

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

MENCIÓN: INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN

TESIS:

**OPTIMIZACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO ECOLÓGICO
CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE Y FIBRA DE POLIPROPILENO PARA
PAVIMENTOS RÍGIDOS, UTILIZANDO AGREGADOS DE CONCRETO
RECICLADO.**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presentada por:

Bachiller: ANGEL JOHAN PÉREZ TIRADO

Asesor:

M. Cs. MARCO SILVA SILVA

Cajamarca - Perú

2019

COPYRIGHT © 2019 by
ANGEL JOHAN PÉREZ TIRADO
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

MENCIÓN: INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN

TESIS APROBADA:

**OPTIMIZACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO ECOLÓGICO
CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE Y FIBRA DE POLIPROPILENO PARA
PAVIMENTOS RÍGIDOS, UTILIZANDO AGREGADOS DE CONCRETO
RECICLADO.**

Para optar el Grado Académico de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presentada por:
Bachiller: ANGEL JOHAN PÉREZ TIRADO

JURADO EVALUADOR

M.Cs. Marco Antonio Silva Silva
Asesor

Dra. Rosa Haydee Llique Mondragón
Jurado Evaluador

M.Cs. Yvonne Katherine Fernández León
Jurado Evaluador

M.Cs. Manuel Lincoln Minchán Pajares
Jurado Evaluador

Cajamarca – Perú

2019



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD

Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 10.00 horas del día miércoles 12 de junio de dos mil diecinueve, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por la **Dra. ROSA HAYDEE LLIQUE MONDRAGÓN** y, **M.Cs. YVONNE KATHERINE FERNÁNDEZ LEÓN**, **M.Cs. MANUEL LINCOLN MINCHÁN PAJARES**, y en calidad de Asesor el **M.Cs. MARCO ANTONIO SILVA SILVA**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: **OPTIMIZACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO ECOLÓGICO CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE Y FIBRA DE POLIPROPILENO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO.**

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBADA con la calificación de DIECIOCHO (18) - EXCELENTE la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bach. en Ingeniería Civil ANGEL JOHAN PÉREZ TIRADO**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, con Mención en **INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN.**

Siendo las 11.00 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
M.Cs. Marco Antonio Silva Silva
Asesor

.....
Dra. Rosa Haydee Llique Mondragón
Jurado Evaluador

.....
M.Cs. Yvonne Katherine Fernández León
Jurado Evaluador

.....
M.Cs. Manuel Lincoln Minchán Pajares
Jurado Evaluador

A:

Mi madre amada Irma, por su amor, apoyo y sacrificio en todos estos años, en su labor de padre y madre para mí; gracias a usted he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, una persona con sueños y objetivos en la vida.

Mis amigos, que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora seguimos siendo amigos; que sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la vida y permitirme llegar a este momento especial que es la culminación del presente trabajo de investigación.

A mi madre por haberme apoyado permanente en los momentos que más lo he necesitado.

Expreso mi más sincero agradecimiento y reconocimiento a la Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela de Posgrado, por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su claustro para poder estudiar mi maestría.

Agradezco de manera muy especial a mi ex asesor el M. en I. Héctor Pérez Loayza, que en paz descansa, por haberme brindado su amistad y la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento así como también por haberme tenido toda la paciencia del mundo; de igual manera a mi presente asesor M. Cs. Marco Silva Silva por haberme guiado durante el desarrollo de mi trabajo de investigación.

Finalmente, expreso mi más cordial agradecimiento a Patricia León Angulo, persona muy especial en mi vida; y a mis amigos: Armando Asencio Sangay, Percy Infante Chávez, Jeanpierre Zafra Rabanal, Fanny Lulichac Saenz, Mireya Estefany Sánchez Díaz, Andersson Rodríguez Chávarry, Arturo Villanueva Sánchez, Guillermo Chávez Vílchez, Carmen Pérez Villar, por su apoyo y amistad que de una u otra manera contribuyeron hacer realidad el presente trabajo de investigación.

Conserva lo que tienes, olvida lo que te duele, lucha por lo que quieres, valora lo que posees, perdona a los que te hieren y disfruta a los que te aman.

-Bob Marley

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE CUADROS	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS	xxi
GLOSARIO	xxii
RESUMEN	xxiii
ABSTRACT	xxiv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.1. Contextualización	1
1.1.2. Descripción del problema	2
1.1.3. Formulación del problema	4
1.2. Justificación e importancia	4
1.2.1. Justificación	4
1.2.2. Importancia	6
1.3. Delimitación de la investigación	6
1.3.1. Delimitación espacial	6
1.3.2. Delimitación temporal	7
1.3.3. Delimitación del universo	7
1.3.4. Delimitación del contenido	7
1.4. Limitaciones	7
1.5. Objetivos	8
1.5.1. Objetivo General	8

1.5.2. Objetivos Específicos.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial	9
2.2. Bases Teóricas.....	13
2.2.1. Concreto Ecológico.....	13
2.2.2. Ensayos de laboratorio.....	37
2.2.3. Pavimentos rígidos de concreto ecológico.....	38
2.3. Marco conceptual	50
2.3.1. Nanosílice.....	50
2.3.2. Fibra de polipropileno.....	50
2.3.3. Concreto Ecológico.....	51
2.3.4. Pavimentos rígidos de concreto ecológico.....	52
2.3.5. Agregados de concreto reciclado.....	52
2.3.6. Resistencia a la compresión del concreto.....	53
2.3.7. Resistencia a la flexión del concreto.....	53
2.4. Definición de términos básicos	53
CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS Y VARIABLES	55
3.1. Hipótesis.....	55
3.1.1. Hipótesis General.....	55
3.1.2. Hipótesis Específicas.....	55
3.2. Variables.....	55
3.2.1. Variable Independiente.....	55
3.2.2. Variable Dependiente.....	55
3.3. Operacionalización de los componentes de las hipótesis	56
CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO.....	57
4.1. Ubicación Geográfica	57
4.2. Diseño de la Investigación	58
4.2.1. Origen de los agregados de concreto reciclado.....	59
4.2.2. Materiales utilizados en el estudio.....	60
4.2.3. Metodología para el diseño del concreto ecológico.....	62

4.2.4. Especímenes con diferentes tipos de mezcla.....	75
4.2.5. Elaboración de los especímenes para los ensayos mecánicos.....	77
4.2.6. Curado de especímenes.....	80
4.2.7. Variables de evaluación del estudio.....	81
4.3. Método de la Investigación	87
4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación	87
4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información	90
4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	90
4.7. Equipos, materiales, insumos, etc.....	91
4.8. Matriz de consistencia metodológica	91
<i>CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</i>	<i>93</i>
5.1. Presentación de resultados	93
5.1.1. Análisis de la consistencia de la mezcla	93
5.1.2. Análisis del peso unitario del concreto en estado fresco.....	94
5.1.3. Análisis del peso unitario del concreto en estado endurecido	95
5.1.4. Análisis de la resistencia promedio a compresión	96
5.1.5. Análisis de la resistencia promedio a flexión	98
5.1.6. Análisis del ancho y longitud de fisura en especímenes a flexión.....	101
5.1.7. Análisis del módulo de elasticidad	102
5.1.8. Análisis de la permeabilidad del concreto ecológico	104
5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados	107
5.2.1. Análisis de la consistencia de la mezcla	107
5.2.2. Análisis del peso unitario del concreto en estado fresco.....	107
5.2.3. Análisis del peso unitario del concreto en estado endurecido	108
5.2.4. Análisis de la resistencia promedio a compresión	108
5.2.5. Análisis de la resistencia promedio a flexión	109
5.2.6. Análisis del ancho y longitud de fisura en especímenes a flexión.....	110
5.2.7. Análisis del módulo de elasticidad	111
5.2.8. Análisis de la permeabilidad del concreto ecológico	112
5.3. Contrastación de hipótesis	114
<i>CONCLUSIONES</i>	<i>115</i>

RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
APÉNDICES.....	123
Apéndice I: Propiedades físicas y mecánicas de los agregados.....	123
Apéndice II: Diseño de mezclas I-IP-AG-AF.....	133
Apéndice III: Diseño de mezclas I-IP-AG-AF-FPM.....	143
Apéndice IV: Diseño de mezclas II-IP-AG-AF-AN.....	146
Apéndice V: Diseño de mezclas II-IP-AG-AF-AN-FPM.....	157
Apéndice VI: Peso Unitario del concreto fresco	162
Apéndice VII: Resistencia a compresión de pruebas patrones	165
Apéndice VIII: Cálculo de curva Intensidad – Duración – Frecuencia	166
Apéndice IX: Diseño de pavimento ecológico.....	174
Apéndice X: Resultados de los ensayos mecánicos.....	179
Apéndice XI: Curvas representativas de carga vs deformación y esfuerzo vs deformación unitaria del ensayo a compresión	203
Apéndice XII: Panel Fotográfico.....	212
Apéndice XIII: Plano de prototipo de pavimentación con concreto ecológico.....	243
ANEXOS	245
Anexo I: Ficha técnica del cemento utilizado	245
Anexo II: Ficha técnica y Certificado de calidad del aditivo utilizado	246
Anexo III: Ficha técnica de la fibra utilizada	249
Anexo IV: Coeficientes de Escorrentía	253
Anexo V: Certificado de laboratorio de ensayos de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca	254

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Norma NTP 339.088</i>	33
<i>Tabla 2: Resumen comparativo de propiedades físicas de materiales en estudio usados regularmente en el hormigón</i>	35
<i>Tabla 3: Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para Agregados</i>	38
<i>Tabla 4: Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para el Concreto</i>	38
<i>Tabla 5: Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para el Cemento</i>	38
<i>Tabla 6: Espesores Mínimos recomendados para el total de Pavimentos Ecológicos (Debo y Reese, 1995) ...</i>	41
<i>Tabla 7: Características estructurales de los materiales que componen las capas de base y subbase</i>	41
<i>Tabla 8: Resumen de los datos técnicos de la fibra de polipropileno Sika® Force PP 48</i>	61
<i>Tabla 9: Consistencias del concreto según el ACI 211.3R-02</i>	65
<i>Tabla 10: Valor b/b_0 efectivo</i>	66
<i>Tabla 11: Resumen de diseño – inicial (Código I-IP-AG-AF-1)</i>	70
<i>Tabla 12: Resumen de diseño - primer reajuste (Código I-IP-AG-AF-2)</i>	71
<i>Tabla 13: Resumen de diseño - segundo reajuste (Código I-IP-AG-AF-3 : Código I-D)</i>	71
<i>Tabla 14: Resumen de diseño - segundo reajuste y fibras de polipropileno (Código I-D-FPM)</i>	72
<i>Tabla 15: Resumen de diseño – inicial (Código II-IP-AG-AF-AN-1)</i>	73
<i>Tabla 16: Resumen de diseño - primer reajuste (Código II-IP-AG-AF-AN-2)</i>	74
<i>Tabla 17: Resumen de diseño-segundo reajuste (Código II-IP-AG-AF-AN-3 : Código II-D-AN)</i>	74
<i>Tabla 18: Resumen de diseño - segundo reajuste con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno (Código II-D-AN-FPM)</i>	75
<i>Tabla 19: Asentamiento del concreto según los diferentes tipos de mezclas</i>	93
<i>Tabla 20: Peso unitario del concreto en estado fresco según los diferentes tipos de mezclas</i>	94
<i>Tabla 21: Peso unitario del concreto en estado endurecido según los diferentes tipos de mezclas</i>	95
<i>Tabla 22: Promedio de ensayos a compresión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas</i>	96
<i>Tabla 23: Promedio de ensayos a flexión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas</i>	98
<i>Tabla 24: Promedio de anchos de fisura en especímenes ensayados a flexión, a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas</i>	101
<i>Tabla 25: Promedio de longitudes de fisura en especímenes ensayados a flexión, a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas</i>	101
<i>Tabla 26: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas, método ACI 318</i>	102

<i>Tabla 27: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas, método ASTM C469</i>	103
<i>Tabla 28: Permeabilidad del concreto ecológico para los diferentes tipos de mezcla</i>	104
<i>Tabla 29: Consolidado de los promedios de la permeabilidad real y la permeabilidad estimada</i>	105
<i>Tabla 30: Resumen de las propiedades de los agregados a ser empleados</i>	123
<i>Tabla 31: Asentamiento de las tandas del concreto según los diferentes tipos de mezclas</i>	123
<i>Tabla 32: Ensayo de Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción de Agregados Finos (ASTM C128 / NTP 400.022)</i>	123
<i>Tabla 33: Ensayo de Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción de Agregados Grueso (ASTM C127 / NTP 400.021)</i>	124
<i>Tabla 34: . Ensayo Calculo del Factor (f) para la Densidad (Peso Unitario) del Agregado Fino (ASTM C 29 / NTP 400.017)</i>	124
<i>Tabla 35: Ensayo de Densidad (Peso Unitario Suelto) del Agregado Fino (ASTM C 29 / NTP 400.017)</i>	124
<i>Tabla 36: Ensayo de Densidad (Peso Unitario Compactado) del Agregado Fino (ASTM C 29 / NTP 400.017)</i> 125	
<i>Tabla 37: Ensayo Calculo del Factor (f) para la Densidad (Peso Unitario) del Agregado Grueso (ASTM C 29 / NTP 400.017)</i>	125
<i>Tabla 38: Ensayo de Densidad (Peso Unitario Suelto) del Agregado Grueso (ASTM C 29 / NTP 400.017)</i>	125
<i>Tabla 39: Ensayo de Densidad (Peso Unitario Compactado) del Agregado Grueso (ASTM C 29 / NTP 400.017)</i>	125
<i>Tabla 40: Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N° 1 (ASTM C 136 / NTP 400.012)</i> ..	126
<i>Tabla 41: Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N° 2 (ASTM C 136 / NTP 400.012)</i> ..	126
<i>Tabla 42: Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N° 3 (ASTM C 136 / NTP 400.012)</i> ..	127
<i>Tabla 43: Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N° 1 (ASTM C 136 / NTP 400.012)</i>	129
<i>Tabla 44: Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N° 2 (ASTM C 136 / NTP 400.012)</i>	129
<i>Tabla 45: Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N° 3 (ASTM C 136 / NTP 400.012)</i>	130
<i>Tabla 46: Ensayo Partículas <200 para el Agregado Fino (ASTM C566 / NTP 339.185)</i>	132
<i>Tabla 47: Ensayo Contenido de Humedad para el Agregado Fino (ASTM C566 / NTP 339.185)</i>	132
<i>Tabla 48: Ensayo Contenido de Humedad para el Agregado Grueso (ASTM C566 / NTP 339.185)</i>	132
<i>Tabla 49: Resistencia al desgaste por abrasión (ASTM C131 / NTP 400.019)</i>	132
<i>Tabla 50: Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste (I-D) detallado</i>	159

<i>Tabla 51: Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste adicionado con fibras de polipropileno (I-D-FPM) detallado</i>	160
<i>Tabla 52: Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste adicionado con aditivo nanosílice (II-D-AN) detallado</i>	160
<i>Tabla 53: Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste adicionado con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno (II-D-AN-FPM) detallado</i>	161
<i>Tabla 54: Intensidades Máximas</i>	166
<i>Tabla 55: Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 5 min</i>	167
<i>Tabla 56: Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 10 min</i>	168
<i>Tabla 57: Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 30min</i>	169
<i>Tabla 58: Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 60 min</i>	170
<i>Tabla 59: Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 120 min</i>	171
<i>Tabla 60: Ajuste de intensidad máxima y tiempo de retorno</i>	172
<i>Tabla 61: Especímenes ensayados a compresión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado</i>	179
<i>Tabla 62: Especímenes ensayados a compresión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno</i>	180
<i>Tabla 63: Especímenes ensayados a compresión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice</i>	181
<i>Tabla 64: Especímenes ensayados a compresión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno</i>	182
<i>Tabla 65: Especímenes ensayados a compresión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado</i>	183
<i>Tabla 66: Especímenes ensayados a compresión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno</i>	184
<i>Tabla 67: Especímenes ensayados a compresión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice</i>	185
<i>Tabla 68: Especímenes ensayados a compresión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno</i>	186
<i>Tabla 69: Especímenes ensayados a compresión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado</i>	187
<i>Tabla 70: Especímenes ensayados a compresión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno</i>	188
<i>Tabla 71: Especímenes ensayados a compresión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice</i>	189
<i>Tabla 72: Especímenes ensayados a compresión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno</i>	190
<i>Tabla 73: Especímenes ensayados a flexión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado</i>	191

<i>Tabla 74: Especímenes ensayados a flexión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno.....</i>	<i>192</i>
<i>Tabla 75: Especímenes ensayados a flexión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice</i>	<i>193</i>
<i>Tabla 76: Especímenes ensayados a flexión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno.....</i>	<i>194</i>
<i>Tabla 77: Especímenes ensayados a flexión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado</i>	<i>195</i>
<i>Tabla 78: Especímenes ensayados a flexión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno.....</i>	<i>196</i>
<i>Tabla 79: Especímenes ensayados a flexión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice</i>	<i>197</i>
<i>Tabla 80: Especímenes ensayados a flexión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno.....</i>	<i>198</i>
<i>Tabla 81: Especímenes ensayados a flexión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado</i>	<i>199</i>
<i>Tabla 82: Especímenes ensayados a flexión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno.....</i>	<i>200</i>
<i>Tabla 83: Especímenes ensayados a flexión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice</i>	<i>201</i>
<i>Tabla 84: Especímenes ensayados a flexión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno.....</i>	<i>202</i>
<i>Tabla 85: Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado (I-D-5), 28 días</i>	<i>203</i>
<i>Tabla 86: Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno (I-D-FPM-5), 28 días.....</i>	<i>205</i>
<i>Tabla 87: Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice (II-D-AN-2), 28 días</i>	<i>207</i>
<i>Tabla 88: Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno (II-D-AN-FPM-6), 28 días</i>	<i>209</i>
<i>Tabla 89: Coeficientes de Escorrentía.....</i>	<i>253</i>

ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1: Influencia de los Agregados en el Concreto Permeable en Estado Fresco y Endurecido</i>	<i>30</i>
<i>Cuadro 2: Aspectos tecnológicos significativos entre el agregado natural y reciclado</i>	<i>32</i>
<i>Cuadro 3: Operacionalización de los componentes de las hipótesis</i>	<i>56</i>
<i>Cuadro 4: Número de especímenes ensayados</i>	<i>89</i>
<i>Cuadro 5: Matriz de consistencia metodológica</i>	<i>92</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Relación Porosidad versus Porcentaje de agregado.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2: Resistencia a la Compresión vs Contenido de Aire en Especímenes de Concreto Permeable.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3: Resistencia a la Compresión versus Peso Unitario en Concreto Permeable</i>	<i>19</i>
<i>Figura 4: Contenido de Aire para dos Grados de Compactación versus la Relación agua/material cementante (a/mc).....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 5: Resistencia a la Flexión en Vigas versus Contenido de Vacíos.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 6: Comparación entre la Resistencia a la Flexión versus Resistencia a la Compresión.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 7: Relación de la Resistencia a la Flexión versus Porcentaje de Porosidad.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 8: Tamaño de Poro versus Tamaño de Agregado.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 9: Tamaño de Poro versus Porcentaje de Agregado más grande.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 10: Percolación versus Contenido de Vacíos en cilindros</i>	<i>26</i>
<i>Figura 11: Coeficiente de seguridad de colmatación.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 12: Imagen satelital 2019 de la Ubicación del Proyecto en Estudio.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 13: Imagen satelital 2019 de la ubicación de botadero de concreto.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 14: ACI 211.3R-02, Relación entre el Contenido de Vacíos y Resistencia a la Compresión a los 28 días para Agregados de Tamaño No. 67 y No. 8 de la Norma ASTM C 33.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 15: ACI 211.3R-02, Contenido de Vacíos Mínimo para la percolación basada en pruebas y Métodos de Ensayo de la NAA-NRMCA (National Aggregates Association-National Ready Mixed Concrete Association). 67</i>	
<i>Figura 16: ACI 211.3R-02, Relación entre pasta y contenido de vacíos para agregados de Tamaño N° 7 según designación de la Norma ASTM C 33.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 17: Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 18: Equipo de ensayo de permeabilidad recomendado por el ACI 522R-10.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 19: Asentamiento vs Tipo de mezcla</i>	<i>93</i>
<i>Figura 20: Peso unitario del concreto en estado fresco vs Tipo de mezcla.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 21: Peso unitario del concreto en estado endurecido vs Tipo de mezcla.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 22: Promedio de ensayos a compresión a edad de 7 días y diferentes tipos de mezclas</i>	<i>96</i>
<i>Figura 23: Promedio de ensayos a compresión a edad de 14 días y diferentes tipos de mezclas</i>	<i>97</i>
<i>Figura 24: Promedio de ensayos a compresión a edad de 28 días y diferentes tipos de mezclas</i>	<i>97</i>
<i>Figura 25: Consolidado de los promedios de ensayos a compresión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 26: Promedio de ensayos a flexión, a edad de 7 días y diferentes tipos de mezclas</i>	<i>99</i>

<i>Figura 27: Promedio de ensayos a flexión, a edad de 14 días y diferentes tipos de mezclas</i>	<i>99</i>
<i>Figura 28: Promedio de ensayos a flexión, a edad de 28 días y diferentes tipos de mezclas</i>	<i>100</i>
<i>Figura 29: Consolidado de los promedios de ensayos a flexión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas</i>	<i>100</i>
<i>Figura 30: Promedio de anchos de fisura en especímenes ensayados a flexión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas</i>	<i>101</i>
<i>Figura 31: Promedio de longitudes de fisura en especímenes ensayados a flexión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas</i>	<i>102</i>
<i>Figura 32: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas, método ACI 318.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 33: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas, método ASTM C469</i>	<i>104</i>
<i>Figura 34: Consolidado de los promedios de la permeabilidad real y la permeabilidad estimada</i>	<i>106</i>
<i>Figura 35: Consolidado del análisis granulométrico del agregado Fino (Huso Único)</i>	<i>128</i>
<i>Figura 36: Consolidado análisis granulométrico del agregado grueso (Huso granulométrico N°67).....</i>	<i>131</i>
<i>Figura 37: Intensidad vs Tiempo (para distintos tiempos de retorno).....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 38: Intensidad vs Tiempo (para 10 años tiempo de retorno)</i>	<i>173</i>
<i>Figura 39: Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado (I-D-5), 28 días</i>	<i>204</i>
<i>Figura 40: Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno (I-D-FPM-5), 28 días.....</i>	<i>206</i>
<i>Figura 41: Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice (II-D-AN-2), 28 días</i>	<i>208</i>
<i>Figura 42: Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno (II-D-AN-FPM-6), 28 días</i>	<i>210</i>
<i>Figura 43: Cargas vs Deformaciones de cada espécimen por dosificación, 28 días</i>	<i>211</i>
<i>Figura 44: Botadero de bloques de concreto ubicado en Shudal, de donde se extrajo el agregado grueso ..</i>	<i>212</i>
<i>Figura 45: Carguío de los bloques de concreto reciclado</i>	<i>212</i>
<i>Figura 46: Carguío de los bloques de concreto reciclado al volquete.....</i>	<i>213</i>
<i>Figura 47: Traslado de los bloques de concreto reciclado a la chancadora acosta (Baños del Inca)</i>	<i>213</i>
<i>Figura 48: Rotura de bloques de concreto reciclado en bloques más pequeños</i>	<i>214</i>
<i>Figura 49: Proceso de chancado de los bloques de concreto reciclado</i>	<i>214</i>
<i>Figura 50: Obtención del agregado grueso proveniente del chancado previo</i>	<i>215</i>
<i>Figura 51: Traslado del agregado grueso de la chancadora al laboratorio de materiales de la UNC.....</i>	<i>215</i>
<i>Figura 52: Ensayos para las características físicas de los agregados</i>	<i>216</i>
<i>Figura 53: Ensayos para las características físicas de los agregados</i>	<i>217</i>

<i>Figura 54: Fibras de polipropileno macro sintéticas estructurales usadas</i>	217
<i>Figura 55: Ensayo de granulometría del agregado</i>	218
<i>Figura 56: Visita a la empresa Ulmen en la ciudad de Lima – Villa el Salvador, para la entrega del nanosílice</i>	218
<i>Figura 57: Aditivo Nanosílice usado</i>	219
<i>Figura 58: Preparación de materiales para pruebas patrones</i>	219
<i>Figura 59: Pruebas patrones de las 4 dosificaciones a realizadas (sin adiciones, con fibra, con nanosílice y con la combinación de ambas)</i>	220
<i>Figura 60: Probetas de las pruebas patrones de la 4 dosificaciones</i>	221
<i>Figura 61: Desencofrado de los especímenes para su curado</i>	221
<i>Figura 62: Rotura de los especímenes patrones para verificar su resistencia a 7 días</i>	222
<i>Figura 63: Visita al taller para la construcción de moldes metálicos de forma prismática</i>	222
<i>Figura 64: Preparación del equipo y materiales para la ejecución de las tandas</i>	223
<i>Figura 65: Preparación de la mezcla y colocado en los moldes metálicos</i>	223
<i>Figura 66: Colocado y compactado de la mezcla en el molde metálico de especímenes prismáticos</i>	224
<i>Figura 67: Consistencia de la mezcla de concreto sin adiciones</i>	225
<i>Figura 68: Culminado de la colocación de la mezcla de concreto en el molde de especímenes prismáticos</i> .	225
<i>Figura 69: Consistencia de la mezcla de concreto con fibra de polipropileno</i>	226
<i>Figura 70: Compactación de la mezcla con el martillo de proctor modificado</i>	227
<i>Figura 71: Desencofrado de los especímenes prismáticos</i>	227
<i>Figura 72: Especímenes elaborados para pruebas de permeabilidad</i>	228
<i>Figura 73: Codificación de las muestras prismáticas</i>	228
<i>Figura 74: Codificación a las muestras cilíndricas</i>	229
<i>Figura 75: Especímenes para pruebas de permeabilidad</i>	229
<i>Figura 76: Consistencia de la mezcla de concreto con nanosílice</i>	230
<i>Figura 77: Culminado de especímenes prismáticos con adición de nanosílice</i>	230
<i>Figura 78: Consistencia de la mezcla de concreto con nanosílice y fibras de polipropileno</i>	231
<i>Figura 79: Ensayo de revenimiento para medir el Slump de la mezcla de concreto</i>	231
<i>Figura 80: Verificación de Slump 0” de la mezcla de concreto</i>	232
<i>Figura 81: Especímenes prismáticos elaborados con la adición de nanosílice</i>	232
<i>Figura 82: Tanda de especímenes cilíndricos elaborados con la adición de nanosílice y fibras de polipropileno</i>	233
<i>Figura 83: Especímenes prismáticos elaborados con la adición de nanosílice y fibras de polipropileno</i>	233
<i>Figura 84: Espécimen prismático con la adición de nanosílice trasladado a la poza para su curado</i>	234

<i>Figura 85: Especímenes cilíndricos con la adición de nanosílice y fibra de polipropileno trasladados a la poza para su curado.....</i>	<i>234</i>
<i>Figura 86: Especímenes prismático con la adición de nanosílice y fibras trasladado a la poza para su curado</i>	<i>234</i>
<i>Figura 87: Curado de los especímenes en la poza</i>	<i>235</i>
<i>Figura 88: Supervisión del Ing. Marco Silva de los ensayos</i>	<i>236</i>
<i>Figura 89: Toma de medidas al permeámetro para el ensayo de permeabilidad de los especímenes de concreto.....</i>	<i>236</i>
<i>Figura 90: Ensayo de densidad de masa del concreto ecológico en estado endurecido</i>	<i>237</i>
<i>Figura 91: Verificación del tipo de fractura en los especímenes cilíndricos de concreto ecológico de las 4 dosificaciones a diferentes edades</i>	<i>238</i>
<i>Figura 92: Ensayo a flexión de especímenes de concreto ecológico de las 4 dosificaciones a diferentes edades</i>	<i>239</i>
<i>Figura 93: Especímenes retirados de la poza para someterlos a los ensayos</i>	<i>240</i>
<i>Figura 94: Ensayos a flexión con apoyo del técnico del laboratorio</i>	<i>240</i>
<i>Figura 95: Medición de las deformaciones de los especímenes de concreto ecológico.....</i>	<i>241</i>
<i>Figura 96: Especímenes de concreto ecológico con fibra de polipropileno después del ensayo a flexión</i>	<i>241</i>
<i>Figura 97: Ensayo de permeabilidad de especímenes de concreto</i>	<i>242</i>
<i>Figura 98: Codificación de muestras para ensayar.....</i>	<i>242</i>

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

MINVU: Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile.

ACI: American Concrete Institute.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

NRMCA: Nacional Ready Mixed Concrete Association

NTP: Normas técnicas peruanas

UTM: Universal Transverse Mercator

GLOSARIO

Cemento Portland. Es un cemento hidráulico que cuando se mezcla con áridos y agua, tiene la propiedad de conformar una masa resistente y duradera denominada concreto.

Infiltración. Movimiento del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra.

Nivel freático. Nivel donde la presión de agua de un acuífero es igual a la presión atmosférica.

Permeabilidad. Capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna.

Revenimiento. Es medir el hundimiento que sufre un tronco de cono de concreto fresco al retirarle el apoyo; para hacer esta prueba se usa un molde metálico llamado cono de Abrams.

Sika® Force PP 48. Es un refuerzo de fibra de polipropileno Macro Sintética Estructural que evita el agrietamiento de concretos y morteros.

Nanosílice. Es un aditivo de alta calidad que aumenta las resistencias mecánicas.

Concreto Reciclado. Son todos los agregados finos o gruesos que son obtenidos mediante los procesos de demolición en plantas de reciclados que se encargan de separar los agregados de materiales inservibles para la reutilización para un nuevo concreto.

