figura 11. Granulometría de agregados.



Figura 12. Pesos secos sueltos de agregados.



Figura 13. Pesos secos compactados de agregados.



Figura 14. Pesos específicos de agregados.

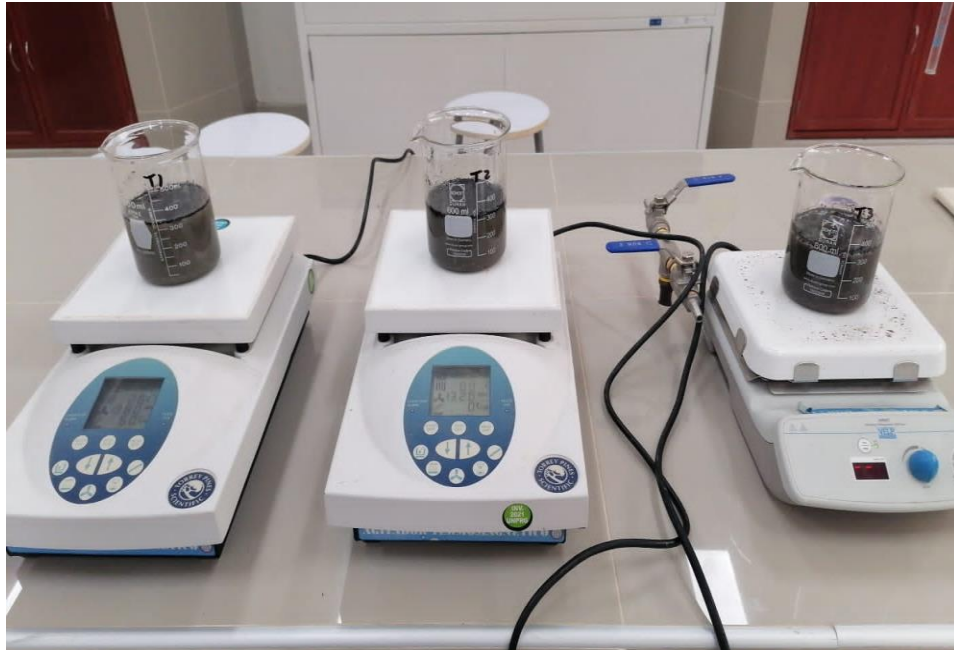


Figura 15. Pesos específicos de ceniza de madera roble y gránulos de silicio.



Figura 16. Hum. agreg.



Figura 17. Absorción en agreg.

### Slump de diseños



Figura 18. Slump de diseño de mezcla convencional.



Figura 19. Slump de diseño de mezcla experimental (1<sup>era</sup> adición).



Figura 20. Slump experimental (2<sup>da</sup> adición).



Figura 21. Slump experimental (3<sup>era</sup> adición).



Figura 22. Pesos de probetas convencionales y experimentales en estados frescos.



Figura 23. Probetas convencionales y experimentales.