Optimizar. Hace referencia a buscar la mejor manera de realizar una actividad.

RESUMEN

Este trabajo de investigación se desarrolló con el objetivo de determinar la influencia de nanosílice y fibras de polipropileno en un concreto ecológico para la optimización de su permeabilidad, que cumpla con las resistencias mecánicas adecuadas para el uso en pavimentos rígidos y que permita un buen drenaje en su colocación final. El diseño de mezclas del concreto ecológico, se realizó de acuerdo a lo especificado en las normas ACI 211. 3R – 97 y ACI 522R-10, utilizándose agregado fino de Chilete y el agregado grueso obtenido de concreto reciclado de la zona de Shudal, los cuales tienen una granulometría adecuada para el diseño; cemento Portland Tipo I Pacasmayo, fibra de polipropileno marca Sika Fiber Force PP 48 y aditivo nanosílice marca Ulmen, elaborándose 168 especímenes, divididos en cuatro grupos de acuerdo al tipo dosificación, los cuales fueron denominados de acuerdo a sus componentes: I-D (Etapa I - diseño inicial reajustado), I-D-FPM (Etapa I - diseño inicial reajustado con fibras de Polipropileno Macro sintéticas, con dosificación de 8 kg/m³ del concreto), II-D-AN (Etapa II - diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice, con dosificación de 1% del peso del cemento), II-D-AN-FPM (Etapa II - diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno Macro sintéticas). Los resultados mostraron que la dosificación óptima I-D-FPM presenta a los 28 días, una resistencia a compresión de 17.27 MPa (176.07 kg/cm²), a flexión de 3.92 MPa (39.93 kg/cm²) y permeabilidad de 32.05 mm/s, los cuales cumplen con los parámetros para ser utilizados en pavimentos tanto en los aspectos estructurales e hidráulicos, sin embargo para lograr incrementar la resistencia y plasticidad se utilizó nanosílice, obteniendo así la dosificación final (II-D-AN-FPM) cuya resistencia a compresión a los 28 días de 20.56 MPa (209.59 kg/cm²), y a flexión de 5.36 MPa (54.66 kg/cm²) y permeabilidad de 28.86 mm/s. Por lo que se concluyó que el diseño de mezclas final de concreto ecológico, cumple con los requerimientos mecánicos, permeables y de densidad, los cuales definen a un concreto permeable, necesarias para el diseño de pavimentos rígidos.

Palabras clave: Concreto ecológico, nanosílice, fibras de polipropileno, resistencia a compresión, resistencia a flexión, permeabilidad, densidad del concreto, optimización.

ABSTRACT

This research work was developed with the purpose of determining the influence of nanosilica and polypropylene fibers in an ecological concrete for the optimization of its permeability, which meets the mechanical resistances suitable for use in rigid pavements and that allow good drainage in its final placement. For this, a series of experimental tests of the ecological concrete was carried out and an optimal design dosage was determined. The design of mixtures of the ecological concrete, was made according to what is specified in the ACI 211. 3R - 97 and ACI 522R-10 standards, the materials used as the fine aggregate from Chilete and coarse aggregate that was obtained from recycled concrete. from the Shudal area, which have a suitable granulometry for the design; Pacasmayo Type I Portland cement, Sika Fiber Force PP 48 polypropylene fiber of 48mm length and Ulmen nanosilice additive. To this end, 168 specimens were prepared, divided into four groups according to the dosage type, which were named according to their components: ID (Stage I - redesigned initial design), ID-FPM (Stage I - initial design redesigned with fibers of Synthetic Macro Polypropylene), II-D-AN (Stage II - redesigned initial design with nanosilicate additive), II-D-AN-FPM (Stage II - initial design redesigned with nanosilicate additive and synthetic Macro polypropylene fibers). The experimental results showed that the optimal dosage ID-FPM presents at 28 days a compressive strength of 17.27 MPa (176.07 kg / cm²), bending of 3.92 MPa (39.93 kg / cm²) and a permeability of 32.05 mm / s, which comply with the parameters to be used in pavements in both structural and hydraulic aspects, however to achieve increased strength and plasticity, nanosilica was used to subsequently improve said characteristics thus having the final dosage (II-D-AN- FPM) whose resistance to compression at 28 days is 20.56 MPa (209.59 kg / cm²), bending at 5.36 MPa (54.66 kg / cm²) and permeability of 28.86 mm / s. Therefore, it was concluded that the design of final mixtures of ecological concrete, meets the mechanical, permeable and density requirements, which define a permeable concrete, necessary for the design of rigid pavements.

Keywords: Ecological concrete, nanosilica, polypropylene fibers, compression resistance, flexural strength, permeability, concrete density, optimization.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contextualización.

El concreto ecológico es un tipo especial de concreto que fue estudiado en la década de los setenta en Estados Unidos con el nombre de concreto permeable aplicado a pavimentos para aliviar la contaminación del sistema sanitario por las aguas de lluvias. En las últimas décadas el concreto ecológico aplicado a pavimentos ha adquirido una gran atención debido al calentamiento global lo que está provocando sequías en muchos países a nivel mundial, obligando a impulsar en los países, medidas de conservación del agua y de esta manera implementando sistemas sostenibles en las ciudades, donde los pavimentos permeables se ajustan muy bien a estas iniciativas por ser muy beneficiosos; y también ayudan a construir ciudades sostenibles porque permiten el tratamiento de las escorrentías, infiltrando esta agua al subsuelo, recargando los acuíferos o almacenando estas aguas en reservorios para luego utilizarlas en riego en sus diversas formas. (Azañedo, Chávez, & Muñoz, 2007)

Se ha desarrollado un modo alternativo de diseñar los pavimentos con concreto ecológico, cuya estructura permite el paso del agua a través de la capa superficial hacia su interior, donde se almacena si el terreno lo permite o simplemente para ser conducida a un sistema de recolección de forma controlada, logrando que el agua siga su ciclo y evitar daños de las superficies de las carreteras, calles, ciclo vías, estacionamientos, etc. (Vigil, 2012)

“Este tipo de concreto aplicado a pavimentos, cuya característica principal es la ausencia parcial o total de finos, sus resistencias mecánicas a la compresión y flexión tienden a ser inferiores a la de un concreto convencional” (Aquino, 2015).

Por consiguiente se pretende realizar la adición de materiales para contrarrestar dicho fenómeno como las fibras de polipropileno, para poder minimizar la fisuración derivados del proceso de retracción plástica en pavimentos de concreto, puesto que la adición de estas fibras dan un refuerzo secundario que aporta beneficios mientras el concreto es aún plástico. (Valero, 2015)

“De igual manera se hace necesario la aplicación de nanosílice en pavimentos rígidos, por su alta capacidad para favorecer la evolución de resistencias, sobre todo a edades muy tempranas” (Rodríguez, 2012).

En la ciudad de Cajamarca cuando se produce el período de invierno se originan fuertes lluvias y sus calles son inundadas, por lo que se necesita tener como una opción de solución técnica, al uso del concreto ecológico debido al comportamiento que posee como pavimento permeable. (Pérez A. J., 2016)

1.1.2. Descripción del problema.

Las superficies de pavimento reciben grandes volúmenes de agua de lluvias en épocas de invierno que termina desperdiándose al dirigirla directamente a los alcantarillados, tratándola como agua residual sin ser aprovechadas. (Moujir & Castañeda, 2014)

En nuestro medio existen una serie de fenómenos relacionados con la intensidad de lluvia, de las cuales se manifiestan a continuación:

La escorrentía que se genera en obras viales, hace que el agua no siga su ciclo natural, sin que se infiltre originando que los pavimentos fallen. Si bien se instalan sistemas de drenaje como canaletas, badenes, cunetas, alcantarillas, etc., para contrarrestar dicho problema, pero dichos sistemas son susceptibles a fallas y no presenta una solución definitiva para manejar la escorrentía, generando problemas en los puntos de descarga natural (quebradas y ríos), crecidas repentinas del nivel de agua, conllevando a inundaciones repentinas en zonas aledañas y/o zonas bajas. (Barahona, Martínez, & Zelaya, 2013)

Si una obra de drenaje no evacua el agua de las superficies de los pavimentos, pasos peatonales y estacionamientos puede ocasionar problemas de estancamiento, deteriorando dichas obras viales, lo que trae consigo costos de mantenimiento en las estructuras afectadas, también dichos estancamientos en superficies de pavimento generan la pérdida de adherencia entre la llanta del vehículo con la superficie del pavimento produciendo una inestabilidad de contacto entre estos, fenómeno conocido como “hidroplaneo” y en las superficies de pavimento peatonales pueden ser vectores de enfermedades como el dengue u otras. (Barahona, Martínez, & Zelaya, 2013)

También al ejecutar la construcción de nuevas vías de acceso (carreteras, calles o caminos) se está reduciendo las superficies que tiene el suelo para infiltrar el agua de lluvia, lo que ocasiona una disminución del nivel freático de los mantos acuíferos. (Barahona, Martínez, & Zelaya, 2013)

Otro problema muy común en la construcción de pavimentos rígidos es el agrietamiento del concreto que puede deberse a diversas causas como químicas, físicas, de diseño estructural y/o causas accidentales; lo que conlleva al deterioro de estos y el malestar de la población. Por consiguiente para contrarrestar dicho fenómeno se requiere la aplicación de adiciones para el concreto. (Chapoñán & Quispe, 2017)

Finalmente de la misma manera, los desechos en obras causan problemas por su volumen cuando son descargados libremente en basureros o botaderos, en los que se mezclan con los demás desechos generados por el ser humano, lo cual sobrecarga el transporte y disminuye el espacio libre para colocar los desechos domiciliarios. El mayor problema se genera cuando la descarga se realiza en pendientes o en terrenos inestables sobrecargando el suelo y provocando deslizamientos indeseados, y si este sobrepeso se realiza en terrenos con pendientes bajas, en zonas de drenaje o incluso en lechos de ríos, pueden provocar inundaciones; además el concreto es altamente perdurable, lo que implica que permanezca en los rellenos sanitarios por cientos de años. Por otra parte, el impacto ambiental que genera la extracción permanente e indetenible de los materiales vírgenes es algo que debe ser objeto de preocupación, ya que aproximadamente el 80% del volumen del concreto está conformado por agregados naturales. (Montilla & Porto, 2016)

En este contexto de los problemas anteriormente mencionados se ha considerado el estudio de concreto ecológico con adición de nanosílice, fibras de polipropileno macro sintética estructural y agregados de concreto reciclado de la zona de Cajamarca, de tal manera poder reutilizar estos agregados minimizando el impacto ambiental; es indispensable el estudio del mismo en nuestro medio y aplicarlo, debido a que nuestra ciudad presenta fuertes lluvias en épocas del año; el cual permita alcanzar una permeabilidad adecuada sin que esta comprometa su resistencia y pueda ser utilizada como una propuesta técnica para nuestra ciudad de Cajamarca; con el fin de dar una aportación en la ejecución de obras de Infraestructura Vial en la localidad. (Rodas, 2012)

1.1.3. Formulación del problema.

¿Cómo influye la adición de nanosílice y fibra de polipropileno en el concreto ecológico en la permeabilidad, utilizando agregados de concreto reciclado, para su uso en pavimentos rígidos?

1.2. Justificación e importancia

1.2.1. Justificación.

La investigación se justifica porque se pretende aplicar un diseño de concreto ecológico con adición de nanosílice y fibra de polipropileno macro sintética estructural, para la mejora de la ejecución de obras de infraestructura vial en la localidad de Cajamarca. Tratándose de que gran parte del suelo de Cajamarca es arcillosa, mediante un sistema de drenaje va a permitir el tratamiento de la escorrentía, almacenando estas aguas en reservorios para luego ser utilizadas en riego; y en mejor medida infiltrarse al subsuelo recargando los acuíferos.

Se pretende en esta investigación brindar una contribución a la sociedad al permitir que el agua filtre hacia el suelo, debido a su estructura de vacíos que otorga tener una permeabilidad al permitir la filtración del agua al subsuelo, obteniendo el beneficio de recarga de los mantos acuíferos, disminución del caudal en el sistema de aguas lluvias, lo que permitirá reducir considerablemente la saturación y posible colapso del sistema de

drenajes en períodos de lluvia intensos. Además reducirá en gran medida las películas de agua estancada en la superficie del pavimento. (Vigil, 2012)

Este concreto permite tener un pavimento eficiente y la captación, conducción, almacenamiento y aprovechamiento del volumen del agua de escorrentía que hoy en día se desaprovecha. También debido a las características de crecimiento que tendrá la infraestructura vial en la ciudad de Cajamarca a futuro y además si se tiene en cuenta la mala calidad de los pavimentos de la red vial nacional, surge como justificación el uso del concreto ecológico con fibras de polipropileno y nanosílice, como una alternativa para la ejecución de pavimentos rígidos en nuestro país. (Aquino, 2015)

Este modelo sostenible está siendo aplicado en la actualidad a la ingeniería civil, ya que representa la transformación del sector de la construcción, en función de los conceptos de reciclaje, la reutilización y la recuperación de materiales. En este sentido el concreto ecológico se ajusta a estos conceptos y permite que su tecnología sea aplicada en vías ecológicas sustentables, donde se solucionan problemas de alcantarillado. (Moujir & Castañeda, 2014)

En este estudio nace como alternativa para mitigar el efecto de agrietamiento del concreto en pavimentos, el uso de fibras de polipropileno, estas distribuidas homogéneamente dentro del concreto, constituyendo una micro armadura eficaz para contrastar la fisuración de este, y por otro lado confiere al concreto una ductilidad que puede llegar a ser considerable en la medida en que sea elevada la resistencia, dando además al concreto en tales circunstancias una gran tenacidad. (Chapoñán & Quispe, 2017)

“De igual modo se emplea nanosílice en el concreto, ya que este logra una mejoría importante en el desarrollo de la resistencia a la compresión a tempranas edades y finales, logrando una buena durabilidad del concreto” (Duarte, 2013).

Con lo referido a concreto reciclado, surge esta investigación para aprovechar estos residuos de la construcción y utilizarlos como agregados en elementos estructurales. De esta manera prolongar la vida útil de los botaderos, los ahorros de consumo de materiales vírgenes, así como la preservación de espacios naturales debido a una menor necesidad de exploración de recursos minerales. (Montilla & Porto, 2016)

La propuesta del diseño de concreto ecológico basado en la adición de nanosílice y fibra de polipropileno macro sintética estructural en el concreto, nos va a promover el desarrollo constructivo adecuado, posibilitando la optimización de recursos en la construcción como es el caso del agregado grueso a utilizar que será de concreto reciclado, contribuyendo a la reducción de los costos de ejecución de las obras ejecutadas, se hará un aporte a la mejor inversión de los recursos económicos de la localidad de Cajamarca y de esta forma se pueda ejecutar muchas más obras, con menor costo, en menores plazos de ejecución, con un mínimo impacto ambiental y con la calidad necesaria para la satisfacción de los usuarios.

1.2.2. Importancia.

El estudio que se realizó en este proyecto es importante por tratarse de la aplicación de una nueva tecnología al rubro de la construcción en Cajamarca y servirá como guía para que profesionales como empresarios, arquitectos, ingenieros e incluso autoridades de otros gobiernos locales; mejoren la calidad de vida de sus ciudadanos. (Silva, 2016)

“Servirá de base en los proyectos que se quiera realizar en el futuro y permitir además la profundización del tema con otros estudios más complejos que puedan realizar o como parte de otros trabajos de investigación” (Chapoñán & Quispe, 2017).

1.3. Delimitación de la investigación

1.3.1. Delimitación espacial.

Todos los estudios y ensayos fueron ejecutados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.

1.3.2. Delimitación temporal.

Esta tesis duró 12 meses desde el mes abril del 2018, por lo que la información y normativa obtenida de las NTP, Normas ASTM o recomendaciones ACI, puede variar respecto a los siguientes años.

1.3.3. Delimitación del universo.

La presente investigación se realizó utilizando agregado grueso de concreto reciclado de la zona de Shudal proveniente de pavimento antiguo, Cemento Portland Tipo I Pacasmayo, Fibras de Polipropileno macro sintética estructural, aditivo Nanosílice y agua usada en el campus universitario, es decir el área de estudio se circunscribe a la localidad de Cajamarca.

En la elaboración del concreto ecológico se usó Fibra de Polipropileno Macro Sintética Estructural de la marca SIKA (Sika® Fiber Force PP 48) y la adición nanosílice de la marca ULMEN, todo esto con el fin de mejorar el comportamiento del concreto ecológico y encontrar una dosificación óptima para la optimización de la permeabilidad.

1.3.4. Delimitación del contenido.

Se realizaron ensayos de resistencia a compresión del concreto ecológico diseñado para una resistencia $f'c=210$ kg/cm², ya que está enfocado a pavimentos rígidos de alto tránsito; y también se ejecutaron ensayos de resistencia a flexión, ya que es un parámetro importante para el diseño de pavimentos rígidos.

1.4. Limitaciones

La presente investigación solo será aplicada en la zona de Cajamarca, ya que los agregados utilizados son provenientes de dicha ciudad, por ende las propiedades físicas corresponden a esta localidad.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General.

- Optimizar la permeabilidad del concreto ecológico con la adición de nanosílice y fibras de polipropileno para pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Determinar la resistencia a compresión de la mezcla de concreto ecológico con adición de nanosílice, fibras de polipropileno y la combinación de ambos; con el fin de obtener una óptima permeabilidad.
- Determinar la resistencia a flexión de la mezcla de concreto ecológico con adición de nanosílice, fibras de polipropileno y la combinación de ambos; con el fin de obtener una óptima permeabilidad.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial

Antecedentes históricos de la investigación

El primer registro de aplicación en construcción del concreto permeable (concreto sin finos o arena) data del año 1852, en la construcción de dos casas en el Reino Unido. En 1930, el uso del material para la construcción de casas fue adoptado por la Asociación de Vivienda Especial de Escocia. (ACI 522R-10, 2010)

Una vez finalizada la Segunda Guerra Mundial, con gran parte de Europa devastada, escasez de mano de obra calificada y material, y una necesidad imperante de viviendas, el concreto permeable se impone como una solución contribuyendo sustancialmente a la producción de viviendas nuevas en Reino Unido, Alemania, Holanda, Francia, Bélgica, Escocia y Hungría. En Inglaterra se empleó el concreto permeable en la construcción de viviendas de dos pisos conocidas como Wimpey Houses, que se caracterizaron por su eficiencia constructiva y buenas condiciones de aislamiento. (Offenberg, 2008)

Durante los últimos 30 años las investigaciones del concreto permeable vienen en crecimiento, principalmente en países como Estados Unidos, Japón y Australia. Este material ha tomado fuerza en la industria de la construcción, siendo cada vez más común su aparición en especificaciones potenciado por la conciencia de protección y preservación medioambiental. (Arango, 2014)

Actualmente, la aplicación más común del concreto permeable es en pavimentos de bajo tráfico, no obstante, el presente trabajo está orientado para pavimentos de alto tránsito.

Antecedentes internacionales

- Vigil (2012), en su estudio: “Diseño, proceso constructivo y evaluación post construcción de un pavimento rígido de concreto permeable, San Salvador – El Salvador”; concluyó que las propiedades mecánicas e hidráulicas son las siguientes: permeabilidad de 15.92 mm/s, porcentaje de vacíos del 21.97%, resistencia a la flexión de 24 kg/cm², módulo de elasticidad estático de 2.2 x10⁵ kg/cm², desgaste por abrasión e impacto (sin esferas) en la máquina de los ángeles de un 30%. También se llegó a la conclusión de que el contenido de vacíos de un concreto permeable está en función de tres factores para una cantidad constante de pasta y son: esfuerzo de compactación, forma y superficie de textura de partículas del agregado, coeficiente de uniformidad del agregado. Agregados más redondeados producen menos contenido de vacío al mismo esfuerzo de compactación. El contenido de vacíos efectivo disminuye al incrementar el coeficiente de uniformidad del agregado.
- Trujillo & Quiroz (2013), en su estudio: “Pavimentos Porosos utilizados como sistemas alternativos al Drenaje Urbano, Bogotá – Colombia”; concluyeron que uno de los factores más importantes que determina el funcionamiento de los pavimentos porosos es la colmatación por lo que se debe garantizar el mantenimiento del mismo.
- Barahona, Martínez, & Zelaya (2013), en su estudio: “Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras, El Carmen, Aramuaca y La Pedrera, de la Zona oriental de El Salvador”; concluyeron que el uso del concreto permeable con el agregado grueso de tamaño nominal de 3/8” de las canteras el Carmen, Aramuaca y la Pedrera y según las pruebas de ASTM C-132 Y ASTM C-72 su resistencia es ideal para superficies de baja intensidad de carga. La permeabilidad y capacidad de absorción que posee el concreto de las tres canteras con el tamaño de partículas ya dichas, según la norma ACI 522 R es capaz de filtrar mucha más intensidad de lluvia de la que se ha registrado actualmente.

- Hernández & Martínez (2014), en su estudio: “Diseño de un campo de prueba piloto de pavimentos permeables en la ciudad de Cartagena, Colombia”; concluyeron que para elaborar el diseño de un campo de prueba se requieren conocer variables tales como granulometría del suelo, resistencia a corte (usando CBR), permeabilidad del suelo, caracterización de los materiales a emplear (resistencia, porosidad, tasa de infiltración), cargas de tráfico, precipitación local y registros históricos de lluvia. Además, se encontraron los siguientes resultados inesperados: el cálculo de espesor de losas varía muy poco cuando la permeabilidad cambia siempre y cuando se mantenga en el mismo tipo de suelo; la base del campo de prueba tuvo que ser modificada para que los pavimentos queden al mismo nivel, cumpliendo siempre con requerimientos de diseño.
- Moujir & Castañeda (2014), en su estudio: “Diseño y aplicación de concreto poroso en pavimentos, Cali – Colombia”; concluyeron que la relación que existe entre la porosidad y la resistencia del concreto son inversamente proporcionales, es decir a mayor cantidad de poros menores es la resistencia del concreto. Además, que el agregado grueso de ½” le permite una mejor trabajabilidad a la mezcla, de ahí que se infiere que para estos concretos lo ideal es utilizar agregados gruesos con tamaños máximos inferiores.

Antecedentes nacionales

- Calderón & Charca (2011), en su estudio: “Investigación de los pavimentos permeables de concreto poroso, Arequipa – Perú”; concluyeron que el concreto ecológico posee un alto coeficiente de permeabilidad y un menor peso unitario que el concreto normal, dependiendo básicamente de las propiedades físicas del agregado grueso, en particular del peso específico. También se llegó a la conclusión de que el concreto poroso puede ser utilizado en la construcción de veredas, estacionamientos, ciclo vías y pavimentos de tráfico ligero ya que el concreto poroso ofrece resistencias tanto a compresión y tensión para estas sollicitaciones conservando una alta permeabilidad.

Antecedentes locales

- Azañedo, Chávez & Muñoz (2007), en su estudio: “Diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera La Victoria, Cemento portland tipo I con adición de fibras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos en la ciudad de Cajamarca”; concluyeron que la tira optima fue de 4mm x 20mm x 0.10mm, con un porcentaje del 10% del peso total de la mezcla, el cual produce un incremento de 8.63% de resistencia respecto a la mezcla sin adiciones, dando una resistencia a compresión de 206.63 kg/cm² y a flexión de 39.05 kg/cm² a la edad de 28 días, también se comprobó un alto grado de porosidad, menor peso unitario que el concreto normal.
- Aquino (2015), en su estudio: “Diseño y aplicación de concreto ecológico con fibras de polipropileno para pavimentos rígidos”; concluyó que el diseño de un concreto ecológico, utilizando agregados de la cantera La Victoria, con cemento Portland tipo I con adición de fibras de polipropileno, con resistencias mecánicas adecuadas para el uso en pavimentos; genera un incremento de la resistencia respecto a la mezcla sin adiciones, dando una resistencia a compresión de 190.38 kg/cm², a la flexión de 30.69 kg/cm² y una permeabilidad de 21.53 mm/s a la edad de 28 días.
- Pérez (2016), en su estudio: “Influencia de la Fibra de Acero y Microsílice en la Resistencia a Flexión del Concreto Ecológico f’c=210kg/cm² para Pavimentos Rígidos”; concluyó que el diseño de un concreto ecológico, utilizando agregados de la cantera La Victoria, con Portland Anti salitre con Fortimax 3 Pacasmayo con adición de fibras de acero y adición de microsíllice, con resistencia mecánica del concreto de f’c = 210 kg/cm², adecuadas para el uso en pavimentos; produce un incremento de la resistencia respecto a la mezcla sin adiciones, dando una resistencia a compresión de 267.13 kg/cm², a la flexión de 55.41 kg/cm² y una permeabilidad de 21.38 mm/s a la edad de 28 días.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Concreto Ecológico.

2.2.1.1. Definición.

El concreto ecológico es un tipo especial de concreto cuya característica principal es que cuenta con un alto porcentaje de porosidad en su estructura motivo que lo hace permeable, esta porosidad que permite la infiltración del agua a través de su superficie (cemento, agregado grueso, aditivos, agua) y proporcionarle a ésta un almacenamiento temporal, para la posterior disposición o infiltración en el terreno. (Cemex, 2010)

El término "concreto ecológico" generalmente describe un asentamiento cero, granulometría clasificada, compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes producirá un material endurecido con poros conectados, que van en tamaño desde 0.08 a 0.32 pulg. (de 2 a 8 mm), que permita que el agua pase a través fácilmente. El contenido de vacíos puede variar desde 15 a 35%, con puntos fuertes típicos a la compresión de 400 a 4.000 psi (2,8 a 28 MPa). La capacidad de drenaje del pavimento de hormigón permeable variará con el tamaño y la densidad de la mezcla de agregados, pero en general caerá en el rango de 2 a 18 gal. /Min/ft² (81 hasta 730 L/min/m²). El concreto permeable es ampliamente reconocido como un material de construcción sostenible, ya que reduce la escorrentía de aguas pluviales, mejora la calidad de las aguas pluviales, pueden recargar los suministros de agua subterránea, y puede reducir el impacto del efecto isla de calor urbano. (ACI 522R-10, 2010)

2.2.1.2. Ventajas y desventajas del concreto ecológico.

El Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (2008) estipula lo siguiente:

Ventajas del concreto permeable aplicado a pavimentos rígidos.

- Toda la superficie del pavimento es 100 % permeable.
- Reduce en forma notable la temperatura de las superficies.

- Reduce en forma notable el ruido provocado por la circulación vehicular.
- Permite la reducción o incluso eliminación los drenajes pluviales.
- Evita el hidropneumático de las llantas de los autos.
- La superficie es plana ya que no necesita “bombeo”.
- Cuando se desee aplicar en usos arquitectónicos, pueden utilizarse aditivos colorantes en la mezcla, mejorando la estética urbana.
- Reduce gastos en estructuras de drenaje urbanos.

Desventajas del concreto permeable aplicado a pavimentos rígidos.

- El tipo de mantenimiento es por hidrolavado o aspiración de sedimentos.
- En muchos casos, en la temporada de clima frío se llegan a presentar problemas tales como llegar a taparse los poros.
- No se considera su uso cuando el suelo llega a tener una pendiente mayor al 20%.

2.2.1.3. Propiedades del concreto ecológico.

El concreto ecológico tiene generalmente las mismas propiedades del concreto permeable (ACI 522 y NRMCA), por lo que las diversas propiedades del concreto ecológico dependen del contenido de cemento, la relación agua - cemento (a/c), el nivel de compactación y la calidad y granulometría del agregado. El tamaño de poros en el material también impacta las propiedades de resistencia. Aunque el concreto permeable ha sido utilizado por más de 20 años en los Estados Unidos, solamente unas pocas investigaciones han sido realizadas para determinar el funcionamiento. (McCain & Dewoolkar, 2010)

2.2.1.3.1. Propiedades del concreto ecológico en estado fresco.

A. Revenimiento 0-2 mm.

Es un concreto que se caracteriza por poseer bajo revenimiento debido a la baja relación agua cemento que este posee y por el hecho de no hacer uso de poco o nada de agregado fino, no se caracteriza por ser un concreto muy fluido. (Barahona, Martínez, & Zelaya, 2013)

Según el ACI 211.3R-02 y el ACI 522R.1-10 recomienda una relación agua/material cementante entre 0.26 – 0.45, para proporcionar al agregado mejor recubrimiento y estabilidad en la mezcla.

B. Contenido de Vacíos y Peso Unitario.

El peso unitario (densidad) del concreto varía, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. En el caso del concreto permeable en vista de poseer un porcentaje significativo de vacíos la cual oscila entre el 15% y 35% según Norma ACI 522 y otros documento anexos, posee una densidad menor a los concreto convencionales siendo un aproximado de 1680kg/m^3 y 1920kg/m^3 , la cual es ideal para aplicar en pavimentos de baja intensidad. (Rodas, 2012)

La densidad del concreto permeable fresco se puede determinar por la norma ASTM C1688/C1688M (Método de prueba estándar para determinar la densidad y el contenido de vacío del concreto permeable recién mezclado), y está directamente relacionada con el contenido de vacío de una mezcla determinada. Este ensayo difiere con el establecido en la Norma ASTM C 138 (Método de Prueba Estándar para Determinar la Densidad, Rendimiento y Contenido de Aire del Concreto) en que, en lugar de utilizar la varilla con punta redondeada, se utiliza el Martillo de Proctor Estándar (5 libras) y a diferencia del ensayo convencional que se hace en tres capas con 25 golpes en cada una, en este ensayo se añade el concreto en dos capas de igual grosor y se golpea con el martillo 20 veces por capa. El peso unitario se obtiene dividiendo el peso neto del concreto (el peso del cilindro lleno de concreto menos masa del cilindro vacío menos) con el volumen del cilindro.

El contenido de vacíos depende de varios factores: graduación del agregado, contenido de material cementante, relación a/mc, esfuerzo de compactación. (Neithalath, 2004)

La influencia de la graduación del agregado en la porosidad de las muestras de concreto permeable preparadas en laboratorio se muestra en la Figura 2. Una gama de porosidad se puede obtener mediante la mezcla de agregados de dos tamaños diferentes.

Se debe prestar atención para asegurarse de que la relación de tamaño de los agregados (relación del diámetro del agregado mayor a la de los más pequeños) no es muy grande cuando se utiliza mezclas de agregado. Si la proporción es muy alta (por lo general 2.5 o más), el conjunto más pequeño llena los vacíos dejados por el más grande, reduciendo la porosidad y, en consecuencia, la permeabilidad. A pesar de las propiedades mecánicas mejoradas utilizando mezclas con grandes relaciones de tamaño, que generalmente no se recomienda porque el concreto permeable está diseñado principalmente para la permeabilidad del agua.

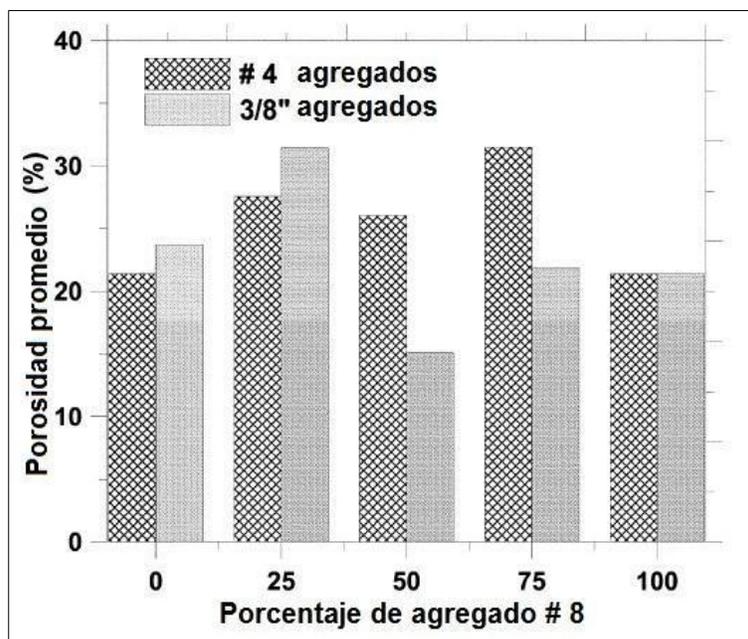


Figura 1: Relación Porosidad versus Porcentaje de agregado

Fuente: ACI 522R-10, 2010

El esfuerzo de compactación tiene una influencia sobre el contenido de vacíos, la porosidad y la densidad de una determinada mezcla de concreto permeable. En una serie de pruebas de laboratorio, una sola mezcla de concreto permeable compactado con ocho diferentes grados de esfuerzo, producen valores de peso unitario que varía de 1680 a 1920 kg/m³ (105 a 120 lb/pie³). (Meininger, 1988)

La Figura 2 muestra que esta variación del peso unitario y relacionado con el contenido de vacíos puede tener un efecto medible en la resistencia a la compresión del concreto permeable.

Para el contenido de pasta constante, el contenido de vacío se reporta para ser una función del esfuerzo de compactación, la forma y la textura de las partículas del agregado, y el coeficiente de uniformidad del agregado. (Crouch, 2006)

C. Elaboración de cilindros.

Aun no hay una norma que regule la fabricación de especímenes ni el procedimiento del ensayo para obtener una resistencia a compresión acertada. Sin embargo, el subcomité ASTM C 09.49 en Concreto Permeable ha realizado diversas pruebas demostrando que uno de los métodos más aceptados es el de llenar los cilindros de 6 x 12 pulgadas en tres capas, consolidándolos por medio de 20 golpes por capa con el martillo de Proctor Estándar (5 libras).

2.2.1.3.2. Propiedades del concreto ecológico en estado endurecido.

A. Resistencia a compresión.

“La resistencia a la compresión de concreto permeable se ve altamente afectada por la dosificación de la mezcla y el esfuerzo de compactación durante la colocación” (Meininger, 1988).

La Figura 2 muestra la relación entre la resistencia a la compresión y el contenido de vacíos en cilindros de concreto permeable y está basada en una serie de ensayos de laboratorio donde dos tamaños de agregado grueso fueron utilizados para mezclas de concreto permeable y donde el esfuerzo de compactación fue variable.

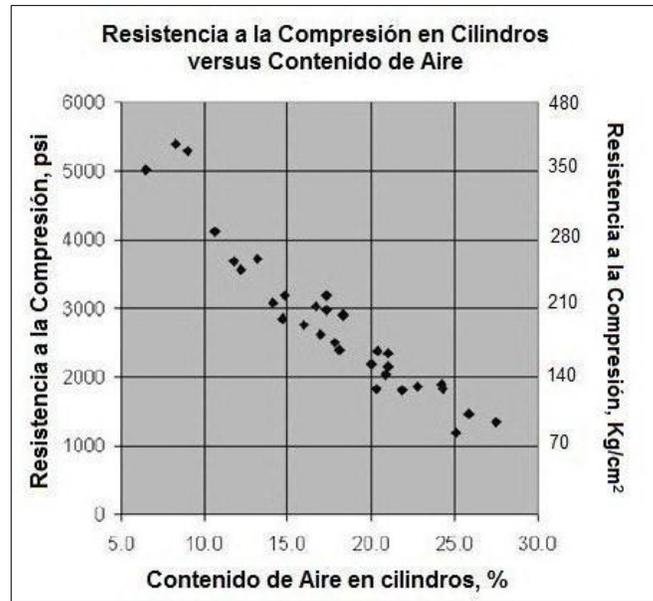


Figura 2: Resistencia a la Compresión vs Contenido de Aire en Especímenes de Concreto Permeable.

Fuente: ACI 522R-10, 2010

La Figura 2 indica que es posible obtener altas resistencias (relativamente respecto a las de un concreto convencional) para mezclas de concreto permeable, pero la alta resistencia se logra solamente con la reducción del contenido de vacíos. Esto resulta en una pérdida de eficiencia en la percolación del concreto permeable.

“Se ha reportado un decrecimiento del 11% en la resistencia a la compresión cuando la amplitud de vibración del compactador es reducida 0.086 mm (0.0034 pulgadas) de 0.127 mm (0.005 pulgadas)” (Suleiman, 2006).

Para el caso del incremento en el tamaño del agregado se reporta en una resistencia a la compresión reducida, mientras que con aditivos polímeros y minerales se ha encontrado un incremento en la resistencia a la compresión para la misma graduación de agregado. (Jing & Guiliang, 2003); Crouch (2006) reporta que: “un incremento en el módulo de finura del agregado reduce la resistencia a la compresión”. “Previene que la resistencia a la compresión de los núcleos extraídos en campo puede ser significativamente diferente a los cilindros moldeados para ensayo” (Mahboub, 2008).

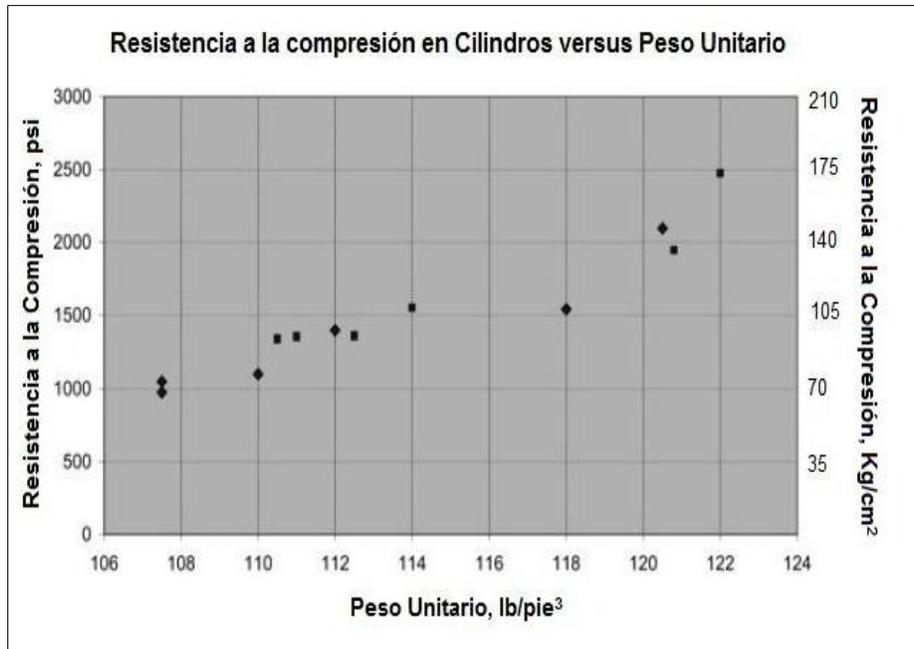


Figura 3: Resistencia a la Compresión versus Peso Unitario en Concreto Permeable
Fuente: ACI 522R-10, 2010

“En la Figura 3 se observa una relación entre la resistencia a la compresión y el peso unitario” (Mulligan, 2005). La figura está basada en otra serie de ensayos de laboratorio donde uno de los agregados gruesos fue utilizado y el esfuerzo de compactación y la relación agua/material cementante fue variable.

Aunque la relación a/c de la mezcla de concreto permeable es importante para el desarrollo de la resistencia a la compresión y para la estructura de vacíos; la relación entre la resistencia a la compresión de un concreto convencional y la relación a/c no aplica a las propiedades del concreto permeable. Una relación alta de a/c puede causar que la pasta fluya en el agregado, llenando la estructura de vacíos. Una baja relación a/c puede causar una adherencia pobre entre las partículas del agregado y por ende problemas en la colocación del concreto permeable.

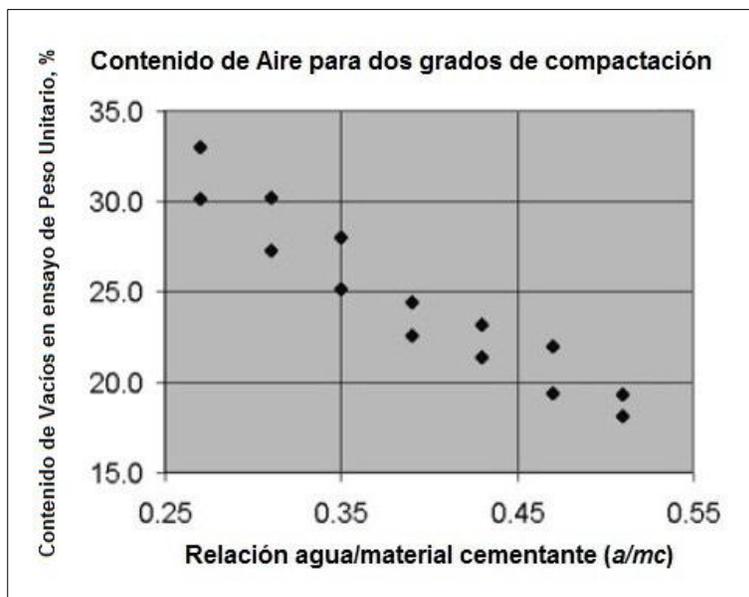


Figura 4: Contenido de Aire para dos Grados de Compactación versus la Relación agua/material cementante (a/mc).

Fuente: ACI 522R-10, 2010

“La Figura 4 muestra la relación entre la relación a/mc y el contenido de vacíos de una mezcla de concreto permeable (contenido de cemento y agregado constantes) a dos grados de compactación” (Meininger, 1988). La experiencia demuestra que una relación a/mc de 0.26 a 0.45 provee un buen recubrimiento al agregado y estabilidad en la pasta.

“Cuando es utilizado agregado fino en dosificaciones de concreto permeable el tamaño del agregado fino en relación al agregado grueso, influenciará en la porosidad, y consecuentemente, la resistencia a la compresión del material” (Onstenk, 1993).

El total del contenido de material cementante de una mezcla de concreto permeable es importante para el desarrollo de la resistencia a la compresión y contenido de vacíos. Un contenido de pasta excesiva puede resultar con sellos en la estructura de vacíos, y así reducir la porosidad. Un contenido insuficiente da como resultado una pasta con pobre recubrimiento del agregado y así obtener una resistencia a la compresión reducida.

El contenido óptimo de material cementante depende fuertemente en la graduación y el tamaño del agregado. Para el tamaño de agregado seleccionado, se debe llevar a cabo el ensayo de la fluidez del aglutinante para determinar el contenido óptimo de cemento. (Nelson & Phillips, 1994)

Otro factor que puede tener un impacto significativo en la resistencia del concreto permeable es el espesor de pasta que rodea el agregado. Esto se relaciona con el tamaño del agregado, contenido de material cementante y la relación a/mc.

B. Resistencia a la Flexión.

La Figura 5 muestra la relación entre la resistencia a flexión del concreto permeable y contenido de vacío basado en vigas ensayadas en la misma serie de ensayos de laboratorios. Aunque estos resultados están basados en un número limitado de especímenes, comparando los datos de la Figura 2 y Figura 5 indica que existe la relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión del concreto permeable. Esta relación, como la resistencia a la compresión, depende de muchas variables. (Meininger, 1988)

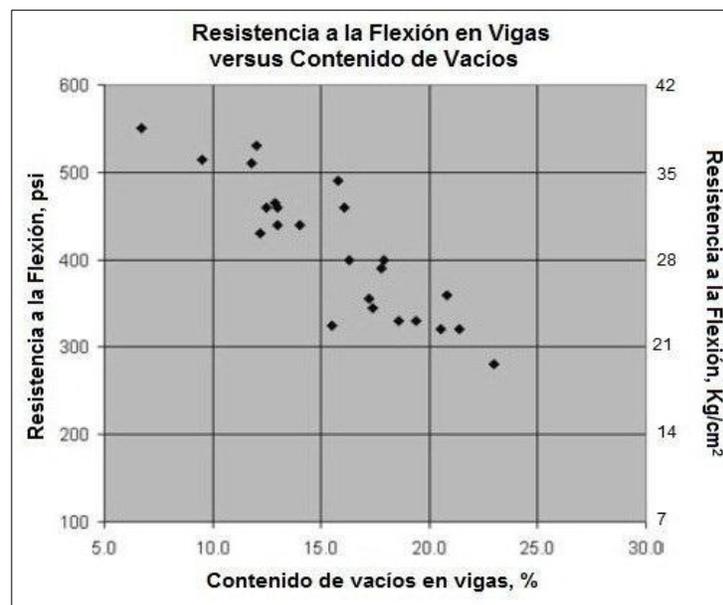


Figura 5: Resistencia a la Flexión en Vigas versus Contenido de Vacíos

Fuente: ACI 522R-10, 2010

“La Figura 6 muestra la relación entre la resistencia a la compresión y flexión del concreto permeable para una serie de ensayos de laboratorio” (Meininger, 1988). “Otra serie de datos de ensayos relacionados a la resistencia a flexión y porosidad se muestra en la Figura 7” (Neithalath, 2004).

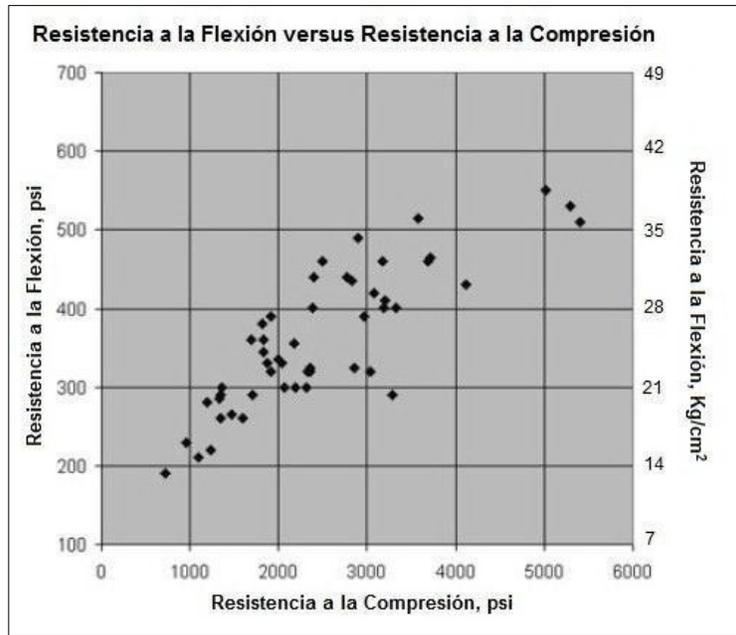


Figura 6: Comparación entre la Resistencia a la Flexión versus Resistencia a la Compresión.

Fuente: ACI 522R-10, 2010

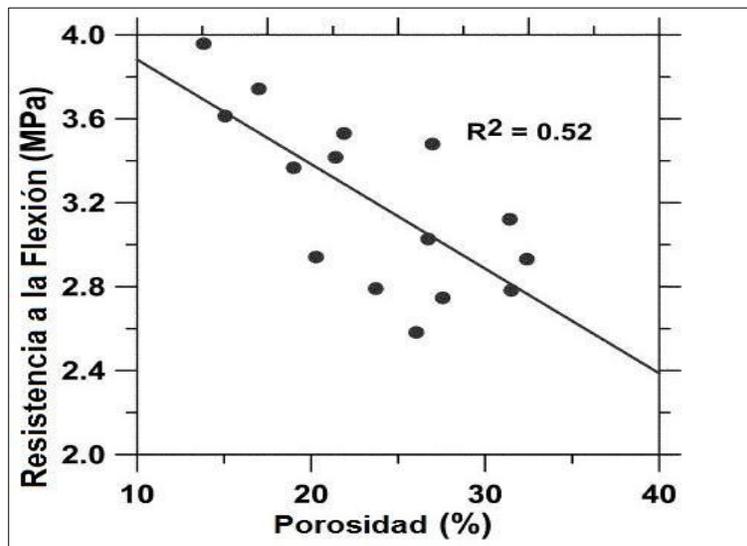


Figura 7: Relación de la Resistencia a la Flexión versus Porcentaje de Porosidad

Fuente: ACI 522R-10, 2010

“La adición de una pequeña cantidad de arena (aproximadamente 5% por volumen) incrementa la resistencia a la flexión del concreto permeable” (Neithalath, 2004). “Un incremento en la resistencia a la flexión del concreto permeable ha sido reportado cuando se utiliza aditivos polímeros, se ha observado una resistencia a flexotracción cerca de 3 MPa para un concreto permeable usando una proporción de agregado $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{8}$ de pulgada (6 a 10 mm) y teniendo una porosidad del 25%” (Nissoux, Gnage, Marzin, Lefebvre, &

Pipien, 1993). Crouch (2006) investigó que: “la relación entre la resistencia a flexión f_r y la resistencia a la compresión f'_c para pavimentos permeables. Determinó que la relación se acerca más a la ecuación establecida por Ahmad & Shah (1985) para prefabricados de concreto”.

$$f_r = 0.083 f'_c{}^{2/3} \text{ (Sistema Inglés)}$$

$$f_r = 2.3 f'_c{}^{2/3} \text{ (Sistema Internacional)}$$

C. Porosidad.

“El tamaño o rango de tamaños de poros en el concreto permeable es también un factor importante que influye en sus propiedades. La influencia del tamaño de los poros para permeabilidad del agua y la absorción acústica ha sido documentado” (Neithalath, 2004). “Para generar mayor tamaño de poros en el material, se recomienda agregado de mayor tamaño porque pueden reducir las posibilidades de que se obstruya los poros” (Nelson & Phillips, 1994). “La Figura 8 muestra la influencia de un solo tamaño de los agregados, así como la mezcla de dos diferentes tamaños de agregados en proporciones variables en los tamaños de poros de concreto permeable” (Neithalath, 2004).

La estructura de los poros del concreto permeable es fundamental en todos las propiedades y características de rendimiento de este material. Low (2008) describe: Una aproximación estadística a la determinación de los factores que influyen en las características de la estructura de poros tales como la porosidad y el factor de conectividad de los poros, y características de rendimiento (permeabilidad) del concreto permeable. Utilizando un experimento de diseño factorial con cuatro factores (tamaño de los agregados, relación agregado/cemento, relación a/mc , y la relación arena/agregado grueso), 16 mezclas de concreto permeable fueron proporcionados. A partir de un análisis de rango en las respuestas, sólo los tres primeros de los cuatro factores mencionados dominan las respuestas medidas.

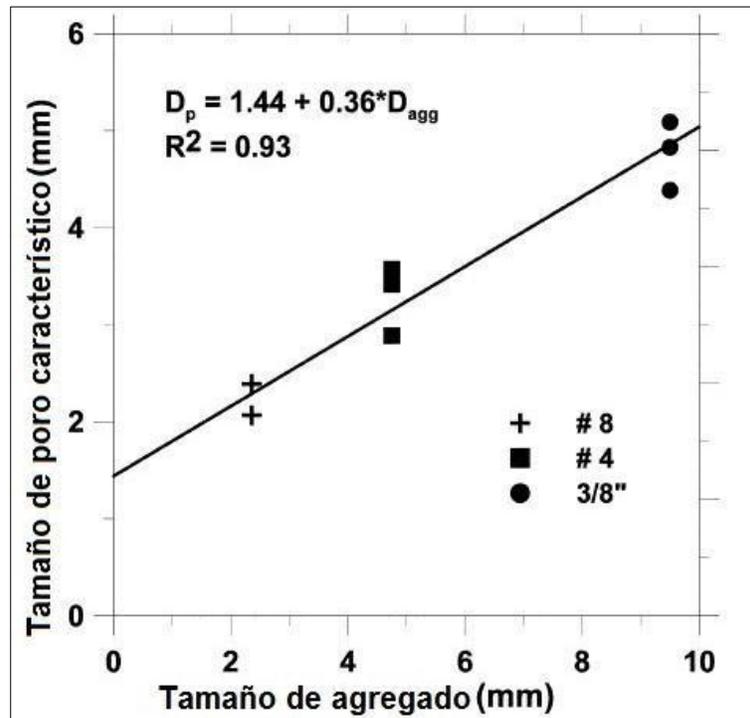


Figura 8: Tamaño de Poro versus Tamaño de Agregado

Fuente: ACI 522R-10, 2010

Un método de análisis de imágenes en secciones de dos dimensiones para concreto permeable se utilizó para caracterizar la estructura porosa. A los dos parámetros de distribución de Weibull fue utilizada para modelar el área de los poros y la distribución de tamaño de poro del concreto permeable.

El parámetro de escala de la distribución Weibull fue utilizada para describir la “características del área de poros” o “características del tamaño de poros” del concreto permeable.

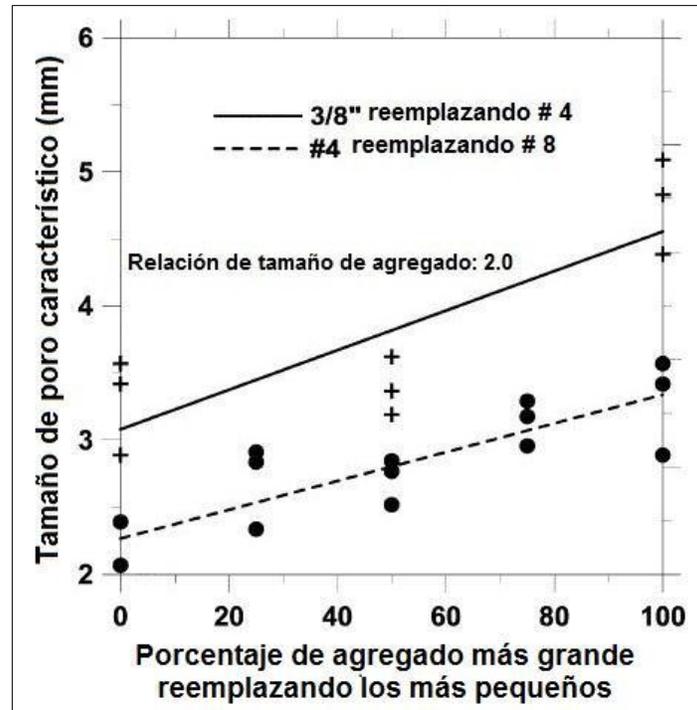


Figura 9: Tamaño de Poro versus Porcentaje de Agregado más grande
Fuente: ACI 522R-10, 2010

D. Permeabilidad.

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para que el filtre el agua se a través de la matriz. La tasa de percolación en el concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de vacíos y el tamaño de los poros. Las pruebas han demostrado según Meininger, que un de contenido de vacíos de al menos 15% es requerido para lograr una filtración significativa. Para una porosidad de 20 a 25%, el coeficiente de permeabilidad se reporta que es de aproximadamente 0.01 m/s. (Brite/Euram Report, 1994)

En otro estudio, Nissoux (1993), informa de una permeabilidad de 36 L/m²/s (0,88 gal./pie²/s).

La Figura 10 muestra la relación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración de una mezcla de concreto permeable. Debido a que la tasa de filtración aumenta a medida que aumenta el contenido de vacíos y, en consecuencia, disminuye la resistencia a la compresión, el reto en la dosificación de mezcla de concreto permeable es lograr un

equilibrio entre una tasa de filtración aceptable y una resistencia a la compresión aceptable. (Meininger, 1988)

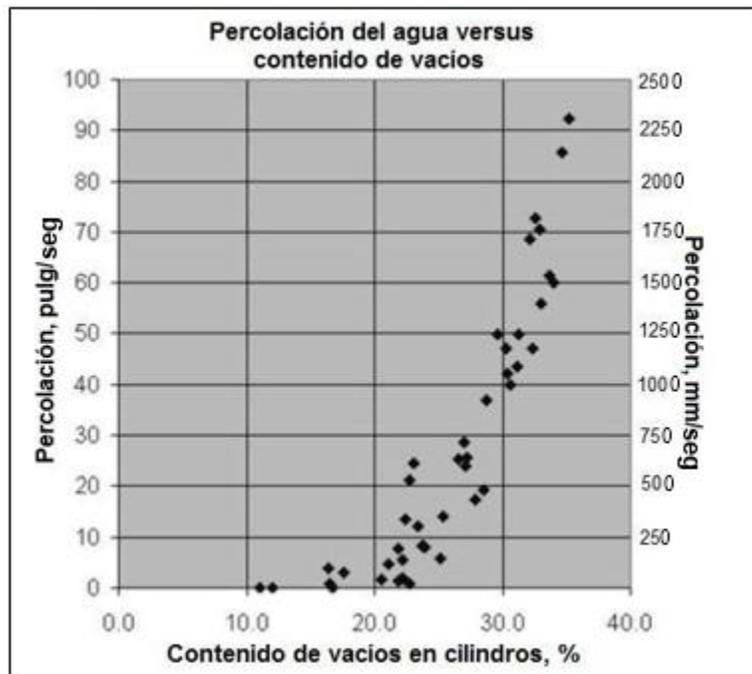


Figura 10: Percolación versus Contenido de Vacíos en cilindros

Fuente: ACI 522R-10, 2010

La tasa de infiltración mínima que debe presentar el concreto permeable es de 0,2 centímetros/segundo (aproximadamente 283 pulgadas/hora). Para determinar la permeabilidad del concreto permeable, existen dos métodos:

Uno se encuentra descrito en la Norma ASTM C 701 "Método Estándar para Prueba de Infiltración en el Concreto Permeable". Que consiste en colocar el anillo de infiltración (diámetro 12 pulgadas y altura 2 pulgadas) en la superficie, se le debe aplicar el sellador en la orilla para evitar que el agua encuentre salida en la parte inferior del anillo. Para determinar el agua necesaria en el ensayo, se debe hacer una prueba previa agregando 8 libras de agua, determinando el tiempo que se necesita para que no quede agua libre en la superficie. Si el tiempo es menor a 30 segundos, se utilizarán 40 libras de agua para la prueba definitiva, de otra manera se utilizará 8 libras.

La otra prueba se encuentra descrita en el reporte ACI 522R-10, El anillo de infiltración utiliza el mismo procedimiento que el doble anillo descrito en la Norma ASTM D

3385, con la modificación de que el anillo debe estar empotrado y se usa un anillo simple. Según esta Norma ASTM, se requiere de un área en el suelo de 3 x 3 metros para poder realizar el ensayo. Se debe procurar que el anillo no sea colocado en un lugar que pueda propiciar la evaporación. Se debe mantener un nivel de agua constante y tomar nota de cuánta agua se necesita para lograr mantener ese nivel.

2.2.1.4. Características de los materiales y de la mezcla de concreto ecológico.

El concreto ecológico también conocido como concreto permeable, concreto poroso, concreto sin finos, concreto discontinuo o concreto de porosidad incrementada, consiste básicamente de cemento portland normal, agregado grueso de tamaño uniforme, agua y aditivos. La combinación forma un aglomerado de agregado grueso rodeado de una capa de pasta de cemento endurecida en sus puntos de contacto, produciendo vacíos entre el agregado grueso, el cual permite que el agua se infiltre a una tasa mucho mayor que el concreto convencional.

La resistencia y permeabilidad obtenidas con un pavimento permeable están determinadas por la mezcla que se va a utilizar. Las variables que afectan el comportamiento del concreto ecológico son: granulometría, dosis de cemento, relación agua/cemento, aditivo y contenido de vacíos.

A continuación, se presenta los materiales y sus características para el diseño de una mezcla de concreto ecológico que deben cumplir con lo estipulado por el reporte del Comité ACI 522, 522R-10, tanto en cantidad como en la calidad que se describen en las Normas ASTM respectivas para cada material.

2.2.1.4.1. Agregados.

Los agregados deberán cumplir con los requisitos de Norma ASTM C33-07 en correspondencia con la ASTM D448-07 (Especificación Normalizada para Agregados para Concreto). Existen dos características en los agregados que tienen una importante influencia sobre el proporcionamiento de las mezclas de concreto y son:

La granulometría (tamaño de partícula y distribución).