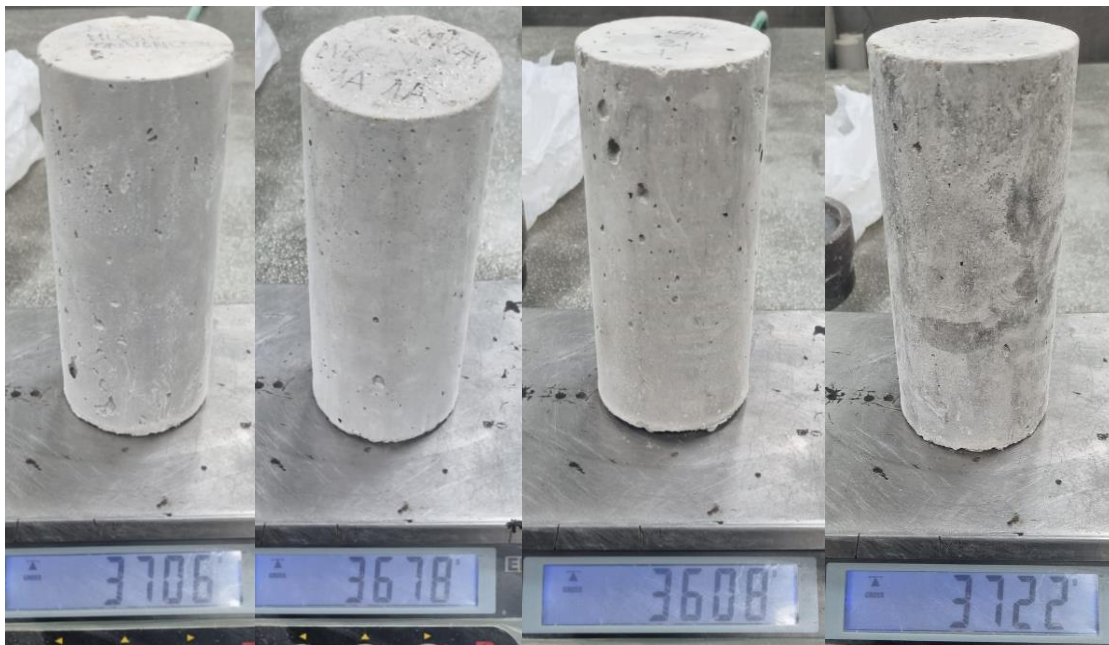


Figura 24. Pesos de probetas convencionales y experimentales en estados endurecidos.

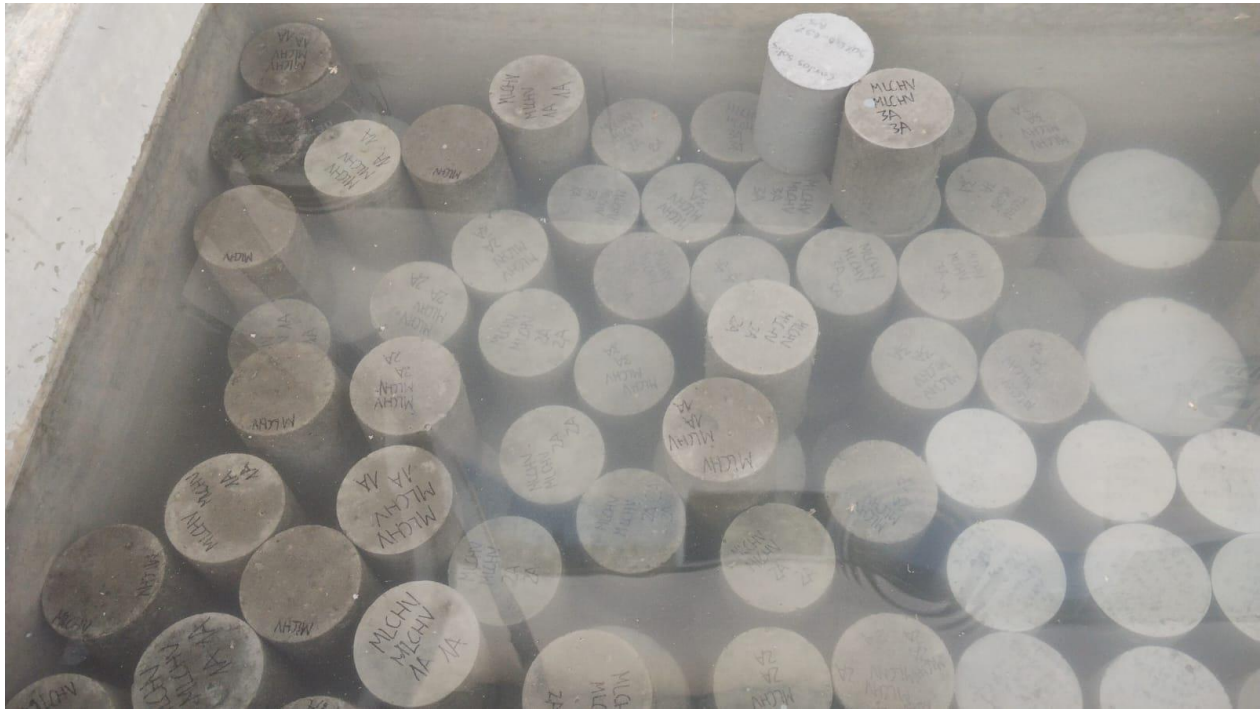


Figura 25. Testigos convencionales con experimentales sumergidos en agua.



Figura 26. Medición con rotura en probetas convencionales y experimentales.



Figura 27. Núcleos de concreto convencional y experimental para prueba de desgaste.



Figura 28. Sondeo de desgaste en probetas convencionales y experimentales.



Figura 29. Probetas convencionales y experimentales para prueba a fuego.



Figura 30. Evaluación por efecto de temperatura en probetas convencionales y experimentales.