Importante para:

- Trabajabilidad
- Proporcionamiento de la mezcla
- Contenido de cemento y por ende el contenido de agua
- Compactabilidad de la mezcla
- Estética del pavimento

La naturaleza de las partículas (forma, porosidad, textura superficial).

La calidad del agregado en el concreto ecológico es igualmente importante como en el concreto convencional. Deben ser evitadas las partículas largas o escamosas. La graduación estrecha del agregado grueso debe ser dura y limpia, libres de recubrimiento, tal como polvo o arcilla, o sustancia química absorbida que pueda ser perjudicial a la adherencia pasta/agregado o a la hidratación del cemento.

A. Agregado Grueso.

La estructura interna de un concreto ecológico puede describirse como un conjunto de partículas de agregado grueso, en contacto y unidas entre sí por puentes constituidos por la pasta (cemento y agua) o el mortero que forma la arena (cuando hay presencia de finos en la mezcla) y la pasta; estos puentes son los que movilizan la resistencia del concreto. Esto se puede observar en la compresión de las probetas cilíndricas donde se produce la ruptura de estos puentes, siendo menor el evento de fractura del agregado grueso. El número de puentes que se forman por unidad de volumen es función principalmente del tamaño y la graduación del agregado grueso, ya que con un agregado uniforme se consigue menos resistencia que con uno graduado.

Debido a que los esfuerzos mecánicos del agregado grueso juegan un papel importante en el concreto permeable es conveniente ser más restrictivo en lo que respecta al desgaste del agregado.

El agregado grueso deberá reunir los requerimientos de tamaño y gradación definidos en ASTM D 448 – 08 “Clasificación para Tamaños de Agregados para la Construcción de Caminos y Puentes”. Deberá complementarse con la Norma ASTM C 33 - 07; ACI 522R-10 expone que el tamaño máximo nominal del agregado grueso generalmente es de 3/4 a 3/8 de pulgada (19 a 9.5mm). Tamaños de Agregados mayores pueden incrementar la porosidad, pero pueden disminuir la trabajabilidad.

Deberán evitarse agregados bien graduados, ya que reducen la porosidad, y pueden no proveer un adecuado contenido de vacíos. Se sugiere un límite máximo de agregado grueso que pase 15% la malla N° 4 (4.75 mm).

La humedad del agregado al tiempo de la mezcla es importante. La absorción del agregado deberá satisfacer la condición para lograr la condición saturada superficialmente seca (SSS).

Según al Norma ASTM C 33 y la norma ACI 522-10, el tamaño máximo nominal para concretos permeables está comprendido dentro de los usos granulométricos: N° 67 (3/4” a N°4), N° 7 (1/2” a N°16), N° 8 (3/8” a N°8), N° 89 (3/8” a N°16).

B. Agregado fino.

El agregado fino para un concreto se determina como el material que pasa por el tamiz No. 4 hasta el tamiz No.100 y se clasifica en arena natural, de canto rodado o de río, manufacturada o combinación de ambas. Deberá estar graduado dentro de los límites que se establecen en la Norma ASTM C 33 (Especificación Estándar para Agregados de Concreto) y no deberá exceder de 0.10 m³ por 1.0 m³ de concreto permeable.

Conocer las características de los agregados a utilizar en la mezcla de concreto ecológico, nos permitirá conocer la influencia que tendrán ya sea en estado fresco como en estado endurecido, en la nos indica cómo afecta la caracterización en dichos aspectos:

Características de los agregados	Aspectos influidos en el concreto	
	Concreto Fresco	Concreto Endurecido
Granulometría	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manejabilidad ▪ Requerimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistencia Mecánica ▪ Economía
Limpieza (materia orgánica, limo, arcilla y otros fines indeseables)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requerimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durabilidad ▪ Resistencia Mecánica
Densidad (Gravedad Específica)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso Unitario 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso Unitario
Absorción y porosidad	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perdida de agua en la mezcla 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistencia Mecánica ▪ Permeabilidad
Forma de Partículas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trabajabilidad ▪ Requerimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistencia Mecánica ▪ Economía
Textura Superficial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trabajabilidad ▪ Requerimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistencia mecánica ▪ Resistencia al desgaste ▪ Economía
Tamaño Máximo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Segregación ▪ Peso Unitario ▪ Requerimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistencia mecánica ▪ Peso Unitario ▪ Permeabilidad ▪ Economía
Resistencia a la Abrasión	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ninguno 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistencia a la abrasión ▪ Durabilidad
Coefficiente de Expansión Térmica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ninguno 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Propiedades térmicas

Cuadro 1: Influencia de los Agregados en el Concreto Permeable en Estado Fresco y Endurecido

Fuente: Normas ASTM C33-07, ASTM C 1688-09, ASTM C 131-07, ASTM C 29-07

2.2.1.4.1.1. Agregados de concreto reciclado

Jordan Saldaña & Viera Caballero (2014) menciona que el concreto ocupa el segundo lugar entre los materiales más consumidos del planeta (25 billones de toneladas anuales o sea 3,6 toneladas de concreto por habitante en el mundo).

¿Por qué reciclar concreto?

- Menor densidad (menor costo de transporte y menor peso por m³ de concreto a igual volumen.
- Ofrece una alternativa para reducir espacios de disposición final.
- Sustitución de recursos vírgenes.
- Reducción de costos e impactos medio ambientales asociados a la explotación de recursos naturales.

- Costos elevados para la disposición de residuo.
- Aporta a la reducción de la huella de carbono y en la emisión de gases de efecto invernadero.

Limitaciones al mercado de concreto reciclado:

- Falta de conocimiento y ausencia de experiencias de campo.
- Propiedades físicas de los agregados resultantes para usos específicos
- Falta de Normas y reglamentos vigentes que contemplen su uso.
- Impactos medio ambientales asociados.
- Dificultad para obtener la cantidad suficiente de material a reciclar para alcanzar el equilibrio económico.
- Dificultad para obtener fuentes de provisión homogéneas.

La Norma Técnica Peruana NTP 400.053 (Manejo de residuos de la actividad de la construcción. Reciclaje de concreto de demolición), define el concreto reciclado como aquel concreto cuyos agregados provengan parcial o completamente de granulados de concreto, gravas y arenas de reciclaje.

La norma también menciona que las actividades de la construcción se deben desarrollar en base de criterios que armonicen el crecimiento económico del sector, la protección ambiental y el control sanitario de las operaciones, así como el mantenimiento o mejoramiento de la calidad de vida de la población.

ASPECTOS TECNOLÓGICOS SIGNIFICATIVOS	
<p style="text-align: center;">AGREGADO NATURAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los agregados son derivados de una variedad de formaciones rocosas. • La minería requiere de monitoreo ambiental y recuperación. Los costos de exploración, permisos, la eliminación de residuos, la preparación del sitio y la recuperación final del mismo deben ser considerados. • La calidad depende principalmente de las propiedades físicas y químicas del depósito fuente. • Existe normativa vigente para cada una de sus aplicaciones.. • La ubicación de las plantas está relacionada con la disponibilidad del recurso (cantera). • Los productos pueden ser comercializados local o regionalmente. 	<p style="text-align: center;">AGREGADO RECICLADO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los agregados son derivados de desechos de la construcción. • El proceso de reciclaje requiere un limitado seguimiento y recuperación. Los costos de exploración, explotación y/o extracción no son considerados, pero los costos para la recuperación, la limpieza del sitio y la reducción de polvo y ruido deben ser tenidos en cuenta. • La calidad varía significativamente debido a la gran variación en el Tipo y las impurezas de las fuentes de desechos. • Falta de normas y reglamentos vigentes para su uso. • El procesamiento frecuentemente se realiza en áreas urbanas mediante el uso de equipos móviles. • Los productos son comercializados localmente en áreas urbanas.

Cuadro 2: Aspectos tecnológicos significativos entre el agregado natural y reciclado

Fuente: (Jordan & Viera, 2014)

2.2.1.4.2. Cemento.

La National Ready Mixed Concrete Association, NRMCA, de los Estados Unidos y según el reporte ACI 522R-10 recomienda que los Cementos usados para la elaboración de concretos permeables, deben cumplir con las Normas ASTM C 150 / NTP 334.009 (Especificación Normalizada para Cemento Portland), ASTM C 595 / NTP 334.090 (Especificación Normalizada para Cementos hidráulicos adicionados) y ASTM C 1157 / NTP 334.090 (Especificación Normalizada de Desempeño para Cemento Hidráulico).

La cantidad de material cementante que se le agregue al concreto permeable afectará directamente a la resistencia a compresión y el contenido de vacíos. Si no

se le agrega el suficiente cemento puede afectar la cohesión de la pasta con el agregado y reduciría la resistencia a compresión. Así mismo, si se le agrega demasiado cemento, este puede llenar los vacíos disminuyendo así la porosidad. La cantidad de material cementante óptimo dependerá del tamaño y granulometría del agregado. Una mayor dosis de cemento generará un concreto más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo este su capacidad de infiltración. Es recomendable usar una dosis que fluctúe entre los 300 Kg/m³ y los 400 Kg/m³, según requisitos de resistencia y permeabilidad.

2.2.1.4.3. Agua.

La calidad del agua para un concreto ecológico será para los mismos requisitos que gobiernan para concretos convencionales. El concreto ecológico deberá ser proporcionado con una relativa baja relación agua/material cementante (a/mc) (0.26 a 0.40) porque una cantidad de agua en exceso producirá que la pasta fluya y selle el sistema de poros.

El agua que se emplee en la preparación y curado del concreto ecológico debe cumplir la norma ASTM D-1293 / NTP 339.088 (Métodos de prueba estándar para el pH del agua), debe ser potable, por lo tanto, estar libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasas, materia orgánica, etc.; además cuyas propiedades y contenidos de sustancias disueltas estén comprendidas dentro de los siguientes límites.

Tabla 1: Norma NTP 339.088

DESCRIPCIÓN	LÍMITE PERMISIBLE	
Sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5000 ppm	Máximo
Materia Orgánica	3 ppm	Máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1000 ppm	Máximo
Sulfatos (ion SO ₄)	600 ppm	Máximo
Cloruros (ion Cl ⁻)	1000 ppm	Máximo
Ph	5 - 8	Rango

Fuente: Límites permisibles para el agua de mezcla y curado, Norma NTP 339.088

2.2.1.4.4. Aditivos.

Debido a que el concreto ecológico posee una relación agua/material cementante baja, la cual disminuye la trabajabilidad del concreto, y es por esta razón suele utilizarse aditivos químicos de tal manera proveer una mezcla más trabajable y fácil de colocar.

Según las observaciones de los ensayos realizados en el área de aditivos en el concreto permeable por el Comité ACI 522, se ha utilizado aditivos químicos retardadores de fragua, reductores de agua de alto rango que deben cumplir las especificaciones de la Norma ASTM C 494.

En la presente investigación se usó el aditivo Nanosílice para concreto, la cual cumple con la Norma ASTM C 494 (Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto) tipos A y F y la Norma ASTM C1240 “Especificación estándar para el humo de sílice usados en mezclas de cemento”.

Aditivo Nanosílice para concreto.

Duarte (2013) menciona que es un nanoaditivo en estado líquido, de alta actividad por las nano materias de última generación que lo componen. Donde las reacciones químicas en el hormigón convierten las nanopartículas de sílice en nanopartículas de cemento, ha sido diseñado especialmente para usar en concretos de alta exigencia.

Por su elevado poder de fluidificación y sumado a la capacidad de favorecer la evolución de resistencias, sobre todo a edades muy tempranas, lo hace ideal para concreto ligero de baja densidad.

Características / Ventajas.

- Gran poder plastificante y reductor de agua.
- Incremento del desarrollo de alta resistencia inicial y final.
- No produce retrasos de fraguado.
- Evita la segregación y la excesiva exudación.

- Mejora el acabado y la textura de la superficie del concreto.
- Aumenta en más del 50% la resistencia a la flexo – tracción.
- Evita en gran medida las eflorescencias

Loayza Puma (2017) manifiesta que la nanosílice es sílice en estado líquido con partículas de tamaño nanométrico, mil veces más pequeña que la microsílice. Esta selección de tamaño de partícula es la que le confiere sus singulares propiedades.

La nanosílice se compone de nanopartículas de sílice que son modificadas en su forma química para cambiar su composición sólida en solución, para ser estables y tener un aumento en sus propiedades de la microsílice, añadiendo además de estas, las ventajas de reducir los niveles de contaminación al medio ambiente y daño a los operadores, además es un material que ya no llega a aglomerarse y contraerse.

Partículas de tamaño nanométrico, entre 3nm. y 150nm. ($1\text{nm.} = 10^{-9}\text{m.}$), muchísimo más pequeñas que la microsílice que a la vez es 100 más fina que las partículas del cemento.

Tabla 2: Resumen comparativo de propiedades físicas de materiales en estudio usados regularmente en el hormigón

Material	Densidad (g/ml)	Tamaño de las partículas (nm)	Superficie específica (m^2/g)	Apariencia
Nanosílice	$1.030 \pm .020$	3 – 150	20 – 1000	Líquido
Microsílice	0.3	100 – 200	18 – 20	Polvo seco
Cemento	0.15	50.000	0.354	Polvo seco

Fuente: (Pérez M. , 2008)

“Tiene la propiedad de incrementar las resistencias inicial y final de las mezclas, se utiliza en dosis variadas desde 0,3 - 7 % del peso del cemento” (Morejón, 2015).

2.2.1.4.5. Fibras de polipropileno.

En la presente investigación se usó la metodología del ACI 544 para Concreto reforzado con fibras (Concreto Fibroreforzado). El American Concrete Institute (ACI) define al Concreto Fibroreforzado como un material compuesto, hecho de una

matriz de concreto hidráulico de una fase reforzante de fibras. Estas fibras pueden reducir notablemente la formación de grietas por contracción plástica o por secado e incrementa la resistencia a la flexión.

Valero (2015) expresa que polipropileno es un polímero de hidrocarburo sintético cuya fibra está hecha usando procesos de extrusión por medio de estiramiento en caliente del material a través de un troquel.

Las fibras de polipropileno forman parte de las fibras sintéticas para refuerzo del concreto y se identifican con SNFRC (Synthetic fiber reinforced concrete). SNFRC utiliza fibras obtenidas de polímeros orgánicas que están disponibles en una variedad de formulaciones. Los tipos de fibras que se han probado en matrices de concreto de cemento portland son: acrílico, aramida, carbono, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno.

Las fibras de polipropileno son hidrofóbicas, por lo cual no absorben agua y no son corrosivas; tienen una excelente resistencia al ataque de los álcalis, químico y clorhídrico, y tienen una baja conductividad térmica. Por estas características, no tienen un efecto significativo, por ejemplo, en la demanda de agua dentro del concreto fresco, no intervienen en la hidratación del cemento y no influyen desfavorablemente los efectos de todos los constituyentes en la mezcla de concreto. (Gonzales, 2010)

Las aplicaciones actuales incluyen residencial, comercial, y losas industriales, construcción de losas para cubierta de metal compuesto, revestimientos de pavimento, hormigón proyectado para la estabilización de taludes, unidades prefabricadas, piscina y aplicaciones de mortero portland que involucran pulverización y estuco enlucidos de cemento. (Comité ACI 544. 1R-96, 2002)

La fibra a utilizar en la presente investigación son de polipropileno denominada Sika® Fiber Force PP 48, de Building Trust Sika. La cual cumple con la Norma ASTM C 1116 "Especificación estándar para concreto reforzado con fibras".

Fibra de Polipropileno Macro Sintética Estructural Sika® Fiber Force PP 48.

Sika® Fiber Force PP 48 son es una fibra de polipropileno macro sintética estructural, diseñada y usada como el refuerzo secundario de concreto, es fabricada partir de polímeros de polyolefina de alto desempeño y deformadas mecánicamente en todo el cuerpo para maximizar el anclaje en el concreto y evitar la pérdida excesiva cuando se proyecta (Shotcrete), altamente orientada a conseguir la mayor superficie de contacto dentro del concreto, lo que resulta en una mayor unión interfacial y eficiencia de la resistencia de la flexión y absorción de energía.

Características / Ventajas.

- Incrementa la resistencia a la tenacidad, absorción de energía e impacto del concreto, así como la resistencia residual y ductilidad.
- No afecta notoriamente la fluidez (Slump) de la mezcla como otras fibras multifilamento.
- Disminuye la tendencia al agrietamiento en estado fresco como endurecido del concreto.
- Máxima resistencia al arrancamiento dentro de la matriz del concreto.
- Alta resistencia a los ataques químicos y a los álcalis.
- Es segura y más fácil de usar que el refuerzo tradicional.
- No se corroe con las aguas agresivas.
- Ahorra tiempo y molestias durante la aplicación y el proceso de concentrado del mineral.

2.2.2. Ensayos de laboratorio.

Para el buen diseño de mezclas del concreto ecológico se requiere realizar ensayos previos a los materiales a utilizar de acuerdo las normas técnicas peruanas (NTP) y las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM), los cuales sirven para determinar las propiedades básicas.

En la siguiente tabla se presentan las normas técnicas para los ensayos de laboratorio, para la elaboración de concreto ecológico.

Tabla 3: Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para Agregados

ENSAYO	NORMA INTERNACIONAL ASTM	NORMA PERUANA NTP
Muestreo de Agregados	D 75	400.01
Peso Específico y Absorción	C 127	400.021
Contenido de Humedad	C 70	339.185
Análisis Granulométrico	C 136	400.012
Cantidad de Material Fino que pasa el tamiz N° 200	C 117	339.132
Peso Unitario	C 29	400.017
Resistencia a la Abrasión. Los Ángeles	C 131	400.019

Tabla 4: Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para el Concreto

ENSAYO	NORMA INTERNACIONAL ASTM	NORMA PERUANA NTP
Muestreo de Concreto Fresco	C 172	339.036
Asentamiento – Slump	C 143	339.035
Peso Unitario, Rendimiento	C 138	339.046
Elaboración y Curado de Muestras de Concreto para Ensayos de Laboratorio	C 192	339.183
Resistencia a la Compresión Testigos Cilíndricos	C 39	339.034
Resistencia a la Flexión del Concreto, Método de la Viga Simple, Carga en el centro de la luz	C 293	339.079
Permeabilidad	ACI 522R-10	---

Tabla 5: Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para el Cemento

ENSAYO	NORMA INTERNACIONAL ASTM	NORMA PERUANA NTP
Densidad del Cemento Portland	C 188	334.005

2.2.3. Pavimentos rígidos de concreto ecológico.

2.2.3.1. Definición.

Los pavimentos ecológicos se pueden definir como secciones compuestas de varias capas de materiales de construcción que permiten el paso del agua a través suyo, desde la superficie hasta la explanada, y en conjunto ofrecen la capacidad portante necesaria para resistir un tráfico determinado. El pavimento está compuesto por tres partes principalmente la superficie de rodadura que puede ser concreto ecológico (concreto permeable), concreto

asfáltico y adoquines en todos los casos permeables el espesor de la superficie de rodadura está entre 10cm a 20cm. Para el concreto ecológico, debajo de la superficie de rodadura sigue la base granular que varía de 60cm a 90cm de espesor que puede ser utilizado como reservorio del agua que se infiltra y finalmente un geosintético que dependerá si queremos infiltrar el agua al suelo (filtro de tela o geomalla) o almacenar el agua (geomembrana). (Calderón & Charca, 2011)

Los pavimentos rígidos ecológicos consisten en un pavimento continuo de concreto permeable, en la que la carpeta de rodadura contiene poca arena, lo cual otorga mayor permeabilidad y que además la subbase granular es de mayor espesor a la de un pavimento rígido convencional.

El principal efecto corresponde a la disminución del caudal máximo y volumen de escorrentía, para lograrlo los pavimentos ecológicos pueden emplearse en carreteras de bajo y alto volumen de tránsito, calles, ciclovías, estacionamientos, veredas, senderos de áreas verdes.

2.2.3.2. Diseño estructural.

2.2.3.2.1. General.

En la determinación del espesor de la sección de un pavimento ecológico, dos análisis importantes deben llevarse a cabo: uno para adecuación estructural y el otro para las características hidráulicas. Dentro de los aspectos aplicables al diseño estructural tenemos:

Subrasante y sub-base. La subrasante es el suelo por debajo de la sub-base. La subbase es el conjunto instalado por debajo de la capa de rodadura del pavimento. La subbase proporciona soporte vertical, capacidad de almacenamiento y capacidad de filtración para el tratamiento de contaminantes.

Algunos suelos pueden proporcionar suficiente drenaje y apoyo por lo que la subbase puede ser opcional. Si el apoyo, la capacidad de drenaje, o las capacidades de filtración están limitados por la sub-base, debe ser utilizado un

material de sub-base. En las zonas expuestas a los ciclos de hielo y deshielo, la sub-base actúa como aislante y proporciona un importante retraso en la formación de hielo por debajo del pavimento permeable. (Backstrom, 2000), (Kevern & Schaefer, 2008)

Incrementando la rigidez de la subrasante y de la sub-base, aumenta la capacidad de carga de un determinado sistema de pavimento. La rigidez de la subrasante puede ser medida por el Módulo de Reacción de la Subrasante “k” (mediante el Ensayo de Placa de Carga), el California Bearing Ratio (CBR), o por otros métodos menos comunes.

El pavimento ecológico está diseñado para permitir que el agua sature la subrasante y toda la estructura del pavimento. Esta condición se debe tomar en cuenta al determinar las propiedades de la subrasante. Cuanto más se compacta el suelo, será menos permeable. Por esta razón, las subrasantes generalmente son compactadas a una densidad más baja que las de pavimentos tradicionales de concreto. El grado de compactación típicamente es del 90% de la densidad máxima seca del método de ensayo Próctor Estándar. El Módulo de Reacción de la subrasante utilizado en el diseño debe tener en cuenta para el menor grado de compactación.

2.2.3.2.2. Resistencia del concreto.

La guía para el diseño estructural de pavimentos de concreto convencional para estacionamientos se proporciona en el comité ACI 330R-01 y para calles y carreteras en el comité ACI 325.12R. Estos documentos abordan diferentes aspectos del diseño de pavimentos. Las recomendaciones de diseño estructural en estos documentos, sin embargo, no son necesariamente aplicables a su uso con pavimento ecológico. Como no hay métodos estándar de prueba para el diseño de la resistencia del concreto permeable, la especificación de la resistencia del concreto debe ser evitada.

2.2.3.2.3. Selección del espesor de la estructura.

El espesor mínimo del espesor total que debe tener el pavimento (desde la parte superior de la carpeta de rodadura hasta la parte superior de la subrasante), está condicionado por las características de la capacidad de soporte de la subrasante y por el tráfico. En el caso de pavimentos ecológicos debe considerarse además las necesidades de almacenamiento de la subbase.

Debo & Reese (2002) recomiendan los espesores totales de pavimentos permeables los cuales se usaron en nuestro caso para pavimentos ecológicos, que de acuerdo a experiencias con este tipo de pavimentos en los Estados Unidos para calles de bajo tránsito.

Tabla 6: Espesores Mínimos recomendados para el total de Pavimentos Ecológicos (Debo y Reese, 1995)

CBR Subrasante	Espesor min (cm)
Menos de 6	No usar pavimento ecológico
6 a 9	22.5
10 a 14	17.5
15 ó más	12.5

Fuente: Debo y Reese, 1995

Las características estructurales de los materiales que componen las capas de base y subbase que normalmente se exigen son las siguientes:

Tabla 7: Características estructurales de los materiales que componen las capas de base y subbase

Capa	Características estructurales
Base Chancada	C.B.R. \geq 80% y espesor \geq 15.0 cm
Subbase estabilizada	C.B.R. \geq 40% y espesor \geq 10.0 cm

Fuente: Debo y Reese, 1995

Se debe cumplir una relación mínima entre las capas de base, subbase y la subrasante, en cuanto al valor del C.B.R. se refiere, de manera tal de lograr una armonía entre ellas, con el objeto de asegurar una estabilidad estructural al mediano y largo plazo en el pavimento.

Capa de rodadura. El comité 522 del ACI, en el reporte 522R-10: Pervious Concrete (2010) recomienda que, de acuerdo a la experiencia norteamericana y europea, los pavimentos permeables, conformados por una capa de concreto permeable, el espesor de la capa de rodadura de concreto permeable de 125 a 250mm, en el caso de estacionamientos y de 150 a 250mm para calles de bajo tránsito. Para elegir el espesor adecuado el proyectista deberá evaluar la resistencia que requerirá durante su uso para condiciones de tránsito.

Filtro granular o base. Se puede realizar considerando un espesor variable entre 2.5 cm y 5.0 cm, compuesto por gravilla de un diámetro medio de 1.3 cm de acuerdo a la recomendación de Debo y Reese. No se recomienda reemplazarlo por un geotextil.

Subbase. Normalmente la subbase está formada por grava de un diámetro variable entre 2.5 cm y 7.5 cm y tiene un espesor que depende del volumen de almacenamiento requerido. Si bien el volumen de huecos generalmente varía de 38% a 46% para gravas uniformes, para fines de diseño hidráulico se recomienda adoptar solo un 30%. Existen dos tipos de subbases que pueden ser utilizados en los pavimentos ecológicos; las subbases tratada y las no tratadas. Las subbases tratadas tienen un contenido de cemento (120-170 kg por m³) o asfalto (2-2.5% en peso) que les proporciona estabilidad, permitiendo reducir su contenido de finos. Las subbases no tratadas contienen una mayor proporción de finos para lograr una adecuada estabilidad, lo que reduce su estabilidad del estrato.

Filtro granular inferior o filtro geotextil. Este estrato tiene la función de evitar el paso de materiales finos desde el suelo de la subrasante hacia la subbase. Se puede utilizar un filtro de geotextil o un filtro granular, que se diseñó de manera similar al filtro granular superior. Se recomienda emplear geotextiles de materiales sintéticos, no tejidos, de permeabilidad al menos igual a 10 veces la permeabilidad de la subrasante para pavimentos que filtran. Si la obra no ha sido diseñada para la percolación, este filtro se reemplaza por una membrana impermeable.

Subrasante. La subrasante del suelo nativo se deberá excavar evitando que el suelo sea compactado, para conservar su capacidad de infiltración. Si la subrasante

presenta una capacidad de soporte con un CBR menor de 6 no es recomendable la materialización de un pavimento poroso.

2.2.3.3. Diseño hidrológico.

2.2.3.3.1. General.

Para llevar a cabo el diseño hidráulico es necesario tener en cuenta aspectos como: el volumen necesario para el almacenamiento de la precipitación de diseño, la capacidad de la subrasante a recibir o no agua (salida) y el manejo en caso de eventos superiores al de diseño, debido a que no es económicamente viable.

A continuación, se presentan aspectos importantes para el diseño hidráulico.

- La tasa de infiltración de la capa de rodadura debe ser mayor que la intensidad de la precipitación para evitar encharcamientos que contribuyan con el deterioro de la estructura y afecten la seguridad vial.
- Se deben tener en cuenta los caudales aportantes de las zonas aledañas que escurran en el pavimento.
- Debe entenderse que la tasa de infiltración de la capa de rodadura tiende a disminuir y estabilizarse con los años debido a la colmatación, para contrarrestar este efecto se sugiere en los cálculos incluir un coeficiente de colmatación.
- La capacidad de almacenamiento dependerá de la precipitación, la relación de vacíos, el tiempo de retorno escogido para el diseño, las áreas aportantes al sistema, la infiltración y las salidas del sistema.

2.2.3.3.2. Evento de diseño.

Se diseña no con el valor de precipitación antecedente más alto existente, sino que se selecciona un evento de importante magnitud que se repite cada cierto periodo de tiempo, a este se le llama periodo de retorno. Con este se garantiza que el sistema se vea excedido en su capacidad pocas veces durante su vida útil. A el periodo de retorno se le suma la intensidad de la lluvia y la duración, aspectos que complementan y permiten hacer la mejor selección de la precipitación de diseño, para dimensionar el volumen de almacenamiento. (Interpave, 2013)

El MINVU propone dos periodos de retorno para la selección de la lluvia de diseño:
 $T = 5$ años, si hacia aguas abajo existe una red de drenaje bien desarrollada.
 $T = 10$ años, si no existe una red de drenaje bien desarrollada.

Aunque dependiendo del régimen hidrológico de la zona o del servicio de la obra, se podrán tener periodos de retorno mayores a los anteriores. (MINVU, 1996)

2.2.3.3.3. Volumen de lluvia de las zonas adyacentes al sistema (volumen aportado).

a. El Método racional.

MINVU (1996) indica que: “Para la implementación del método racional es necesario conocer las curvas IDF correspondientes a la zona”.

$$V_{afl}(t) = 1.25 \times 0.001 C I_t A t = 0.00125 C A P_t^T$$

Ecuación 1. Volumen afluente aportado por la zona adyacente (Fuente: Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos: MINVU, 1996).

Donde:

V_{afl} = Es el volumen de agua que aporta la zona adyacente al sistema (m³).

C = coeficiente de escurrimiento del área adyacente.

A = Es el área adyacente, en m².

I_t = Es la intensidad de la lluvia en una determinada duración, en mm/hora.

T = Tiempo de retorno, en años.

t = Duración, en horas.

P_t^T = Precipitación acumulada en una determinada duración y para un determinado periodo de retorno.

1.25 es el factor de seguridad.

2.2.3.3.4. Cálculo de espesores (Volumen de Almacenamiento).

El MINVU (1996) y Smith (2006) proponen dos métodos de diseño hidráulico mostrados a continuación, estos métodos se basan en las guías de diseño planteadas por diferentes autores a través del tiempo, son las metodologías más

recientes y las cuales no están sectorizadas a implementarse en una región determinada, sino que por medio de estas y conociendo el régimen hidrológico de la zona se pueden adaptar a cualquier sitio.

a. Método MINVU, 1996.

MINVU (1996) menciona: “El volumen máximo de almacenamiento será la diferencia entre el volumen de entrada (volumen aportado) menos el volumen de salida (volumen infiltrado), en función del tiempo”.

$$V_{inf}(t) = 0.001fC_sA_e t$$

Ecuación 2. Volumen infiltrado (Fuente: Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos: MINVU, 1996).

Donde:

f = La capacidad de infiltración de la subrasante, en mm/hora.

A_e = Área del pavimento permeable, en m².

t = Duración, en horas.

C_s = Coeficiente de seguridad de colmatación, este valor depende de la calidad del agua y del mantenimiento al sistema, la imagen muestra el grafico para seleccionar dicho valor.

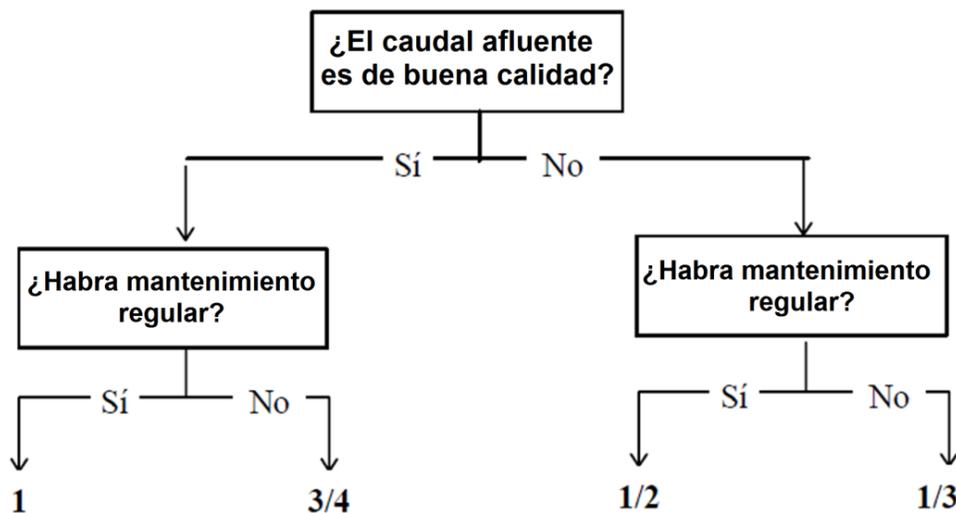


Figura 11: Coeficiente de seguridad de colmatación

Fuente: MINVU, 1996.

Teniendo ya la entrada y la salida se tiene:

$$V_{alm} = \text{Max}(V_{afI}(t) - V_{inf}(t))$$

Ecuación 3. Volumen máximo de almacenamiento (Fuente: Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos: MINVU, 1996).

El cálculo del espesor se obtiene:

$$e = \frac{V_{alm}}{(pA_e)}$$

Ecuación 4. Espesor del almacenamiento (Fuente: Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos: MINVU, 1996).

Donde:

p = Porosidad de la sub-base, usualmente 0,3.

A_e = Área del pavimento permeable, en m².

Para evitar la proliferación de microorganismos y malos olores, por el estancamiento del agua se debe garantizar un tiempo de drenaje inferior a 48 horas, para esto se calcula el tiempo de drenaje (t_n), mediante la siguiente ecuación:

$$t_n = \frac{pe_s}{(C_s f)}$$

Ecuación 5. Tiempo de drenaje (Fuente: Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos: MINVU, 1996).

Donde:

e_s = Espesor de la sub-base, en mm.

f = La capacidad de infiltración de la subrasante, en mm/hora.

C_s = Coeficiente de seguridad de colmatación, este valor depende de la calidad del agua y del mantenimiento al sistema.

p = Porosidad de la sub-base, usualmente 0,3.

2.2.3.4. Diseño de juntas.

La baja relación agua/material cementante (a/mc) usada en el concreto ecológico reduce el potencial de agrietamiento por contracción. Esto permite que las juntas estén espaciadas a mayores distancias que en el pavimento convencional o que se eliminen todas. ACI 522.1-08 recomienda que el espacio entre juntas de contracción no exceda los 6 m, y que la profundidad de la junta deba ser de 1/4 a 1/3 del grosor del pavimento (con un ancho de junta mínimo para el corte con sierra de 3 mm.) En lugar de cortarlas con sierra, las juntas en el concreto permeable son cinceladas con una herramienta de juntas. Las juntas cortadas en concreto permeable curado tienden a desmoronarse. Si el pavimento permeable está contiguo a pavimento convencional, las juntas en los dos materiales deben alinearse para reducir el potencial de agrietamiento reflexivo de un panel al otro.

2.2.3.5. Procesos constructivos.

MINVU (1996) menciona: “Como cualquier obra civil en este tipo de sistema prima la planeación y el conocimiento de la zona de aplicación para garantizar su vida útil y máximo desempeño”.

2.2.3.5.1. Información básica del lugar de aplicación.

Debe hacerse un reconocimiento preliminar y detallado del sitio de aplicación y conocer datos como:

Perfiles de suelo, geología, topografía y patrones de drenaje (hoyas hidrográfica o área aportante), clasificación hidrológica del suelo (A, B, C, D), antecedentes históricos de rellenos o compactaciones, humedales y pozos, etc. Entre más información preliminar se obtenga mejores resultados se tendrán al reducir la incertidumbre. (Smith, 2006)

2.2.3.5.2. Durante la construcción.

Se recomienda mantener los sedimentos lejos del área de construcción, es necesario desviar o impedir la entrada de la escorrentía al sitio mediante canales de drenaje, porque esta podría traer partículas contaminantes. Si no se controla lo anterior la estructura podría colmatarse antes de tiempo, acortando su vida útil. Por otra parte, durante el transporte y en el sitio de acopio es necesario proteger los materiales contra contaminantes (materia orgánica o metales) y evitar la entrada de partículas finas. (CIRIA, 2007)

2.2.3.5.3. Preparación de la subrasante.

La clave de la estabilidad, tanto de los pavimentos permeables como de los convencionales, está en garantizar la uniformidad y resistencia de la subrasante (la compactación de la subrasante se requerirá cuando el sistema funcione como vía vehicular y tenga un CBR inferior a 5%, en el caso que su uso sea peatonal no será necesaria).

Se debe ser cuidadoso con la maquinaria pesada pues esta puede compactar la subrasante a medida que transita, este hecho se debe tener en cuenta en el diseño, pues una sobre compactación disminuirá la capacidad de infiltración de la subrasante (que para el caso de infiltración total debe ser mayor a 13 mm/hora. (MINVU, 1996); (Smith, 2006)

2.2.3.5.4. Cuidados de la membrana impermeable.

Debe asegurarse no rasgar ni romper la membrana impermeable durante los procesos de construcción, además se debe garantizar su longitud de traslapo de no menos de 60 cm, esto para el caso del sistema de infiltración cero. (CIRIA, 2007)

2.2.3.5.5. Cuidados del geotextil.

MINVU (1996) menciona que: “se recomienda un geotextil no tejido en material sintético con una permeabilidad de 10 veces la permeabilidad de la subrasante”; Interpave (2013) indica que: “se establece un traslapo mínimo de 30 cm”.

2.2.3.5.6. Compactación de la sub-base permeable.

El material de la sub-base se debe ir incorporando mediante capas de 10 cm, compactándose hasta alcanzar su máxima densidad con un compactador estático con 10 Ton, sin excederse pues se podría aplastar o triturar el material generando partículas finas y cambiando la relación de vacíos. (CIRIA, 2007)

2.2.3.5.7. Compactación de la capa de transición.

Se debe hacer el 60 % de la compactación con rodillo estático el 40% restante con vibro compactador. Para obtener el nivel óptimo de compactación el material debe estar húmedo. (Interpave, 2013)

2.2.3.6. Mantenimiento.

El mantenimiento periódico de los pavimentos ecológicos ha demostrado una mejora en cuanto a su comportamiento y un aumento en su vida útil, la forma de hacer mantenimiento es a través del aspirado de los sedimentos en la superficie en condición seca cuando el clima lo permita, por ningún motivo se recomienda llevar a cabo procesos de lavado con agua a presión o barridos por medio de aire comprimido, pues estas dos practicas pueden remover los materiales de la capa de transición y generar vacíos, afectando la resistencia de la estructura a los esfuerzos. (Smith, 2006)

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Nanosílice.

La nanosílica es un nanoaditivo, a base de sílice con partículas esféricas de alta pureza de tamaño manométrico, con una distribución de tamaños idónea. Por su elevado poder de fluidificación y su capacidad de favorecer la evolución de resistencias, lo hace ideal para su empleo en cementos y hormigones. La nanosílice tiene gran poder plastificante y reductor de agua, permeabilidad nula o casi nula por lo que aumenta la durabilidad del hormigón, evita la segregación y la excesiva exudación y no produce retrasos de fraguado. Las reacciones químicas en el hormigón convierten las nanopartículas de sílice en nanopartículas de cemento. (CarbonInspired, 2013)

La nanosílice tiene una actividad Puzolánica más alta que el humo de sílice ya que la puzolanidad no sólo depende de la composición, sino también de la pureza, de la baja cristalinidad y de la superficie específica, y en estos tres últimos aspectos la nanosílice tiene la ventaja. Ha sido posible detectar que la adición de nanosílice permite contar con una mezcla más cohesiva, con una reducción de la pérdida de agua y una tendencia a la segregación. (Duarte, 2013)

2.3.2. Fibra de polipropileno.

Las fibras macro sintéticas, han revolucionado la construcción del concreto estructural. Estas eliminan la necesidad de usar la malla o fibras metálicas en un gran número de aplicaciones. Ofrecen un rendimiento superior, ahorro en costos, además de las ventajas en salud y seguridad. (Adfil, 2017)

Las Fibras de Polipropileno Macro Estructurales para concreto tienen como uso principal, prevenir la fisuración en estado endurecido, a reducir el ancho de la fisura si ésta se presenta y a permitir el adecuado funcionamiento de la estructura fisurada. Las macrofibras más usadas son las sintéticas y las metálicas cuyos diámetros varían entre 0.05 mm a 2.00 mm. Estas fibras se incluyen y mezclan en el concreto como si fuesen un agregado más, normalmente exigen un tiempo de mezclado adicional entre 3 a 5 minutos para garantizar su completa dispersión. (Dificonsa, 2017)

Las Fibras de Polipropileno Macro Estructurales en pisos y pavimentos reemplazan la malla electrosoldada que es colocada en el centro del espesor, destinada a absorber los esfuerzos de temperatura y retracción en dichos elementos. Las mallas electrosoldadas se han usado para resolver los esfuerzos secundarios en pisos y pavimentos. Sin embargo, su almacenamiento, transporte y colocación (correcta) ha sido una fuente de dificultades en las obras, por no mencionar la inversión en mano de obra y tiempo. Justamente para resolver estos inconvenientes las Fibras de Polipropileno Macro Estructurales logran reemplazar el efecto de la malla. Estas previenen la aparición de fisuras a larga edad (en estado endurecido), si la fisuración tiene lugar impiden el incremento en el ancho de la misma, pero más importante aún permiten que la estructura continúe en servicio al aumentar su tenacidad. Este hecho multiplica la vida útil de la estructura. (Dificonsa, 2017)

2.3.3. Concreto Ecológico.

Es una alternativa del concreto habitual, cuya mezcla está compuesta por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de agregados finos, aditivos y agua. La combinación origina un material resistente con poros que varían de 2 a 8 mm, lo que permite el paso del agua. La rapidez del drenaje depende del tamaño del agregado y de la consistencia de la mezcla. (Villamar, Blogger, 2016)

El agregado fino se emplea en pequeñas cantidades o se elimina de la composición de la mezcla. Si bien, al añadir agregado fino se incrementa la resistencia, puede reducir la dimensión de los poros y por lo tanto la permeabilidad. Los agregados gruesos pueden tener un tamaño entre los 10 a 25 mm, ser de peso frecuente o liviano, y de forma redondeada o triturada. Debido a la poca cantidad de agregado fino, la medida de agua es un factor determinante en el concreto ecológico. Su resistencia depende de la adherencia entre el cemento y el árido grueso. La insuficiencia de agua provocará la falta de adherencia y se pueden presentar deficiencias en la composición, mientras que el exceso de la misma puede generar el taponamiento de los poros. El concreto ecológico es más rígido y su tiempo de fraguado es menor comparado con el concreto común, por lo que se utilizan aditivos que retardan el fraguado. (Villamar, Blogger, 2016)

2.3.4. Pavimentos rígidos de concreto ecológico.

Los pavimentos ecológicos se pueden definir como secciones compuestas de varias capas de materiales de construcción que permiten el paso del agua a través suyo, desde la superficie hasta la explanada, y en conjunto ofrecen la capacidad portante necesaria para resistir un tráfico determinado. El pavimento está compuesto por tres partes principalmente la superficie de rodadura que puede ser concreto ecológico (concreto permeable), concreto asfáltico y adoquines en todos los casos permeables el espesor de la superficie de rodadura está entre 10cm a 20cm. Para el concreto ecológico, debajo de la superficie de rodadura sigue la base granular que varía de 60cm a 90cm de espesor que puede ser utilizado como reservorio del agua que se infiltra y finalmente un geosintético que dependerá si queremos infiltrar el agua al suelo (filtro de tela o geomalla) o almacenar el agua (geomembrana). (Calderón & Charca, 2011)

2.3.5. Agregados de concreto reciclado.

Es la utilización como agregado de un concreto que ha sido previamente usado en otra obra que fue demolida y en la industria no serían más que escombros, (...). El concreto reciclado se caracteriza básicamente por contar con agregados de concreto reciclado, el cual se mezcla con cemento, agregado natural (grava y arena), agua y aditivos para obtener un concreto de características físicas y mecánicas similares a las del concreto tradicional. (360 en concreto, 2013)

El agregado reciclado es procedente de la trituración de cilindros de concreto descartados. El proceso de trituración escogido, luego de sondeos previos, consiste inicialmente en la reducción de tamaño del cilindro de concreto original (trituración primaria), mediante la trituradora de quijadas, luego se pasa el material en la trituradora de rodillos dos veces (trituración secundaria), con lo cual se obtiene una granulometría satisfactoria; sin embargo, dado que se obtiene un porcentaje considerable de polvo fino (pasante malla N° 200), se opta por eliminar este último material, puesto que aumenta la absorción del agregado y por consiguiente la cantidad de agua requerida para una consistencia determinada. (Hincapié & Aguja, 2003)

2.3.6. Resistencia a la compresión del concreto.

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi). (Osorio, 2013)

En toda obra, sin importar su magnitud o complejidad, la resistencia del concreto está directamente relacionada con la durabilidad y vida útil del proyecto. La capacidad del concreto para resistir rupturas o deformaciones derivadas de fuerzas externas depende de varios factores físicos y químicos, así como de la interacción entre ellos. (GEXIQ, 2011)

2.3.7. Resistencia a la flexión del concreto.

Según la National Ready Mixed Concrete Association (1991) menciona que: “La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto”.

La resistencia a la flexión de un concreto es baja a comparación con su resistencia a la compresión, pero muy superior a su resistencia en tracción pura. Este parámetro es aplicado en estructuras tales como pavimentos rígidos. (Rivera, 2000)

2.4. Definición de términos básicos

- **Optimización.** Se enfoca en utilizar de forma eficiente los recursos, tiene como propósito analizar e identificar la mejor solución posible, entre todas las soluciones potenciales. (Gestiopolis, 2015)
- **Concreto ecológico.** Es una alternativa del concreto habitual, cuya mezcla está compuesta por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de agregados finos, aditivos y agua. (Villamar, Blooger, 2016)

- **Permeabilidad del concreto ecológico.** Se refiere a la cantidad de migración de agua u otras sustancias líquidas por los poros del concreto ecológico en un determinado tiempo. (Especificación, 2017)
- **Nanosílice.** Es un nano aditivo en estado líquido a base de partículas de tamaño nanométrico, las reacciones químicas en el concreto convierten las nano partículas de sílice en nano partículas de cemento. (Rodríguez, 2012)
- **Fibra de polipropileno macro sintética estructural.** Son monofilamentos rugosos, fabricada 100% de polipropileno virgen de 3mm de diámetro y 65mm de longitud. Es ondulada para tener un excelente anclaje con el concreto. (Adra, 2017)
- **Pavimento Rígido.** Formado por una losa de concreto de cemento Portland sobre una base, sub base o directamente sobre la sub rasante. Transmite directamente los esfuerzos al suelo de forma minimizada. (Villanueva, 2015)
- **Agregado de concreto reciclado.** Agregado de un concreto que ha sido previamente usado en otra obra que fue demolida. (360 en concreto, 2013)

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General.

- La adición de nanosílice y fibras de polipropileno, a un concreto ecológico en pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado, optimiza la permeabilidad.

3.1.2. Hipótesis Específicas.

- La adición de nanosílice y fibras de polipropileno a un concreto ecológico en pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado, incrementa la resistencia compresión, sin afectar la permeabilidad.
- La adición de nanosílice y fibras de polipropileno a un concreto ecológico en pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado, incrementa la resistencia a flexión, sin afectar la permeabilidad.

3.2. Variables

3.2.1. Variable Independiente.

- Nanosílice
- Fibras de polipropileno

3.2.2. Variable Dependiente.

- Permeabilidad

3.2.3. Variables Intervinientes.

- Resistencia a compresión
- Resistencia a flexión

3.3. Operacionalización de los componentes de las hipótesis

Título:	Optimización de la permeabilidad del concreto ecológico con adición de nanosílice y fibra de polipropileno para pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado.				
Hipótesis	Definición conceptual de las variables	Variables	Dimensiones	Indicadores	Fuente o Instrumento de recolección de datos
Hipótesis General • La adición de nanosílice y fibras de polipropileno, a un concreto ecológico en pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado, optimiza la permeabilidad.	Es un nano aditivo en estado líquido a base de partículas de tamaño manométrico, conocido por su elevado poder de fluidificación y su capacidad de favorecer la evolución de resistencias, lo hace ideal para su empleo en cementos y hormigones; tiene gran poder plastificante y reductor de agua.	Variable Independiente Nanosílice	Masa	kg	Balanza Electrónica
	Son monofilamentos rugosos, fabricada 100% de polipropileno virgen de 3mm de diámetro y 65mm de longitud. Es ondulada para tener un excelente anclaje con el concreto y de elevar la resistencias mecánicas de este.	Fibras de polipropileno	Masa	kg	Balanza Electrónica
Hipótesis Específicas • La adición de nanosílice y fibras de polipropileno a un concreto ecológico en pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado, incrementa la resistencia compresión, sin afectar la permeabilidad. • La adición de nanosílice y fibras de polipropileno a un concreto ecológico en pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado, incrementa la resistencia a flexión, sin afectar la permeabilidad.	La permeabilidad es una propiedad que permite la filtración de un fluido, a través de los espacios interconectados del concreto.	Variable Dependiente Permeabilidad	Infiltración	mm/s	Permeámetro de carga variable

Cuadro 3: Operacionalización de los componentes de las hipótesis

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1. Ubicación Geográfica

La investigación se realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz”, en el edificio 1C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en la Av. Atahualpa N°1050. Geográficamente se encuentra entre los paralelos 7°10'02” de latitud sur y los meridianos 78°29'44” de longitud oeste, y con coordenadas UTM; E 776623.79, N 9207008.75. La duración que tuvo esta investigación fue de doce (12) meses consecutivos durante los meses de abril del 2018 a marzo del 2019.

Ubicación.

- Departamento: Cajamarca
- Provincia: Cajamarca
- Distrito: Cajamarca
- Ciudad Universitaria – UNC

Coordenadas UTM.

- Norte: 9207008.75
- Este: 776623.79
- Zona: 17M
- Datum: WGS 84



Figura 12: Imagen satelital 2019 de la Ubicación del Proyecto en Estudio

Fuente: Google Earth

4.2. Diseño de la Investigación

De acuerdo a la naturaleza y objetivos que se plantean en el presente trabajo de investigación, se ha seleccionado un estudio con diseño experimental, se realizó la manipulación controlada e intencional de las variables para medir los resultados (Causa - Efecto); con un enfoque cuantitativo por la toma de datos para probar nuestra hipótesis con base a la medición numérica para las diferentes dosificaciones a fin de obtener el diseño óptimo.

Es una investigación tecnológica porque valiéndose de la metodología científica y aplicando los resultados de investigaciones anteriores en otras realidades, permite descubrir nuevos conocimientos, para luego aplicarlos en la mejora de diseños y procesos constructivos, con el fin de resolver problemas o necesidades de la sociedad; por ello se diseñó una mezcla de concreto ecológico aplicado a pavimentos rígidos para la ciudad de Cajamarca.

4.2.1. Origen de los agregados de concreto reciclado.

- **Ubicación.** Shudal – Cajamarca.
- **Procedencia.** Concreto reciclado de pavimento rígido antiguo.
- **Chancadora.** Acosta – Baños del Inca.

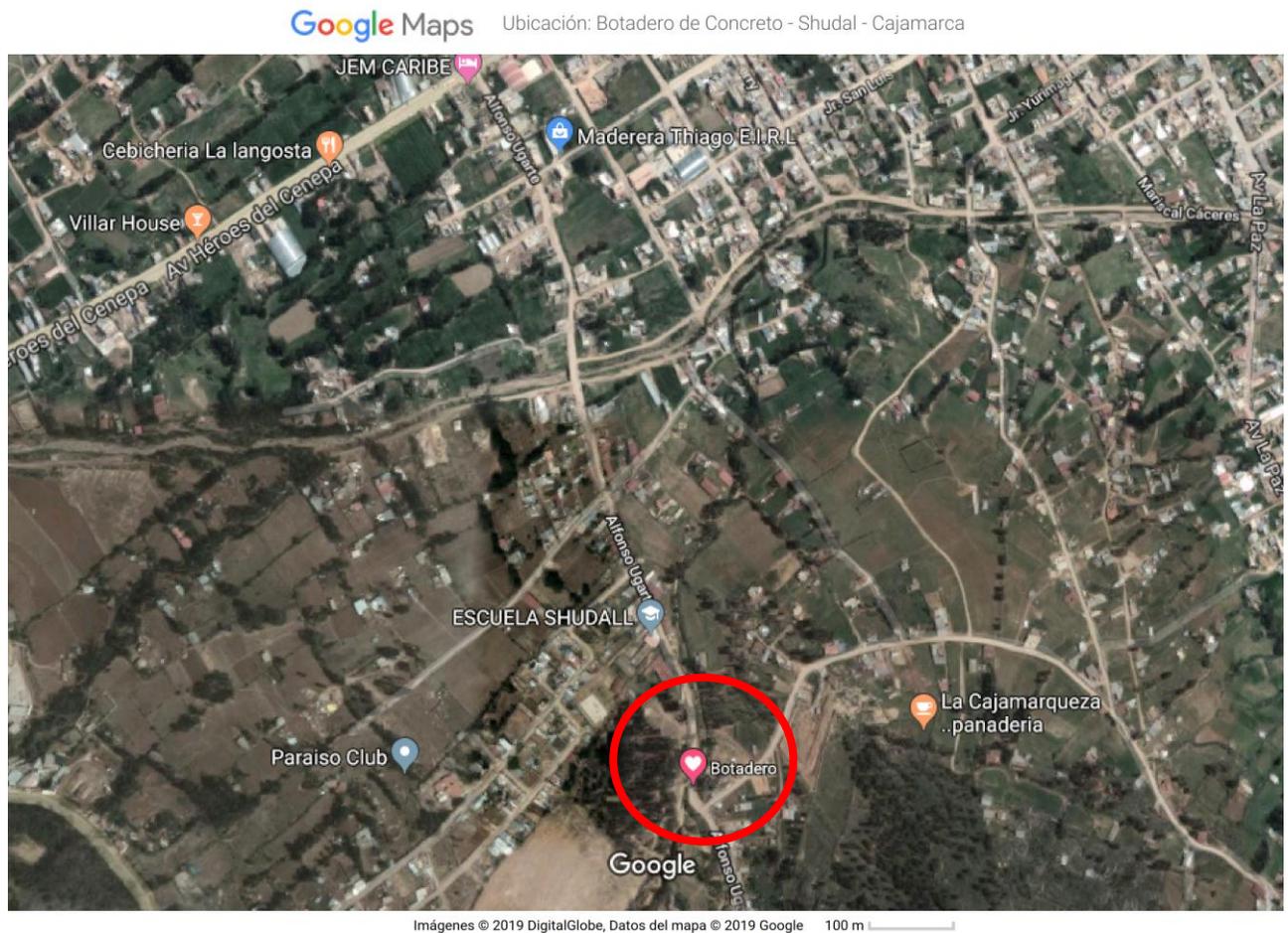


Figura 13: Imagen satelital 2019 de la ubicación de botadero de concreto

Fuente: Google Earth, 2018

4.2.2. Materiales utilizados en el estudio.

4.2.2.1. Agregados.

4.2.2.1.1. Agregado grueso.

Se utilizó un agregado grueso con tamaño nominal de 3/4 de pulgada que se encuentra dentro del uso granulométrico N° 67. El agregado grueso utilizado para la mezcla presentó un peso específico de 2.249 y un peso unitario compactado de 1416.75 Kg/m³, valores que se encuentran dentro de los rangos normales que presentan los agregados utilizados en el concreto.

4.2.2.1.2. Agregado fino.

El agregado fino que se utilizó presenta valores que pueden utilizarse en la elaboración de concretos, cuenta con un peso específico de 2.538 y peso unitario compactado de 1814.33 Kg/m³.

4.2.2.2. Cemento.

Basado en el reporte ACI 522 R-10, se utilizó el Cemento Pacasmayo Tipo I, este es un cemento de uso general que cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150 (Especificación Normalizada para Cemento Portland), y posee un peso específico 3.12 gr/cm³.

En el Anexo I se presenta la ficha técnica del Cemento Portland Pacasmayo Tipo I de Cementos Pacasmayo S.A.A.

4.2.2.3. Agua.

El agua que se utilizó para la elaboración de la mezcla del concreto permeable, es agua potable de la Universidad Nacional de Cajamarca, la cual cumple con la norma ASTM D-1293 / NTP 339.088 (Métodos de prueba estándar para el pH del agua).

4.2.2.4. Aditivos.

Se usó el aditivo nanosílice para concretos denominado GAIA Nanosílice de la empresa Ulmen, el cual aumenta la resistencia mecánica del concreto. Posee un peso específico de 1.030 ± 0.02 gr/ml. Cumple con la Norma ASTM C 494 “Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto” tipos A y F y la Norma ASTM C1240 “Especificación estándar para el humo de sílice usados en mezclas de cemento”.

4.2.2.5. Fibras de polipropileno.

Con el propósito de aumentar las resistencias mecánicas, en este trabajo de investigación se usó fibras de polipropileno macro sintética estructural, denominada Sika® Fiber Force PP 48, de Building Trust SIKA. La cual cumple con la Norma ASTM C 1116 “Especificación estándar para hormigón reforzado con fibra”.

Tabla 8: Resumen de los datos técnicos de la fibra de polipropileno Sika® Force PP 48

DATOS TÉCNICOS	VALOR	UNIDAD
Longitud	48	mm
Ancho de la fibra	1.2855	mm
Espesor de la fibra	0.3325	%
Resistencia a tracción	620	MPa
Resistencia a álcalis, sales y ácidos	Alta	%

Fuente: Hoja técnica de la fibra de polipropileno Sika® Force PP 48, de Building Trust SIKA

4.2.3. Metodología para el diseño del concreto ecológico.

El desarrollo de esta tesis consiste en dos etapas que se describen a continuación:

Etapa I.

- Estudios de las propiedades de los agregados de concreto reciclado según las normas ASTM y NTP.
- Diseños Iniciales del concreto ecológico donde se obtuvo un diseño óptimo.
- Al diseño óptimo se le adicionó las fibras de polipropileno macro sintética estructural, teniendo en cuenta la cantidad agregada según la hoja técnica de dicho producto.

Etapa II.

- Al diseño óptimo se le adicionó el aditivo nanosílice, teniendo en cuenta la cantidad agregada según la hoja técnica de dicho producto.
- Al diseño óptimo se le adicionó el aditivo nanosílice y las fibras de polipropileno macro sintética estructural, teniendo en cuenta la cantidad agregada según la hoja técnica de dichos productos.
- Se realizó un diseño de pavimento rígido con concreto ecológico.

4.2.3.1. Etapa I.

4.2.3.1.1. Estudios de las propiedades de los agregados de concreto reciclado según las normas ASTM y NTP.

- Peso Específico y Absorción ASTM C 127 / NTP 400.021 y ASTM C 128 / NTP 400.022
- Contenido de Humedad ASTM C 70 / NTP 339.185
- Análisis Granulométrico ASTM C 136 / NTP 400.012
- Cantidad de Material Fino que pasa el tamiz N° 200 ASTM C 117 / NTP 339.132
- Peso Unitario ASTM C 29 / NTP 400.017
- Resistencia a la Abrasión. Los Ángeles ASTM C 131 / 400.019

4.2.3.1.2. Diseños iniciales.

Se diseñó una mezcla de concreto ecológico, con las características hidráulicas y mecánicas que se desea, las cuales están en función del uso del concreto ecológico en obra.

Cabello, Campuzano, Espinoza, & Sánchez (2015) mencionan que: las variables que afectan el comportamiento del concreto ecológico son: granulometría, cemento, relación agua – material cementante y contenido de vacíos. Así tenemos si existe una mayor dosis de cemento generará un concreto ecológico más resistente, pero disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo así su capacidad de infiltración.

Una cantidad insuficiente de agua da como resultado una mezcla sin consistencia y con baja resistencia, en cambio una excesiva cantidad de agua, genera una pasta que sellara los vacíos de mezcla y que además lavará el cemento de la superficie del agregado.

Para que una mezcla sea considerada ecológica o permeable, debe tener como mínimo un 15% de vacíos y se recomienda además que este contenido no supere el 25% por la poca inestabilidad. Es debido a esto por lo que las mezclas de concreto ecológico para obtener características especiales como un convencional, se utiliza adiciones para mejorar sus propiedades en estado fresco (trabajabilidad) y endurecido (resistencia).

Para el método de dosificación del diseño se tomó en base a los procedimientos el Método del Comité 211.3R-02 del ACI, recomendaciones del Comité 522, estudios realizados por: Pervious Pavement Organization, National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), Portland Cement Pervious Concrete Pavement; el sustento reside en que siguiendo estas recomendaciones y experiencias se puede obtener una estructura de concreto, con contenido de vacíos importantes a diferencia de un concreto convencional, por lo que la cantidad de mortero debe ser suficiente para recubrir todas las partículas de agregado y formar puentes de adherencia de forma tal obtener una porosidad elevada.

De acuerdo a las etapas se tomarán las siguientes nomenclaturas:



Donde:

Etapas: I, II

Materiales:

IP – Cemento Portland Tipo I Pacasmayo

AG – Agregado Grueso

AF – Agregado Fino

FPM – Fibras de Polipropileno Macro Sintética Estructural

AN – Aditivo Nanosílice

N° de diseño inicial: 1, 2, 3

El diseño de las mezclas está basado en parámetros establecidos por el reporte ACI 522R-10, el cual está fundamentado en pruebas que este comité ha realizado para determinar el funcionamiento óptimo de este tipo de concreto.

Básicamente el comité ACI 522 se apoya en el trabajo desarrollado por el comité ACI 211.3-02 en su apéndice N° 6. El cual menciona que el procedimiento para producir las tandas de prueba iniciales para concreto ecológico se toma el mismo procedimiento para concretos permeables la cual muestra en la sección 6.7.1 del comité ACI 522-10 “Reporte sobre Concreto Permeable”.

Secuencia del diseño:

Paso 1. Selección de la resistencia promedio.

A partir de la resistencia a compresión de diseño se tomó una resistencia promedio superior.

$$f'_{cr} = 1.20 \times f'_c$$

Ecuación 6. Tecnología del Concreto (Lezama, 1996)

Paso 2. Asentamiento.

El ACI 211.3R-02 proporciona una guía para la selección de consistencia para concreto de Slump cero.

Tabla 9: Consistencias del concreto según el ACI 211.3R-02

Descripción de Consistencia	Asentamiento
Sumamente Seco	--
Muy Seco	--
Seco	0" – 1"
Plástico Seco	1" – 3"
Plástica	3" – 5"
Muy Plástica	5" – 7 1/2"

Fuente: Norma ACI 211.3R-02

La característica del concreto ecológico es que la mezcla tiene una consistencia seca de asentamiento inferior a 2mm.

Paso 3. Tamaño Máximo Nominal.

Para el presente trabajo de investigación se escogió un tamaño máximo nominal de 3/4" a N°4 que pertenece al uso granulométrico 67.

Paso 4. Relación agua / material cementante.

Para el presente trabajo de investigación se tomó el valor constante de 0.30 para la relación agua / material cementante. (Azañedo, Chávez, & Muñoz, 2007)

Paso 5. Determinación del Agregado Grueso.

Para obtener la cantidad de agregado grueso se basó en el método del ACI 211.3R-02, en donde se presenta una tabla en función del porcentaje de fino del 0% al 20% del total de los agregados y el uso granulométrico N°8 y N°67, de la cual se obtiene el coeficiente b/b_0 .

Tabla 10: Valor b/b_0 efectivo

% Agregado fino	b/b_0	
	N° 8	N° 67
	3/8 "	3/4 "
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: Norma ACI 211.3R-02, tabla A.6.1

$$b/b_0 = \frac{\text{Peso del Agregado Grueso}}{\text{P.U.S.C Agregado Grueso}}$$

Ecuación 7. Norma ACI 211.3R-02, tabla A.6.1

De donde:

b/b_0 = Volumen seco varillado del agregado grueso en una unidad de volumen de concreto.

b = Volumen real del agregado grueso en una unidad de volumen de concreto

b_0 = Volumen real del agregado grueso en una unidad de volumen de agregado grueso.

Paso 6. Cantidad de Cemento.

Para la determinación del cemento partimos de la referencia ACI 211.3R-02, y según el grafico Contenido de Vacíos y Resistencia a compresión a los 28 días, se entra con el dato de la resistencia promedio que es igual 210 Kg/cm² y hallamos el contenido de vacíos en porcentaje.

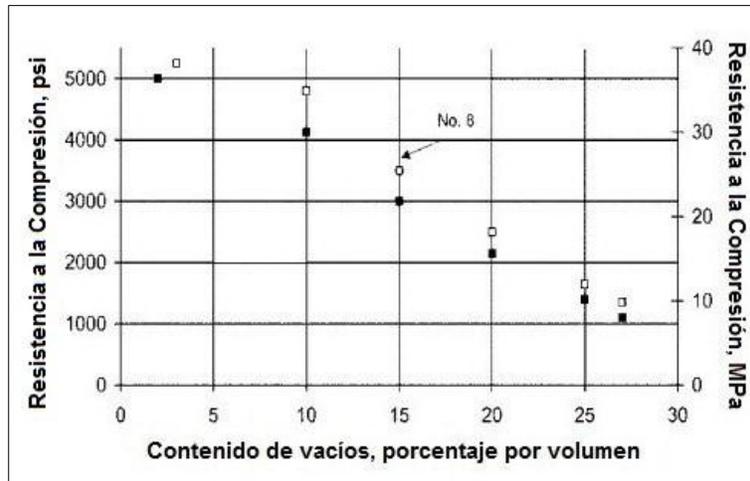


Figura 14: ACI 211.3R-02, Relación entre el Contenido de Vacíos y Resistencia a la Compresión a los 28 días para Agregados de Tamaño No. 67 y No. 8 de la Norma ASTM C 33

Teniendo el porcentaje de vacíos se halla la percolación estimada basado en pruebas y Métodos de Ensayo de la NAA-NRMCA (National Aggregates Association - National Ready Mixed Concrete Association).

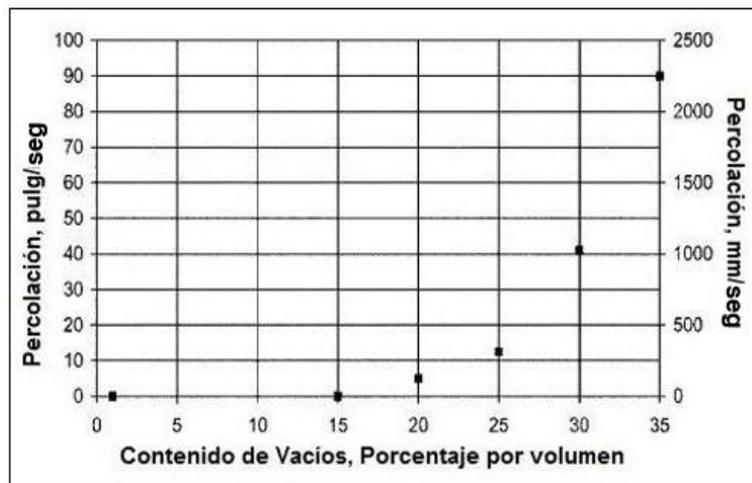


Figura 15: ACI 211.3R-02, Contenido de Vacíos Mínimo para la percolación basada en pruebas y Métodos de Ensayo de la NAA-NRMCA (National Aggregates Association-National Ready Mixed Concrete Association)

Una vez hallado el porcentaje del contenido de vacíos, hallamos el porcentaje del volumen de pasta según el siguiente gráfico.

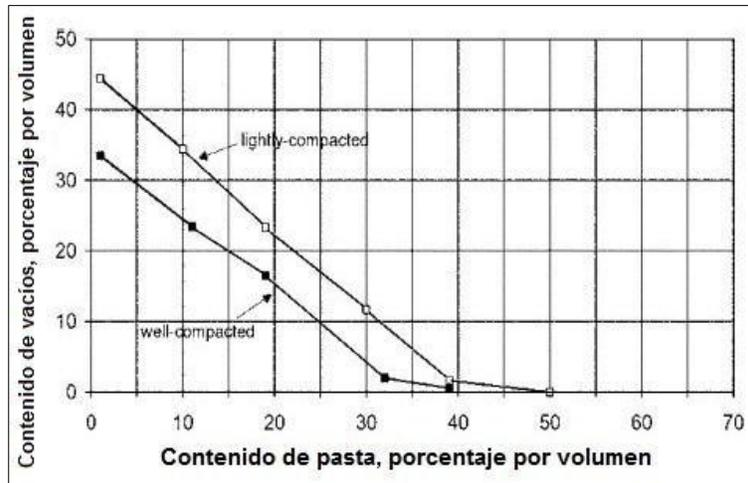


Figura 16: ACI 211.3R-02, Relación entre pasta y contenido de vacíos para agregados de Tamaño Nº 7 según designación de la Norma ASTM C 33

Si se sabe que:

$$\text{Volumen de pasta} = \text{Volumen de cemento} + \text{Volumen de agua}$$

Ecuación 8. Volumen de pasta

Además

$$\text{Volumen de pasta} = \frac{\text{Cemento}}{\text{Peso específico Cemento}} + \frac{\text{Agua}}{\text{Peso específico Agua}}$$

Ecuación 9. Volumen de pasta

Paso 7. Volumen de agua de diseño.

A partir de la relación agua / material cementante y de la cantidad de cemento de la ecuación anterior, se calcula el volumen unitario de agua de diseño.

$$\text{Agua} = (\text{Contenido de Cemento}) \times (\text{Relacion a/c})$$

Ecuación 10. Cantidad de agua

Paso 8. Determinación de volúmenes absolutos de agregado fino – Método de los volúmenes absolutos.

El comité ACI 211 determina el volumen absoluto, como la suma de los pesos de los materiales cemento, agua, agregado grueso, aire dividido entre sus pesos

específicos. El volumen absoluto del agregado fino es la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos.

La determinación del peso seco del agregado fino es igual:

$$\text{Peso agregado fino seco} = (\text{Vol. Abs. A.F}) \times (\text{Peso Especifico A.F})$$

Ecuación 11. Peso del agregado fino

Paso 9. Resumen de pesos secos materiales por m³.

Paso 10. Corrección de valores de diseño por humedad de los agregados.

Puesto que los agregados para la preparación de concreto se encuentran en estado húmedo, por lo cual sus pesos secos se incrementan en el porcentaje de agua que contengan, tanto agua absorbida como agua superficial. Así el agua de mezclado añadida a la tanda, debe ser reducida en una cantidad igual a la humedad libre aportada por los agregados, considerándose como tal el contenido de humedad del agregado menos el porcentaje de absorción.

$$\text{Peso del agregado grueso humedo en kg} = \left(\frac{\text{Peso del agregado}}{\text{grueso seco en kg}} \right) \times (1 + W_{AG}\%)$$

Ecuación 12. Peso del agregado grueso húmedo

$$\text{Peso del agregado fino humedo en kg} = \left(\frac{\text{Peso del agregado}}{\text{fino seco en kg}} \right) \times (1 + W_{AF}\%)$$

Ecuación 13. Peso del agregado fino húmedo

$$\text{Agua en el agregado grueso} = \left(\frac{\text{Peso del agregado}}{\text{grueso seco en kg}} \right) \times (W_{AG}\% - Abs_{AG}\%)$$

Ecuación 14. Cantidad de agua en el agregado grueso

$$\text{Agua en el agregado fino} = \left(\frac{\text{Peso del agregado}}{\text{fino seco en kg}} \right) \times (W_{AF}\% - Abs_{AF}\%)$$

Ecuación 15. Cantidad de agua en el agregado fino

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua de diseño} - (\text{Agua en el agregado grueso} + \text{Agua en el agregado fino})$$

Ecuación 16. Cantidad de agua efectiva

Paso 11. Resumen de cantidad de materiales por m³ de concreto corregidos por humedad.

Paso 12. Determinación de proporciones en peso de diseño y de obra.

La proporción se relaciona con la cantidad de cemento que se está siendo utilizada.

$$\frac{\text{Cemento}}{\text{Cemento}} : \frac{\text{Agregado Fino}}{\text{Cemento}} : \frac{\text{Agregado Grueso}}{\text{Cemento}}$$

Ecuación 17. Proporción de diseño y de obra

$$\text{Relación Agua/Cemento de diseño} = \text{Agua diseño/cemento}$$

Ecuación 18. Relación a/c de diseño

$$\text{Relación Agua/Cemento efectiva} = \text{Agua efectiva/cemento}$$

Ecuación 19. Relación a/c efectiva

El procedimiento para las mezclas de los diseños iniciales se encuentra el Apéndice II. Los resultados que se obtuvieron de los diseños iniciales en la etapa I, a los 7 días se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 11: Resumen de diseño – inicial (Código I-IP-AG-AF-1)

Nombre de la Mezcla	Tamaño de Agregado	Cemento		Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua lt/m ³	a/mc	f'c (7 días)
		Tipo	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³			Kg/cm ²
I-IP-AG-AF-1-1								60.31
I-IP-AG-AF-1-2	3/4 - N° 67	IP	367.44	139.13	1398.94	118.25	0.3	69.80
I-IP-AG-AF-1-3								61.43

Esfuerzo promedio 63.85 kg/cm²

En la Tabla 11 se muestra la cantidad de material y las resistencias obtenidas del diseño inicial, de donde se puede apreciar que las resistencias son muy bajas, debido a que dicha mezcla presenta alto contenido de vacíos (27.02 %) por el

método de volúmenes absolutos; luego se realizan reajustes a la mezcla hasta alcanzar la resistencia requerida tratando de conservar el contenido de vacíos para la permeabilidad.

Tabla 12: Resumen de diseño - primer reajuste (Código I-IP-AG-AF-2)

Nombre de la Mezcla	Tamaño de Agregado	Cemento		Ag. Fino Kg/m ³	Ag. Grueso Kg/m ³	Agua lt/m ³	a/mc	f'c (7 días)
		Tipo	Kg/m ³					Kg/cm ²
I-IP-AG-AF-2-1								110.57
I-IP-AG-AF-2-2	3/4 - N° 67	IP	380.47	256.51	1281.136	112.57	0.3	99.96
I-IP-AG-AF-2-3								103.31

Esfuerzo promedio 104.61 kg/cm²

En la Tabla 12 se muestra la cantidad de material y las resistencias obtenidas del primer reajuste del diseño de donde se puede apreciar que las resistencias ha aumentado, debido a que dicha mezcla ha bajado el contenido de vacíos (16.45 %) por el método de volúmenes absolutos; ahora se realizó un segundo reajuste debido al agua añadida a la mezcla.

Tabla 13: Resumen de diseño - segundo reajuste (Código I-IP-AG-AF-3 : Código I-D)

Nombre de la Mezcla	Tamaño de Agregado	Cemento		Ag. Fino Kg/m ³	Ag. Grueso Kg/m ³	Agua lt/m ³	a/mc	f'c (7 días)
		Tipo	Kg/m ³					Kg/cm ²
I-IP-AG-AF-3-1								120.06
I-IP-AG-AF-3-2	3/4 - N° 67	IP	387.07	181.71	1238.513	119.18	0.3	111.68
I-IP-AG-AF-3-3								108.33

Esfuerzo promedio 113.36 kg/cm²

En la Tabla 13 se muestra la cantidad de material y las resistencias obtenidas del segundo reajuste del diseño de donde se puede apreciar que las resistencias ha aumentado, y el contenido de vacíos (16.00 %) se mantiene dentro del rango; finalmente se toma a este diseño como el definitivo.

4.2.3.1.3. Diseño inicial con fibras de polipropileno.

Al diseño o mezcla base ajustada (**Código I-IP-AG-AF-3: Código I-D**), se le adicionó fibra de polipropileno macro sintética estructural Sika® Fiber Force PP 48

(FPM), teniendo en cuenta la dosificación especificada en la ficha técnica de dicho producto (8kg por 1m³). Se analizará su comportamiento tanto en la trabajabilidad, consolidación, permeabilidad y resistencia a la compresión a los 07 días y luego se elaborarán especímenes para ensayarlos a los 07,14 y 28 días para compresión y 07, 14 y 28 días para flexión.

El procedimiento para las mezclas de diseños iniciales con fibras de polipropileno se encuentra el Apéndice II. Los resultados que se obtuvieron del diseño inicial con fibra de polipropileno en la etapa I, a los 7 días se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 14: Resumen de diseño - segundo reajuste y fibras de polipropileno (Código I-D-FPM)

Nombre de la Mezcla	Tamaño de Agregado	Cemento Tipo	Ag. Fino Kg/m ³	Ag. Grueso Kg/m ³	Agua lt/m ³	Fibra de Polipropileno a/mc Kg/m ³	f'c (7 días) Kg/cm ²
HP-AG-AF-3-FPM-1							131.23
HP-AG-AF-3-FPM-2	3/4 - N° 67	IP	387.07	181.71	1238.513	119.18 0.3	126.76
HP-AG-AF-3-FPM-3							135.69

Esfuerzo promedio 131.23 kg/cm²

En la Tabla 14 se muestra la cantidad de material y las resistencias obtenidas del segundo reajuste agregado con fibras de polipropileno, de donde se puede apreciar que las resistencias a aumentado con respecto a los resultados de la Tabla 13, y además del diseño se obtiene el contenido de vacíos (16.03 %) por el método de volúmenes absolutos.

4.2.3.2. Etapa II.

4.2.3.2.1. Diseño inicial con aditivo Nanosílice.

En esta etapa se realizó con la finalidad de mejorar las propiedades del concreto ecológico de la etapa I (**Código I-D-FPM**), como es la porosidad, resistencia, utilizando un aditivo Nanosílice para concretos (GAIA Nanosílice).

El aditivo Nanosílice, a emplear para la dosificación de una mezcla de concreto ecológico, aumenta las resistencias mecánicas como también la adherencia a las fibras según la dosificación a utilizar (1% del peso del cemento), y cumple con la norma ASTM C494 Tipos A y F.

En estado fresco mejora su trabajabilidad con lo cual el concreto fluye rápidamente manteniendo una alta plasticidad por tiempos prolongados. Para concreto endurecido presentan mayores resistencias iniciales, mayor resistencia final a la compresión, mayor módulo de elasticidad, menor retracción y deformación.

Para el diseño en esta segunda etapa se realizó de la misma manera que se trabajó para los diseños iniciales, teniendo en cuenta que el porcentaje de agregado fino para esta segunda etapa se considerará el del diseño ya reajustado. Además de eso se tendrá en cuenta el reajuste por el uso del aditivo Nanosílice.

El procedimiento para las mezclas de diseños iniciales con aditivo nanosílice se encuentra el Apéndice II. Los resultados que se obtuvieron de los diseños en la etapa II, a los 7 días se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 15: Resumen de diseño – inicial (Código II-IP-AG-AF-AN-1)

Nombre de la Mezcla	Tamaño de Agregado	Cemento Tipo	Ag. Fino Kg/m ³	Ag. Grueso Kg/m ³	Agua lt/m ³	a/mc	Aditivo Nanosílice (kg)	f'c (7 días)	
								Kg/cm ²	
II-IP-AG-AF-1-AN-1								58.63	
II-IP-AG-AF-1-AN-2	3/4 - N° 67	IP	367.44	90.2	1440.17	122.15	0.3	3.67	70.36
II-IP-AG-AF-1-AN-3									67.01

Esfuerzo promedio 65.33 kg/cm²

En la Tabla 15 se muestra la cantidad de material y las resistencias obtenidas del diseño inicial con el aditivo nanosílice, de donde se puede apreciar que las resistencias son un poco bajas, y con contenido de vacíos (20.71 %); esto debido a la cantidad de agua y el reemplazo del aditivo, por lo se realizan reajustes a la mezcla hasta alcanzar la resistencia requerida tratando de conservar el contenido de vacíos para la permeabilidad.

Tabla 16: Resumen de diseño - primer reajuste (Código II-IP-AG-AF-AN-2)

Nombre de la Mezcla	Tamaño de Agregado	Cemento		Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua	a/mc	Aditivo Nanosílice (kg)	f'c (7 días)
		Tipo	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	lt/m ³			Kg/cm ²
II-IP-AG-AF-2-AN-1									114.47
II-IP-AG-AF-2-AN-2	3/4 - N° 67	IP	380.83	178.79	1346.099	118.87	0.3	3.81	134.02
II-IP-AG-AF-2-AN-3									128.99

Esfuerzo promedio 125.83 kg/cm²

En la Tabla 16 se muestra la cantidad de material y las resistencias obtenidas del primer reajuste del diseño con aditivo nanosílice de donde se puede apreciar que las resistencias ha aumentado, y con un contenido de vacíos (19.68 %) por método de volúmenes absolutos; luego se realizó un segundo reajuste con los datos obtenidos de la mezcla.

Tabla 17: Resumen de diseño-segundo reajuste (Código II-IP-AG-AF-AN-3 : Código II-D-AN)

Nombre de la Mezcla	Tamaño de Agregado	Cemento		Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua	a/mc	Aditivo Nanosílice (kg)	f'c (7 días)
		Tipo	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	lt/m ³			Kg/cm ²
II-IP-AG-AF-3-AN-1									142.95
II-IP-AG-AF-3-AN-2	3/4 - N° 67	IP	365.50	289.24	1275.27	105.74	0.3	3.66	138.49
II-IP-AG-AF-3-AN-3									144.63

Esfuerzo promedio 142.02 kg/cm²

En la Tabla 17 se muestra la cantidad de material y las resistencias obtenidas del segundo reajuste del diseño con aditivo nanosílice de donde se puede apreciar que las resistencias ha aumentado un poco más, y con un contenido de vacíos (18.75 %) por el método de volúmenes absolutos; finalmente se toma a este diseño como el definitivo.

4.2.3.2.2. Diseño inicial con aditivo Nanosílice y Fibras de Polipropileno.

Al diseño o mezcla base ajustada (**Código II-IP-AG-AF-AN-3: Código II-D-AN**), se le adicionó Fibra de Polipropileno Macro Sintética Estructural (FPM), teniendo en cuenta la dosificación especificada en la ficha técnica de dicho producto (8kg por

1m³). Se analizó su comportamiento tanto en la trabajabilidad, consolidación, permeabilidad y resistencia a la compresión a los 07 días y luego se elaboró especímenes para ensayarlos a los 07,14 y 28 días para compresión y 07, 14 y 28 días para flexión.

El procedimiento para las mezclas de diseños iniciales con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno se encuentra el Apéndice II. Los resultados que se obtuvieron del diseño inicial con aditivo nanosílice y fibra de polipropileno en la etapa II, a los 7 días se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 18: Resumen de diseño - segundo reajuste con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno (Código II-D-AN-FPM)

Nombre de la Mezcla	Tamaño de Agregado	Cemento		Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua lt/m ³	a/mc	Aditivo Nanosílice (kg)	Fibra de Polipropileno Kg/m ³	f'c (7 días)
		Tipo	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³					Kg/cm ²
II-IP-AG-AF-3-AN-FPM-1										150.21
II-IP-AG-AF-3-AN-FPM-2	3/4 - N° 67	IP	365.50	289.24	1275.27	105.74	0.3	3.66	8.00	142.40
II-IP-AG-AF-3-AN-FPM-3										144.07

Esfuerzo promedio 145.56 kg/cm²

En la Tabla 18 se muestra la cantidad de material y las resistencias obtenidas del segundo reajuste con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno, de donde se puede apreciar que las resistencias a aumentado con respecto a los resultados de la Tabla 17; y además del diseño se obtiene el contenido de vacíos (16.87 %) por método de volúmenes absolutos.

4.2.4. Especímenes con diferentes tipos de mezcla.

4.2.4.1. Dosificación N° 01: Diseño Inicial – Segundo Reajuste.

Estos especímenes fueron elaborados con agua, cemento y agregados, solamente un diseño normal reajustado, para cada tipo de ensayo se elaboró la cantidad de concreto ecológico necesario bajo las denominaciones siguientes y según la edad de ensayo:

- **Compresión:** I - D - 7d, 14d y 28d
- **Flexión:** I - D - 7d, 14d y 28d
- **Permeabilidad:** I - D - 28d

4.2.4.2. Dosificación N° 02: Diseño Inicial – Segundo Reajuste con adición de Fibras de Polipropileno.

Estos especímenes fueron elaborados con agua, cemento y agregados con la adición de Fibras de Polipropileno Macro Sintética Estructural (8kg/m³), para cada tipo de ensayo se elaboró la cantidad de concreto ecológico necesario bajo las denominaciones siguientes y según la edad de ensayo:

- **Compresión:** I - D - FPM - 7d, 14d y 28d
- **Flexión:** I - D - FPM - 7d, 14d y 28d
- **Permeabilidad:** I - D - FPM - 28d

4.2.4.3. Dosificación N° 03: Diseño Inicial – Segundo Reajuste con adición de Nanosílice.

Estos especímenes fueron elaborados con agua, cemento y agregados con la adición de aditivo nanosílice (1% del peso del cemento), para cada tipo de ensayo se elaboró la cantidad de concreto ecológico necesario bajo las denominaciones siguientes y según la edad de ensayo:

- **Compresión:** II - D - AN - 7d, 14d y 28d
- **Flexión:** II - D - AN - 7d, 14 y 28d
- **Permeabilidad:** II - D - AN - 28d

4.2.4.4. Dosificación N° 04: Diseño Inicial – Segundo Reajuste con adición de Nanosílice y Fibras de Polipropileno.

Estos especímenes fueron elaborados con agua, cemento y agregados con la adición de Nanosílice (1% del peso del cemento) y Fibras de Polipropileno (8kg/m³),

para cada tipo de ensayo se elaboró la cantidad de concreto ecológico necesario bajo las denominaciones siguientes y según la edad de ensayo:

- **Compresión:** I - D - AN - FPM - 7d, 14d y 28d
- **Flexión:** I - D - AN - FPM - 7d, 14d y 28d
- **Permeabilidad:** I - D - AN - FPM - 28d

Con cada una de las cuatro dosificaciones vistas en los acápites anteriores, se elaboraron 18 especímenes cilíndricos de concreto ecológico de los cuales cada 6 especímenes serán ensayados a la edad de 7, 14 y 28 días, 18 especímenes prismáticos de concreto para ser ensayados a flexión, de los cuales cada 6 especímenes serán ensayados a la edad de 7, 14 y 28 días; por lo cual se tendrían 6 repeticiones para cada caso. Se consideró esta cantidad de repeticiones ya que la Norma NTP 339.034 establece que se deberá trabajar con un promedio mínimo de 3 probetas hermanas para considerar al promedio como consistente. Es por ello que se tomaron múltiplos de 3 para la evaluación de los especímenes.

También se elaboraron 6 especímenes cilíndricos de concreto ecológico para cada una de las cuatro dosificaciones, para el ensayo de permeabilidad a los 28 días.

4.2.5. Elaboración de los especímenes para los ensayos mecánicos.

La elaboración de los especímenes de concreto cilíndricos y prismáticos para pruebas de compresión (150 mm por 300 mm), flexión (150 mm por 150 mm por 500 mm), con cada una de las dosificaciones descritas en el ítem 4.2.4 se realizaron siguiendo los procedimientos indicados en los reportes del ACI 211.3R-02 y ACI 522R-10, y para el ensayo de permeabilidad se realizó especímenes cilíndricos (100mm x 150mm).

- **Aparatos:**
 - a) *Moldes.* Se utilizó moldes fabricados de metal del laboratorio de materiales de la UNC de 6 pulg. de diámetro y 12 pulg. de altura; Los moldes también fueron cubiertos interiormente con una mínima cantidad de aceite de cocina mineral,

para facilitar el desmolde de los especímenes. En el caso de los especímenes prismáticos se emplearon moldes de madera elaborados con las medidas descritas con anterioridad especialmente para esta tesis.

- b) *Martillo de Proctor Estándar (5 libras)*. se utilizó para compactar los especímenes de la mezcla de concreto ecológico, este martillo está basada en la norma ASTM D-698 (Métodos de prueba estándar para Laboratorio características de compactación de suelo mediante Esfuerzo Estándar), cuyas características son: diámetro 50.8 ± 0.13 mm, caída libre 305.2 ± 2 mm (12”), peso 2.495 ± 0.01 Kg.
- c) *Varilla de compactación*. Una varilla lisa de acero, redondeada de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo un extremo o ambos extremos de forma redondeada tipo semi-esférica, con 16 mm de diámetro.
- d) *Herramientas manuales*. Palas, baldes, espátulas, cucharones y reglas.
- e) *Balanza*. Una balanza con exactitud dentro del 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto del rango de uso, con graduación al menos de 0.05 kg.
- f) *Mezcladora*. Fue una mezcladora tipo trompo eléctrico de 6 pies cúbicos de capacidad.

- **Procedimiento:**

- a) *Pasos para la realización de las mezclas:*

1. Se realizaron mezclas de volumen igual a 0.02 m^3 con lo que se elaboraron 3 especímenes gemelos para las pruebas a compresión, además con dos mezclas de este volumen se elaborarán 3 especímenes de prueba para flexión.

2. Se limpió y secó el interior de la mezcladora para que así no aporte agua adicional a la mezcla o algún otro material que no se haya previsto para la elaboración de esta; así mismo se procedió a pesar las dosificaciones de cemento, agregado fino, agregado grueso, medir el volumen del agua y pesar la cantidad de fibra de polipropileno y la cantidad de aditivo nanosílice requerida para los casos que corresponda.

3. No existe norma alguna que indique el procedimiento para cargar la mezcladora con los materiales, sin embargo numerosos antecedentes aconsejan que se debe agregar una porción del agua a la mezcladora, luego se añade el agregado fino y posteriormente el grueso, finalmente se agrega el cemento y el resto del agua, en el caso de los especímenes con adiciones de fibra, se mezcló previamente el agua con la fibra añadiéndola a la mezcla de agregados, se comenzó a mezclar los materiales, hasta obtener una mezcla de color uniforme de los agregados y el cemento, se continuó mezclando hasta que se presente homogeneidad, consistencia y color uniforme en la mezcla, presentándose el agregado grueso totalmente cubierto por la pasta. Así mismo, se controló que el tiempo de mezclado después de haber sido adicionado el volumen final de agua. Para el caso de los especímenes con adición de nanosílice, este se adicionó a la mezcladora una vez mezclados los agregados, cemento y agua; de igual modo la fibra de polipropileno macro sintética se agregó a la mezcladora juntos con los agregados y cemento, según hoja técnica del producto. Para cada caso de las mezclas se midió el tiempo de mezclado lo cual estuvo alrededor de 2 minutos para el caso de las mezclas del segundo reajuste, para el caso de mezclas con fibras de polipropileno tomó 2 minutos y las mezclas con aditivo nanosílice el tiempo varió de 1 a 2 minutos, y para caso las mezclas con adición fibras de polipropileno y aditivo nanosílice el tiempo varió de 2 a 3 minutos de hasta verificar el mezclado total de las mismas.

b) Pasos realizados para la elaboración de los especímenes de concreto ecológico:

- 1º Se colocó los moldes en una superficie horizontal, rígida, nivelada y libre de vibraciones.

- 2º La colocación de la mezcla de concreto en el interior del molde se realizó moviendo el cucharón alrededor del molde para asegurar la distribución del concreto y realizando un reacomodo con la varilla metálica.
- 3º El llenado del molde se realizó en tres capas de igual volumen, en la última capa se agregó una cantidad de mezcla suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación.
- 4º La compactación se realizó en cada capa con 20 golpes con el martillo de Proctor estándar (5 libras), distribuyendo los golpes de forma uniforme.
- 5º Se enrasó el exceso de mezcla con la varilla de compactación y se dió un acabado de tal manera la superficie esta plana.
- 6º Sé identificó los especímenes con el número de espécimen y tipo de dosificación.
- 7º Se colocó bolsas plásticas sobre los moldes para evitar la pérdida de humedad y tratar de mantener la temperatura.
- 8º Transcurridas 24 horas después de elaborar los especímenes, estos fueron sacados de los moldes y se procedió a realizar el curado estándar.

4.2.6. Curado de especímenes.

El curado de los especímenes se realizó siguiendo los procedimientos indicados en la norma ASTM C 192 / NTP 339.183 (Elaboración y Curado de Muestras de Concreto para Ensayos de Laboratorio).

- **Procedimiento**

- a) *Protección después del acabado.* Inmediatamente después de elaborar el moldeado de los especímenes, se cubrieron estos con bolsas de plástico para evitar la evaporación y pérdida de humedad.

- b) *Curado inicial.* Después del moldeado, se cubrió a los especímenes con plástico para mantener la temperatura alrededor de estos. Transcurridas 24 horas después de elaborar los especímenes, estos fueron desmoldados y se procedió a realizar el curado estándar.
- c) *Curado estándar.* Al terminar el curado inicial y entre los 30 minutos y 1 hora después de haber sacado los especímenes de los moldes, estos se almacenaron en una poza de curado de concreto cubierto con agua, además se saturó el agua con cal viva para mantener la temperatura y pH de esta, luego se cubrió la poza con una manta plástica.

4.2.7. Variables de evaluación del estudio.

1. Asentamiento del concreto ecológico en estado fresco.
2. Densidad de masa (peso unitario) del concreto ecológico en estado fresco.
3. Densidad de masa (peso unitario) del concreto ecológico en estado endurecido.
4. Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto ecológico a la edad de 7, 14 y 28 días.
5. Resistencia a flexión en especímenes prismáticos de concreto ecológico a la edad de 7 y 28 días.
6. Desarrollo de la resistencia del concreto ecológico.
7. Módulo de elasticidad del concreto ecológico.
8. Permeabilidad del concreto ecológico

4.2.7.1. Asentamiento del concreto ecológico en estado fresco.

Este ensayo se realizó bajo lo establecido en la NTP 339.035 en correspondencia a la ASTM C 143 (Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico). Los resultados se encuentran en el capítulo V.

4.2.7.2. Peso unitario en estado fresco.

Este ensayo se realizó mediante lo establecido por la norma ASTM C1688/C1688M (Método de prueba estándar para la densidad y el contenido vacío del concreto permeable recién mezcladas). Los resultados se encuentran en el capítulo V.

4.2.7.3. Peso unitario en estado endurecido.

Los resultados se encuentran en el capítulo IX.

4.2.7.4. Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos.

Este ensayo se desarrolló acorde a la NTP 339.034 en correspondencia a la ASTM C 39 (Método de prueba estándar para resistencia a compresión de probetas de hormigón cilíndricos). Después de aplicar la carga y terminar el ensayo se procedió a registrar el tipo de falla de cada espécimen en fotografías, para luego poder clasificarla según el siguiente gráfico, en donde se indica los tipos de falla según la NTP 339.034, así mismo se registró el modo de falla, y si falló el agregado o la pasta durante el proceso.

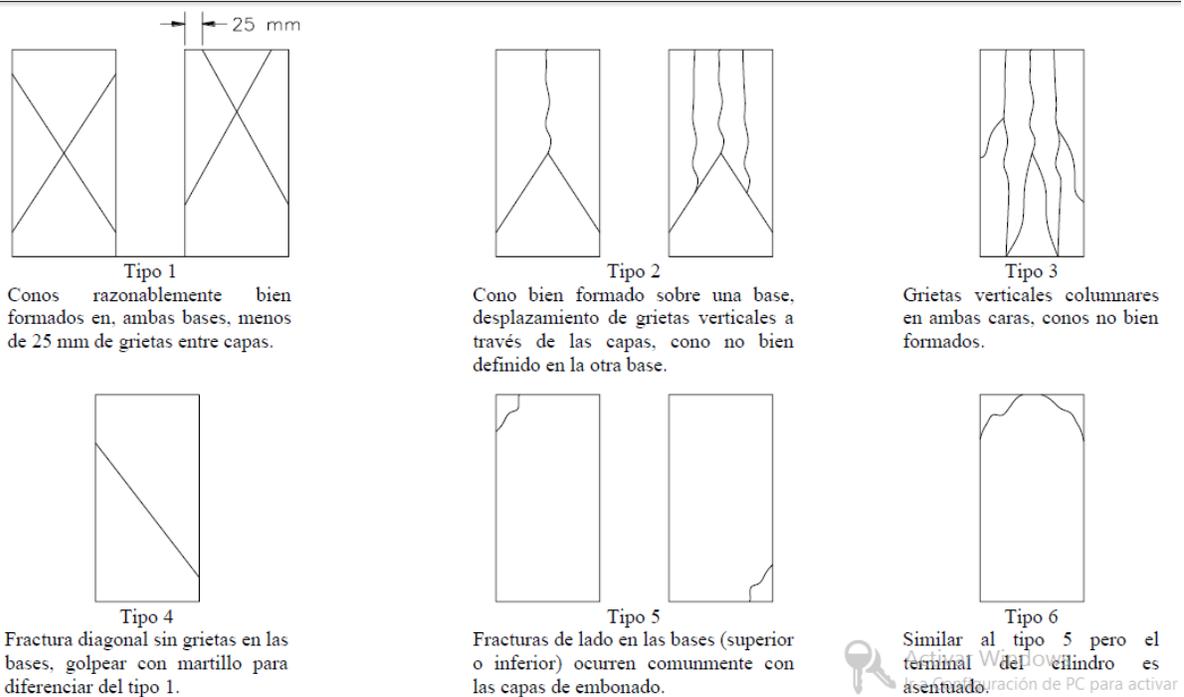


Figura 17: Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura

Fuente: NTP 339.034 – 2008

Los resultados se encuentran en el capítulo IX.

4.2.7.5. Resistencia a flexión en especímenes prismáticos.

Este ensayo se desarrolló acorde a la NTP 339.079 en correspondencia a la ASTM C 293 (Resistencia a la Flexión del Concreto, Método de la Viga Simple, Carga en el centro de la luz). Los resultados se encuentran en el capítulo IX.

4.2.7.6. Desarrollo de la resistencia del concreto.

Como se explicó anteriormente, se elaboraron un total de 144 especímenes concreto ecológico, 72 cilíndricos y 72 prismáticos. las especificaciones de los diferentes tipos de mezcla de los especímenes de concreto ecológico se desarrollaron anteriormente.

Por lo descrito anteriormente, los especímenes serán probados en grupos de 6 a los 7, 14 y 28 días para el ensayo a compresión y en grupos de 6 a los 7, 14 y 28 días para el ensayo a compresión a flexión, para cada tipo de mezcla planteada. Con los resultados de resistencia a los 7, 14 y 28 días, podemos determinar el desarrollo de resistencia que presentan cada tipo de mezcla, expresando el aumento de resistencia a la edad de 28 días en porcentaje respecto a las edades de 7 y 14 días. Los resultados obtenidos de desarrollo de resistencia del concreto y análisis de estos se presentan en el Apéndice VII y en el Capítulo V.

4.2.7.7. Módulo de elasticidad del concreto.

La Norma ASTM C 469 (Determinación del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto a compresión), describe el método que cubre la determinación del módulo de elasticidad secante de Young y la relación de Poisson en cilindros de concreto moldeados y núcleos de concreto taladrados cuando son sometidos a esfuerzos de compresión longitudinal. Este método de ensayo proporciona un valor de la relación esfuerzo a deformación y una relación de deformación lateral a la longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado que pueden ser establecidas.

La Determinación del Esfuerzo - Deformación en los especímenes ensayados a compresión a la edad de 28 días, al no contar con un Compresómetro, se determinaron con un deformímetro ubicado en la base móvil de la máquina compresora, por lo que la deformación obtenida habría sido no solo del concreto, sino también de los dos discos de neopreno utilizados para el cabeceo del espécimen, por lo que de usarse estas deformaciones para determinar el módulo de Elasticidad con la curva esfuerzo-deformación se obtuvieron resultados dispersos para las diferentes dosificaciones. Así se optó por comparar estos resultados con los calculados al utilizar la fórmula teórica que relaciona la resistencia del concreto con el módulo de elasticidad del mismo. Los resultados obtenidos de módulo de elasticidad y análisis de estos se presentan en el Apéndice VII y en el Capítulo V.

a) Según el ACI 318S:

$$E = w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c}$$

Ecuación 20. Módulo de elasticidad según el ACI 318S

Dónde:

E = Módulo de elasticidad, MPa

W_c = Densidad del concreto, kg/m³

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto, MPa

b) Según la Norma ASTM C 469:

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0.000050)}$$

Ecuación 21. Módulo de elasticidad según el ASTM C 469

Dónde:

E = Módulo de elasticidad, MPa

S_2 = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última, MPa

S_1 = Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal de ϵ_2 igual a 50 millonésimas, MPa

ϵ_2 = Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S_2

Los cálculos y resultados del módulo de elasticidad se encuentran en el Apéndice VII y en el Capítulo V.

4.2.7.8. Permeabilidad.

Se elaboraron un total de 24 especímenes cilíndricos de concreto ecológico, y los diferentes tipos de mezcla se desarrollaron anteriormente. Los especímenes serán ensayados a los 28 días.

El ensayo de permeabilidad es uno de los ensayos más importantes, porque va a permitir conocer un parámetro muy importante, el coeficiente de permeabilidad el cual caracteriza al concreto ecológico.

Para determinar la permeabilidad del concreto ecológico, existen dos métodos. Uno se encuentra descrito en la Norma ASTM C 1701 “Método Estándar para Prueba de Infiltración en el Concreto Permeable” y la otra prueba es la recomendación que se encuentra en el reporte del ACI 522R-10.

Para nuestro caso seguiremos la recomendación que se encuentra en el reporte del ACI 522R-10, en el cual se utiliza un permeámetro de carga variable, en donde se ensaya probetas de 100mm de diámetro por 150mm de altura.



Figura 18: Equipo de ensayo de permeabilidad recomendado por el ACI 522R-10

Fuente: Reporte ACI 522R-10

En cuanto al cálculo del coeficiente permeabilidad fue realizado utilizando la ley de Darcy.

$$k = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \text{Log} \frac{h_1}{h_2}$$

Ecuación 22. Coeficiente de permeabilidad según la ley de Darcy.

Dónde:

k: Coeficiente de permeabilidad.

L: Longitud de la muestra.

A: Área de la muestra.

a: Área de la tubería de carga

t: Tiempo en demora en pasar (h_1-h_2)

h_1 : Altura de agua medida del nivel de referencia (parte superior de la muestra)

h_2 : Altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia (1cm)

Los resultados de permeabilidad obtenidos se presentan en el capítulo V.

4.3. Método de la Investigación

- **Tipo.** El presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación **Experimental**, en razón, que se hace variar intencionalmente las variables independientes, a fin de explicar el comportamiento de la permeabilidad del concreto ecológico con adición de nanosílice y fibra de polipropileno para pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado.
- **Nivel.** De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio explicativo, ya que se describe relaciones causa – efecto.
- **Método.** Se emplea la metodología de investigación científica basada en el procedimiento deductivo, ya que se extrae conclusiones lógicas y válidas a partir de un conjunto dado de teorías; y también se emplea el método cuantitativo, puesto que el medio de prueba de hipótesis se basa en mediciones numéricas, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación

Población.

- La población de estudio fue el conjunto de especímenes de concreto ecológicos con fibras de polipropileno y nanosílice.

Muestra.

- La muestra fue un total de 168 especímenes: 72 especímenes cilíndricos para los ensayos a compresión (24 a 7 días, 24 a 14 días y 24 a 28 días), 72 especímenes prismáticos para los ensayos a flexión (24 a 7 días, 24 a 14 días y 24 a 28 días) y 24 especímenes cilíndricos para los ensayos de permeabilidad (24 a 28 días); para calcular el número de muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$n_0 \geq \frac{Z^2 S^2}{E^2}$$

Donde:

n_0 = Muestra

Z = Nivel de confianza al 95%

S = Valor de la Desviación estándar (Valor tomado por antecedentes).

E = Precisión (error máximo tolerable en la estimación del parámetro).

Tenemos que:

Z= 95% de confiabilidad, se tomó este valor debido a que se considera un margen de error del 5% en los equipos que se utilizarán para los tres ensayos (compresión, flexión y permeabilidad).

S= 8.6 kg/cm², este valor se ha obtenido de acuerdo con los resultados en trabajos de investigación anteriores (Diseño y Aplicación de Concreto Poroso para Pavimentos, 2014) de uno de los parámetros representativos de la presente investigación (resistencia a la flexión).

E= 4 kg/cm², se ha considerado un error tolerable de 10% del valor promedio de resistencia a la flexión = 38.5 kg/cm² que se obtuvo en estudios anteriores (Diseño y Aplicación de Concreto Poroso para Pavimentos, 2014), esto de acuerdo con el criterio del investigador, con la finalidad de que los resultados que se obtengan sean similares.

Reemplazando tenemos:

$$n_0 \geq \frac{Z^2 S^2}{E^2} = \frac{1.96^2 \times 8.6^2}{4^2} = 17.76$$

$$n_0 \cong 18$$

Por consiguiente tenemos que para la prueba a la resistencia a flexión se elaboraron 18 especímenes de concreto ecológico por dosificación, las cuales se sometieron al ensayo a los 7 días, 14 días y 28 días; dando un total de 72 especímenes por las 4 dosificaciones.

De igual modo para la prueba a la resistencia a compresión se elaboraron 18 especímenes de concreto ecológico por dosificación, las cuales se sometieron al ensayo a los 7 días, 14 días y 28 días; dando un total de 72 especímenes por las 4 dosificaciones. Finalmente para ensayos de permeabilidad solo se ensayaron a 28 días dando un total de 24 especímenes por las 4 dosificaciones.

Los datos mencionaron se ilustran en el siguiente cuadro:

ENSAYOS	EDAD DEL CONCRETO		
	7 días	14 días	28 días
Permeabilidad	-	-	24 ensayos
			6 sin adiciones 6 con fibra 6 con nanosílice 6 con fibra y nanosílice
Resistencia a la Flexión	24 ensayos	24 ensayos	24 ensayos
	6 sin adiciones 6 con fibra 6 con nanosílice 6 con fibra y nanosílice	6 sin adiciones 6 con fibra 6 con nanosílice 6 con fibra y nanosílice	6 sin adiciones 6 con fibra 6 con nanosílice 6 con fibra y nanosílice
Resistencia a la Compresión	24 ensayos	24 ensayos	24 ensayos
	6 sin adiciones 6 con fibra 6 con nanosílice 6 con fibra y nanosílice	6 sin adiciones 6 con fibra 6 con nanosílice 6 con fibra y nanosílice	6 sin adiciones 6 con fibra 6 con nanosílice 6 con fibra y nanosílice

Cuadro 4: Número de especímenes ensayados

Muestreo.

- Para la investigación se usó un muestreo probabilístico aleatorio simple, ya que cada espécimen tiene la misma probabilidad de ser seleccionado para el estudio, es decir se tomó aleatoriamente los especímenes para 7, 14 y 28 días.

La unidad de análisis.

- La unidad de análisis de esta investigación se denominó “especimen de concreto”, que es la denominación técnica correcta, sin embargo, suele llamarse comúnmente “probeta”.

Unidad de observación.

- Mediante observaciones realizadas a los equipos durante la ejecución de los ensayos muestreados.

4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Técnicas.

- 1º Recopilación de datos en laboratorio de los ensayos para el concreto ecológico.
- 2º Clasificación y proceso parcial de datos de los ensayos para el concreto ecológico.
- 3º Clasificación final de datos de los ensayos para el concreto ecológico.
- 4º Resumen de los datos recolectados de los ensayos para el concreto ecológico.

Instrumentos.

- Formatos de registros de Nivel General de Actividades
- Guía de observación
- Equipo de medición

4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Procesamiento de datos.

- La información cuantitativa que se obtuvo de las variables de estudio de las diferentes dosificaciones de concreto fue procesada mediante métodos estadísticos como la determinación de promedios. Para lo cual se emplearon programas computarizados como el Microsoft Excel 2016 con los que se obtuvo resultados de estos métodos y gráficas representativas.

Análisis de la información.

- Los datos fueron tratados en gráficos de barras, líneas. Los resultados de los ensayos realizados estuvieron sujetos a variaciones, que indicaron la uniformidad de estos y el cuidado en la realización de los ensayos. Asimismo, con estas variaciones se puede diferenciar el comportamiento de las dosificaciones de estudio mediante el análisis estadístico. Por ello se realizó los análisis estadísticos de los resultados de las siguientes variables de evaluación: (a) Asentamiento en el concreto ecológico en estado fresco, (b) Peso unitario del concreto ecológico en estado fresco, (c) Peso unitario de los especímenes cilíndricos de concreto ecológico en estado endurecido, (d) Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto ecológico a la edad de 7, 14 y 28 días, (e) Resistencia a flexión en especímenes prismáticos de concreto ecológico a la edad de 7, 14 y 28

días, (f) Módulos de elasticidad del concreto 7, 14 y 28 días, (g) Permeabilidad del concreto ecológico.

4.7. Equipos, materiales, insumos, etc.

Equipos.

- Máquina Universal
- Mezcladora 11 pies³
- Balanza electrónica de 5 kg de capacidad y precisión de 0.01

Materiales.

- Moldes de acero cilíndricos para concreto de 12" de altura y 6" de diámetro.
- Moldes de acero prismáticos para concreto de 15cm x 15cm x 50cm.
- Martillo de Proctor Estándar (5lb)
- Varilla de compactación
- Permeámetro de carga variable

Insumos.

- Cemento Portland Tipo I Pacasmayo.
- Agregados concreto reciclado provenientes de la zona de Shudal – Cajamarca.
- Fibra de polipropileno macro sintética estructural de 4.8mm de longitud y 1.22mm de ancho.
- Nanosílice

4.8. Matriz de consistencia metodológica

Optimización de la permeabilidad del concreto ecológico con adición de nanosilice y fibra de polipropileno para pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado.								
Título	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Fuente o Instrumento de recolección de datos	Metodología	Población y muestra
¿Cómo influye la adición de nanosilice y fibra de polipropileno en el concreto ecológico en la permeabilidad, utilizando agregados de concreto reciclado, para su uso en pavimentos rígidos?	Objetivo General	Hipótesis General	V. Independiente	Masa	kg	Balanza Electrónica	<p>- Tipo: Por el tipo de la investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación Experimental, en razón, que se hace variar intencionalmente las variables independientes, a fin de explicar el comportamiento de la permeabilidad del concreto ecológico con adición de nanosilice y fibra de polipropileno para pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado.</p> <p>- Nivel: De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio experimental (explicativo), ya que se describe relaciones causa – efecto.</p> <p>- Método: Se emplea la metodología de investigación científica basada en el procedimiento deductivo, ya que se extrae conclusiones lógicas y válidas a partir de un conjunto dado de teorías; y también se emplea el método cuantitativo, puesto que el medio de prueba de hipótesis se basa en mediciones numéricas, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.</p>	<p>Población:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La población de estudio fue el conjunto de especímenes de concreto ecológicos con fibras de polipropileno y nanosilice. <p>Muestra:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La muestra fue un total de 168 especímenes: 72 especímenes cilíndricos para los ensayos a compresión (24 a 7 días, 24 a 14 días y 24 a 28 días), 72 especímenes prismáticos para los ensayos a flexión (24 a 7 días, 24 a 14 días y 24 a 28 días) y 24 especímenes cilíndricos para los ensayos de permeabilidad (24 a 28 días). <p>Muestreo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para la investigación se usó un muestreo probabilístico aleatorio simple, ya que cada espécimen tiene la misma probabilidad de ser seleccionado para el estudio, es decir se tomó aleatoriamente los especímenes para 7, 14 y 28 días. <p>La unidad de análisis:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La unidad de análisis de esta investigación se denominó "especimen de concreto", que es la denominación técnica correcta, sin embargo suele llamarse comúnmente "probeta". <p>Unidad de observación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mediante observaciones realizadas a los equipos durante la ejecución de los ensayos muestreados.
	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	V. Dependiente					
	<ul style="list-style-type: none"> • Optimizar la permeabilidad del concreto ecológico con la adición de nanosilice y fibras de polipropileno para pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado. 	<ul style="list-style-type: none"> • La adición de nanosilice y fibras de polipropileno, a un concreto ecológico en pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado, optimiza la permeabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nanosilice 					
	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la resistencia a compresión de la mezcla de concreto ecológico con adición de nanosilice, fibras de polipropileno y la combinación de ambos; con el fin de obtener una óptima permeabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • La adición de nanosilice y fibras de polipropileno a un concreto ecológico en pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado, incrementa la resistencia compresión, sin afectar la permeabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fibras de polipropileno 					
<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la resistencia a flexión de la mezcla de concreto ecológico con adición de nanosilice, fibras de polipropileno y la combinación de ambos; con el fin de obtener una óptima permeabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • La adición de nanosilice y fibras de polipropileno a un concreto ecológico en pavimentos rígidos, utilizando agregados de concreto reciclado, incrementa la resistencia a flexión, sin afectar la permeabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Permeabilidad 	Infiltración	mm/s	Permeámetro de carga variable			

Cuadro 5: Matriz de consistencia metodológica

CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Presentación de resultados

5.1.1. Análisis de la consistencia de la mezcla

Tabla 19: Asentamiento del concreto según los diferentes tipos de mezclas

N° de Tanda	Etapa I: Mezcla Diseño	Etapa I: Mezcla Diseño + Fibra de Polipropileno	Etapa II: Mezcla Diseño + Aditivo Nanosílice	Etapa II: Mezcla Diseño + Aditivo Nanosílice + Fibra de Polipropileno
	I-D	I-D-FPM	II-D-AN	II-D-AN-FPM
Promedio	1.2	1.1	2.3	1.8

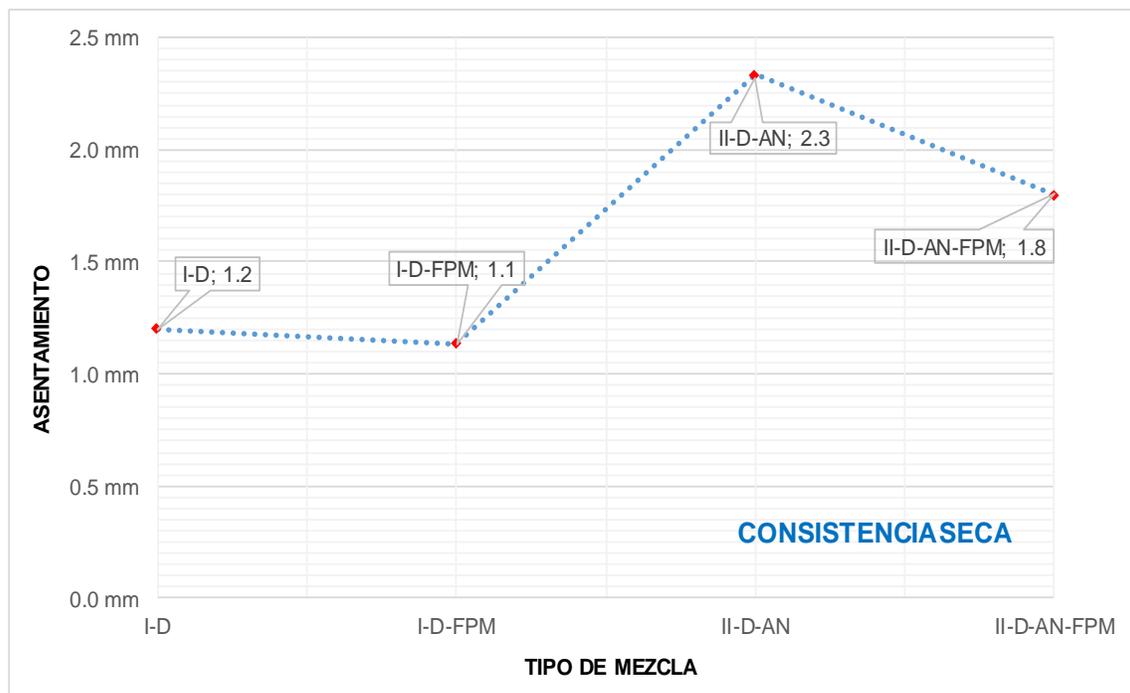


Figura 19: Asentamiento vs Tipo de mezcla

5.1.2. Análisis del peso unitario del concreto en estado fresco

Tabla 20: Peso unitario del concreto en estado fresco según los diferentes tipos de mezclas

N° de Tanda	Etapa I: Mezcla Diseño	Etapa I: Mezcla Diseño + Fibra de Polipropileno	Etapa II: Mezcla Diseño + Aditivo Nanosílice	Etapa II: Mezcla Diseño + Aditivo Nanosílice + Fibra de Polipropileno
	I-D	I-D-FPM	II-D-AN	II-D-AN-FPM
Promedio	1943.51	1934.53	1961.91	1965.65

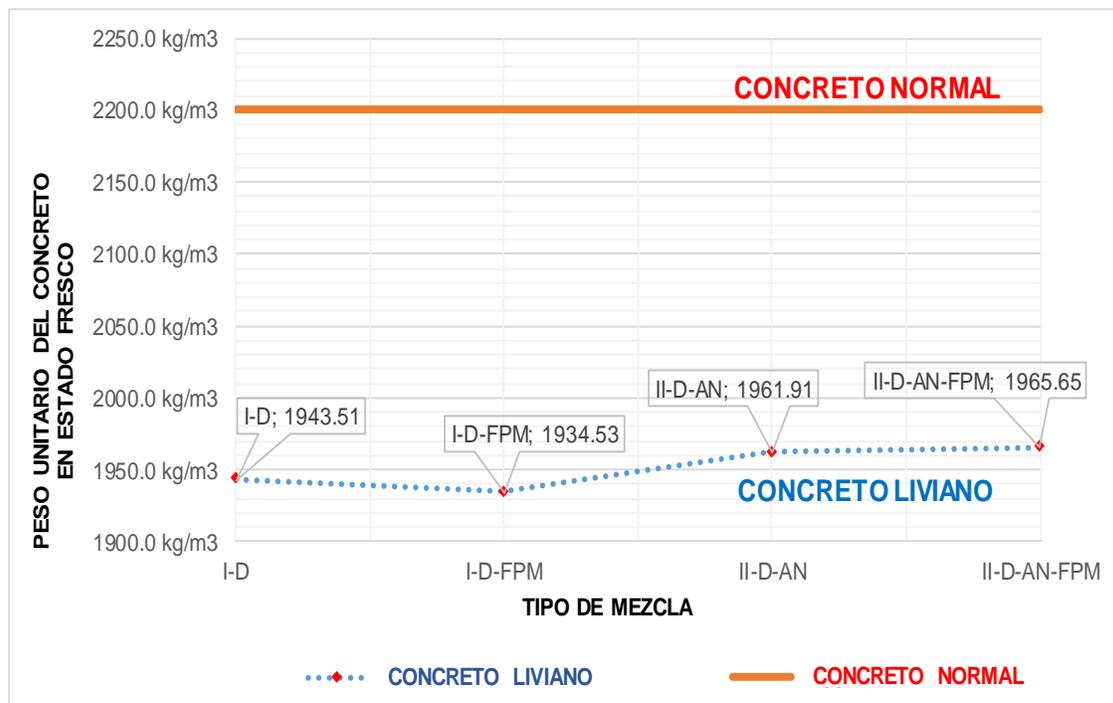


Figura 20: Peso unitario del concreto en estado fresco vs Tipo de mezcla

5.1.3. Análisis del peso unitario del concreto en estado endurecido

Tabla 21: Peso unitario del concreto en estado endurecido según los diferentes tipos de mezclas

N° de Tanda	Etapa I: Mezcla Diseño	Etapa I: Mezcla Diseño + Fibra de Polipropileno	Etapa II: Mezcla Diseño + Aditivo Nanosílice	Etapa II: Mezcla Diseño + Aditivo Nanosílice + Fibra de Polipropileno
	I-D	I-D-FPM	II-D-AN	II-D-AN-FPM
Promedio	1957.56	1941.08	1983.00	1975.16

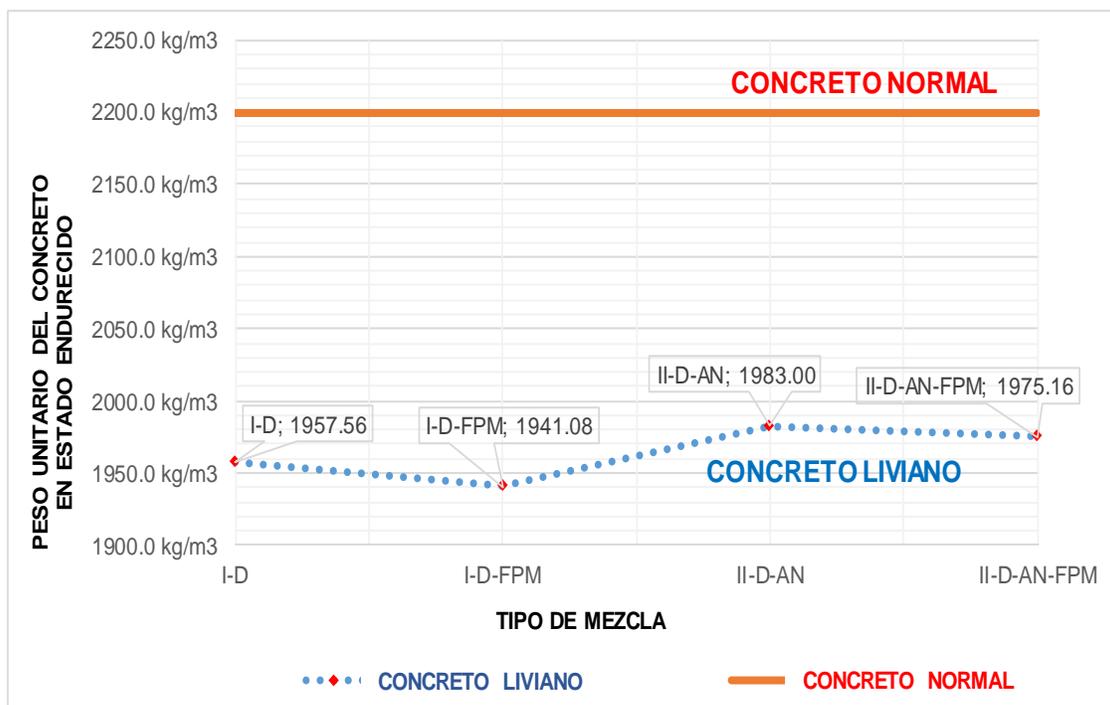


Figura 21: Peso unitario del concreto en estado endurecido vs Tipo de mezcla

5.1.4. Análisis de la resistencia promedio a compresión

Tabla 22: Promedio de ensayos a compresión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas

Tipo de mezcla	Promedio de ensayos a compresión			Variación de la resistencia a los 28 días
	EDAD DE ENSAYO			
	7 Días	14 Días	28 Días	
I-D	11.21 MPa	14.31 MPa	15.76 MPa	0.00%
I-D-FPM	12.71 MPa	15.82 MPa	17.27 MPa	9.63%
II-D-AN	14.46 MPa	18.55 MPa	20.73 MPa	31.55%
II-D-AN-FPM	14.52 MPa	18.64 MPa	20.56 MPa	30.50%

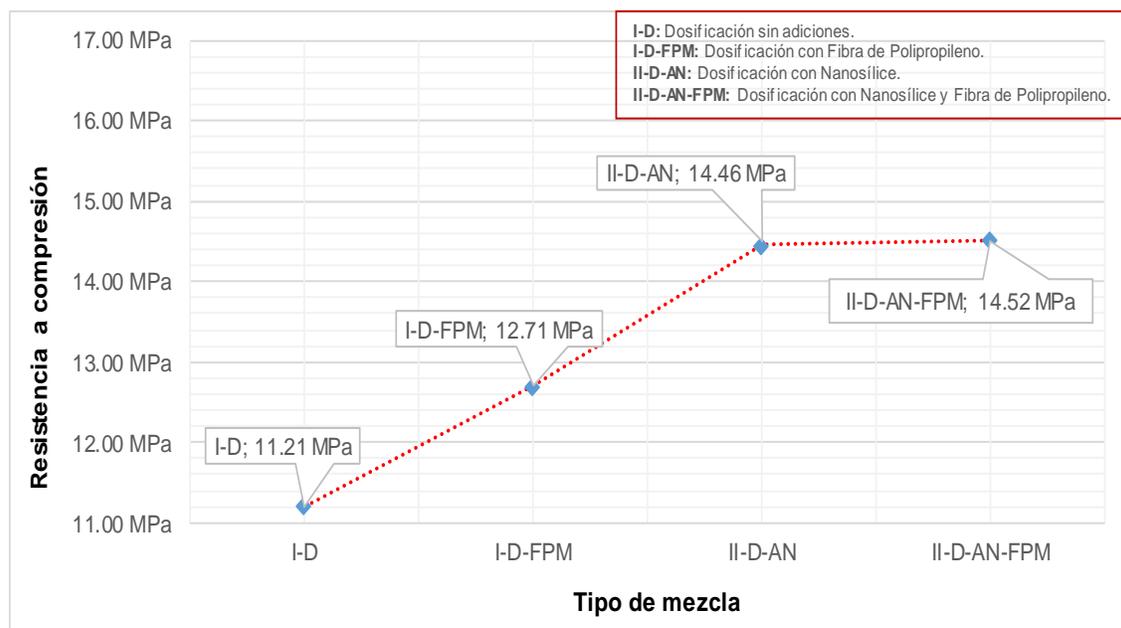


Figura 22: Promedio de ensayos a compresión a edad de 7 días y diferentes tipos de mezclas

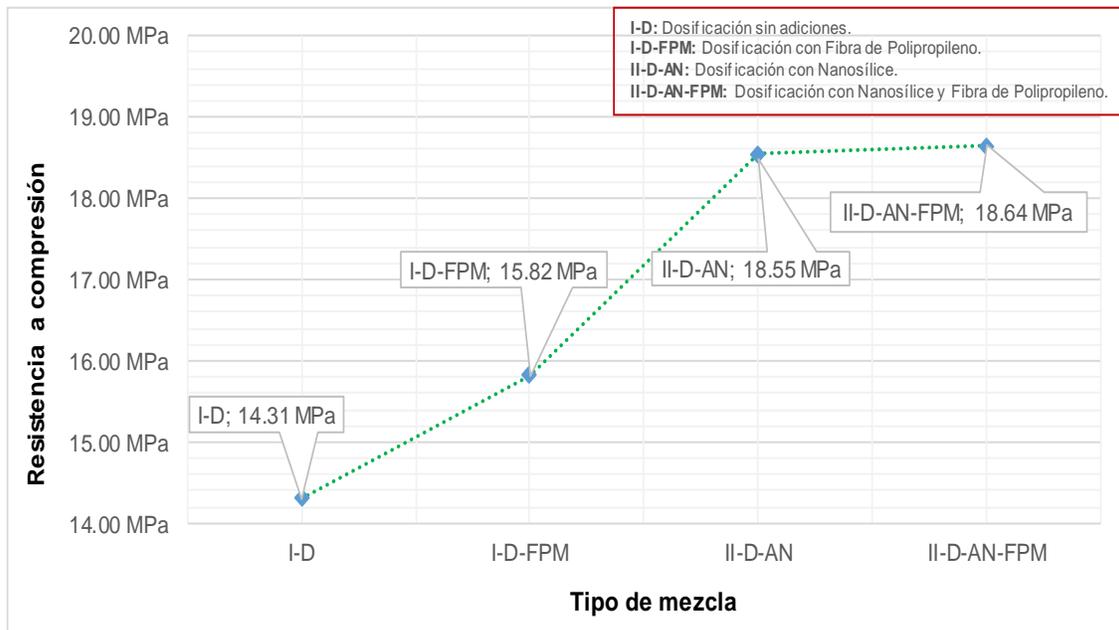


Figura 23: Promedio de ensayos a compresión a edad de 14 días y diferentes tipos de mezclas

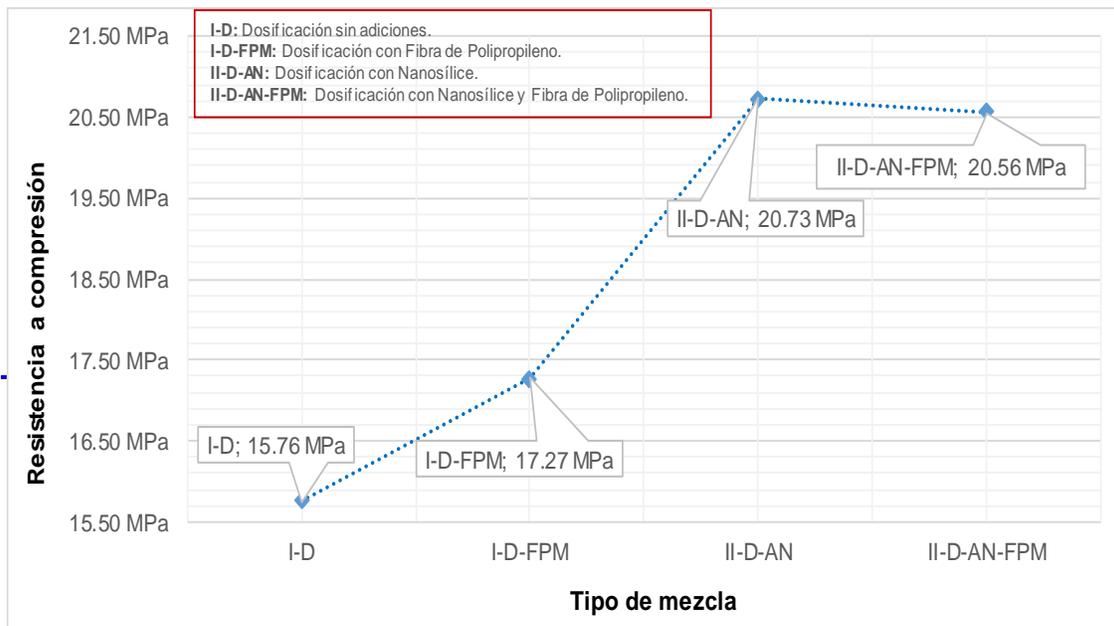


Figura 24: Promedio de ensayos a compresión a edad de 28 días y diferentes tipos de mezclas

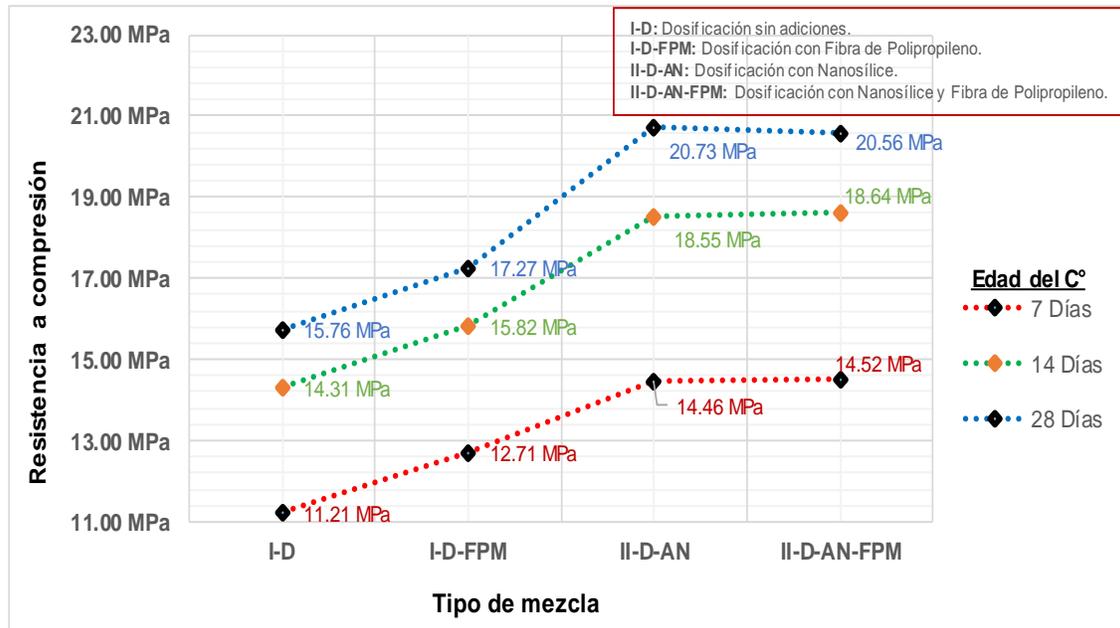


Figura 25: Consolidado de los promedios de ensayos a compresión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas

5.1.5. Análisis de la resistencia promedio a flexión

Tabla 23: Promedio de ensayos a flexión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas

Tipo de mezcla	Promedio de ensayos a flexión			Variación de la resistencia a los 28 días
	EDAD DE ENSAYO			
	7 Días	14 Días	28 Días	
I-D	3.18 MPa	3.54 MPa	3.73 MPa	0.00%
I-D-FPM	3.51 MPa	3.81 MPa	3.92 MPa	5.13%
II-D-AN	4.51 MPa	5.20 MPa	5.34 MPa	43.33%
II-D-AN-FPM	4.73 MPa	5.24 MPa	5.36 MPa	43.92%

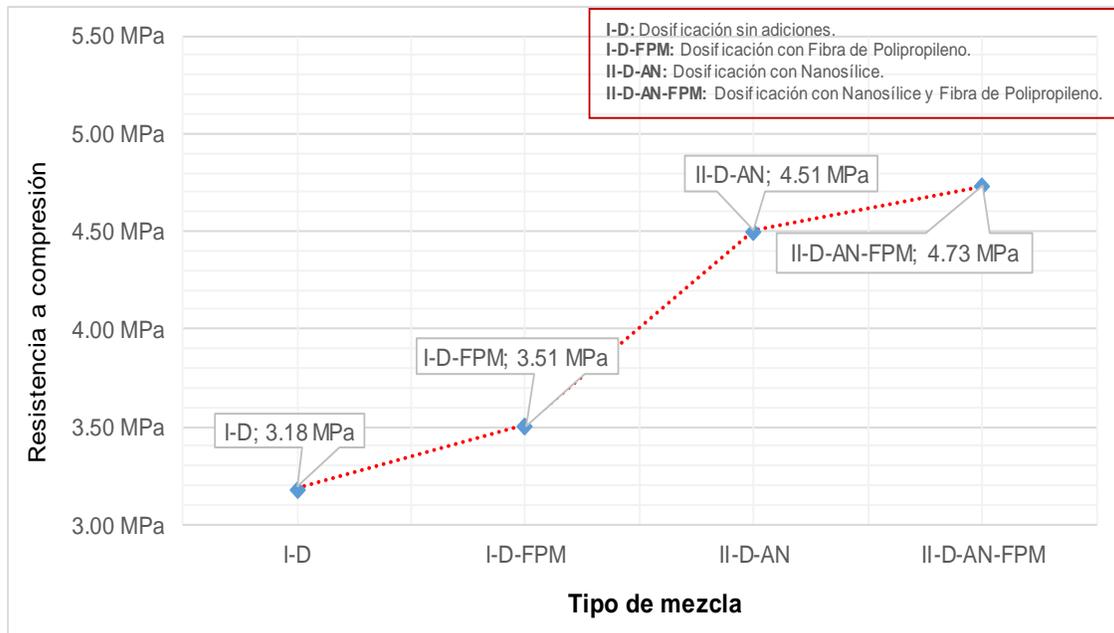


Figura 26: Promedio de ensayos a flexión, a edad de 7 días y diferentes tipos de mezclas

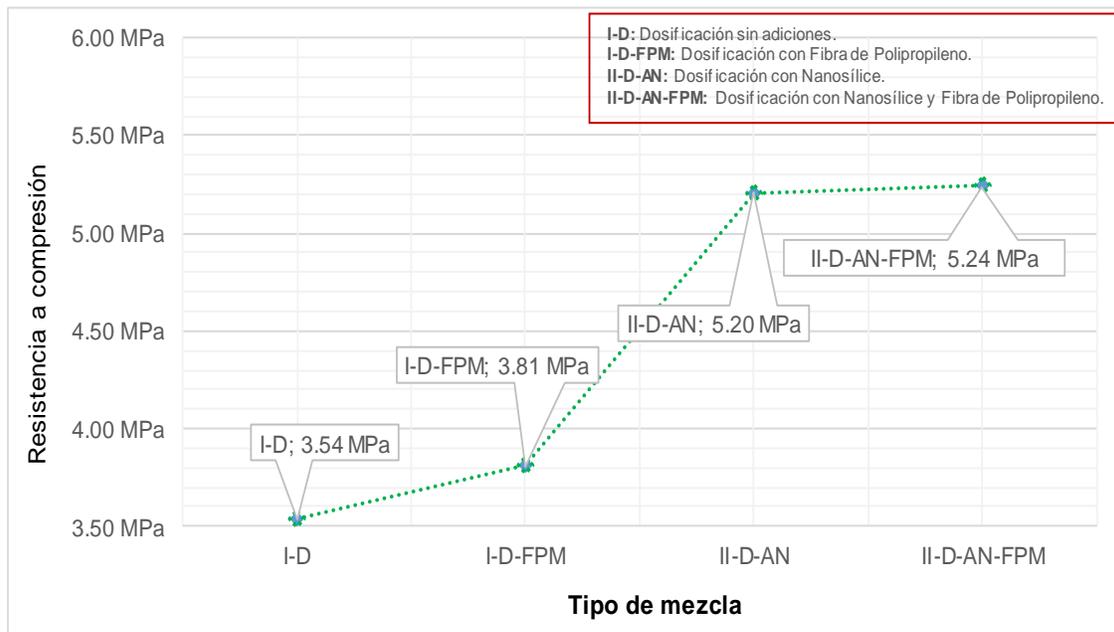


Figura 27: Promedio de ensayos a flexión, a edad de 14 días y diferentes tipos de mezclas

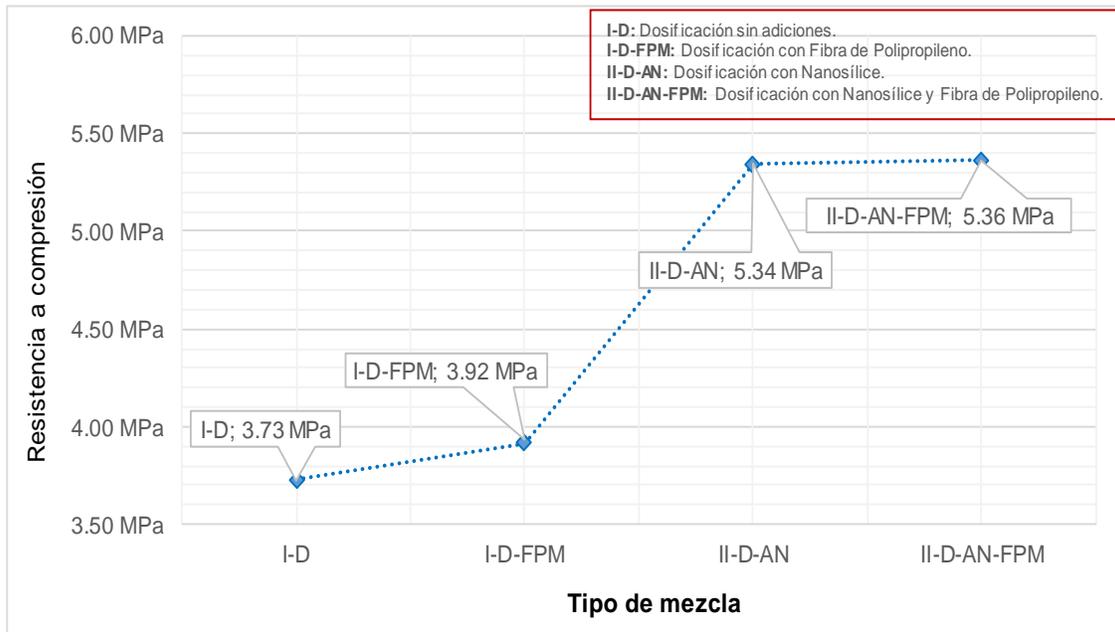


Figura 28: Promedio de ensayos a flexión, a edad de 28 días y diferentes tipos de mezclas

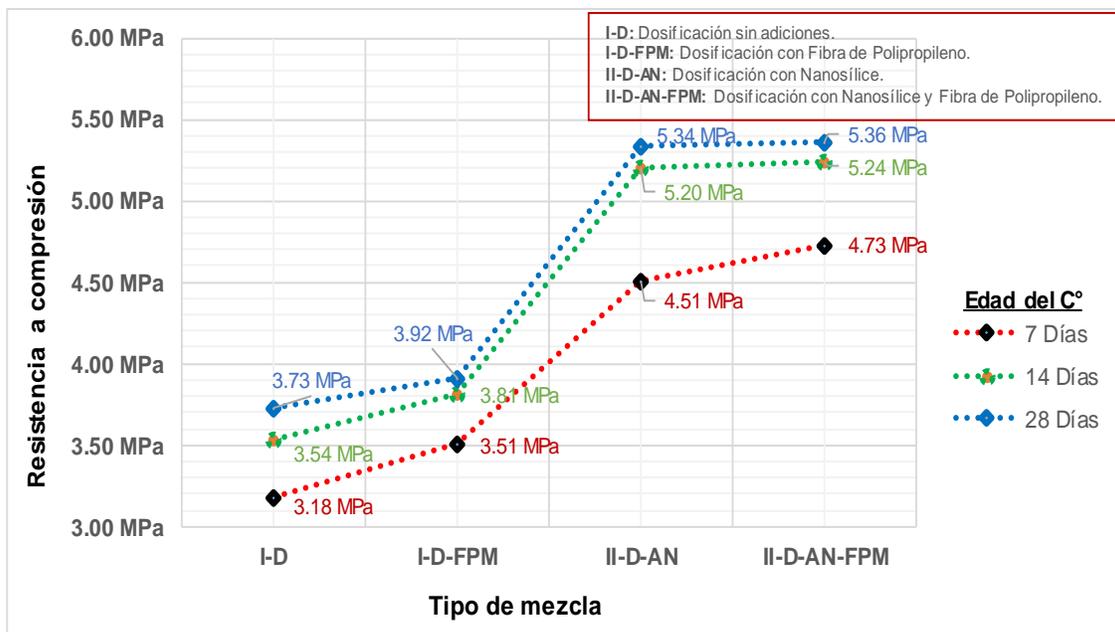


Figura 29: Consolidado de los promedios de ensayos a flexión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas

5.1.6. Análisis del ancho y longitud de fisura en especímenes a flexión

Tabla 24: Promedio de anchos de fisura en especímenes ensayados a flexión, a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas

Tipo de mezcla	EDAD DE ENSAYO			Variación a los 28 días
	7 Días	14 Días	28 Días	
I-D	2.53 mm	2.42 mm	2.27 mm	0.00%
I-D-FPM	1.76 mm	1.64 mm	1.69 mm	-25.37%
II-D-AN	2.32 mm	2.13 mm	2.22 mm	-2.21%
II-D-AN-FPM	1.88 mm	1.78 mm	1.65 mm	-27.21%

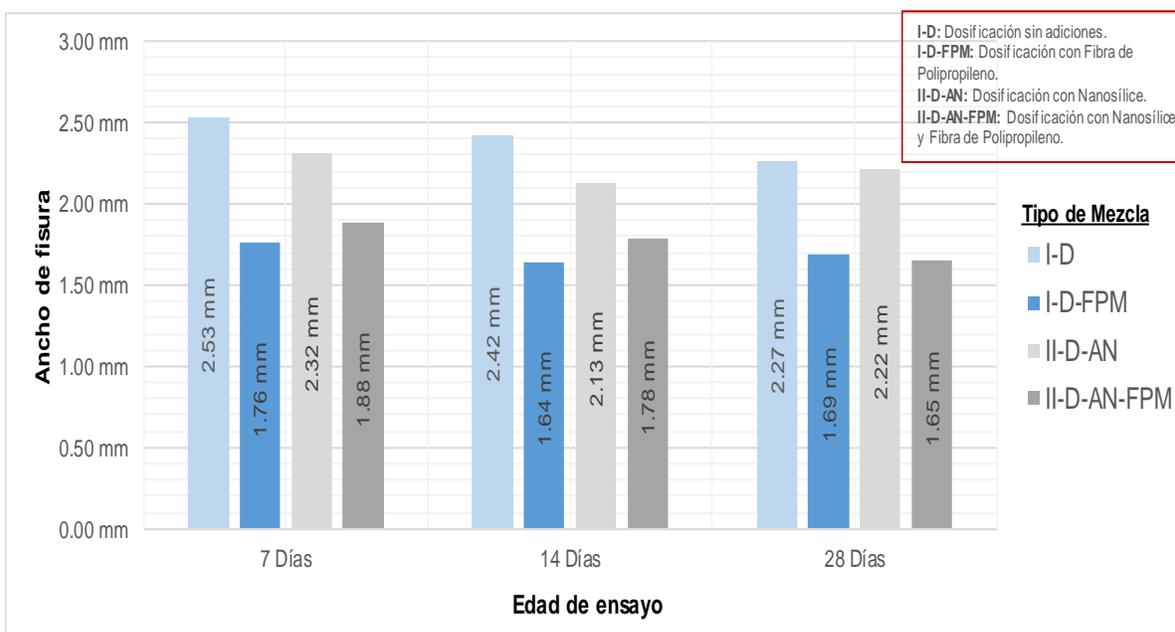


Figura 30: Promedio de anchos de fisura en especímenes ensayados a flexión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas

Tabla 25: Promedio de longitudes de fisura en especímenes ensayados a flexión, a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas

Tipo de mezcla	EDAD DE ENSAYO			Variación a los 28 días
	7 Días	14 Días	28 Días	
I-D	164.17 mm	159.00 mm	154.50 mm	0.00%
I-D-FPM	128.50 mm	108.83 mm	107.83 mm	-30.20%
II-D-AN	163.00 mm	157.17 mm	163.17 mm	5.61%
II-D-AN-FPM	134.00 mm	117.67 mm	119.00 mm	-22.98%

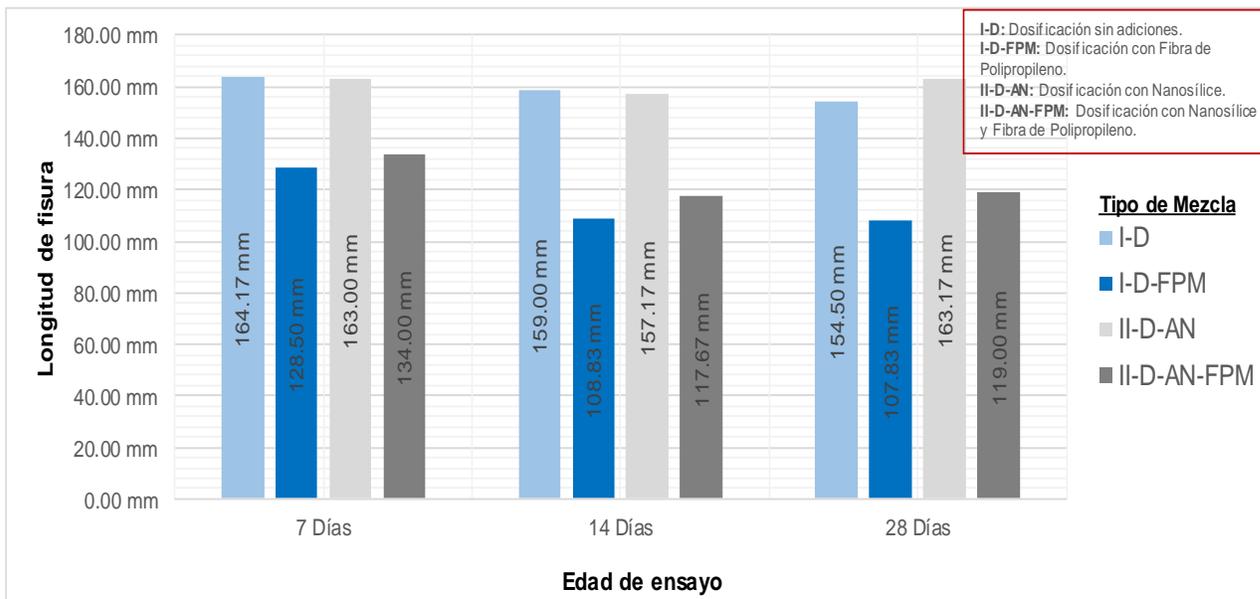


Figura 31: Promedio de longitudes de fisura en especímenes ensayados a flexión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas

5.1.7. Análisis del módulo de elasticidad

Tabla 26: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas, método ACI 318

Tipo de mezcla	EDAD DE ENSAYO			Variación a los 28 días
	7 Días	14 Días	28 Días	
I-D	12389.95 MPa	14080.85 MPa	14783.61 MPa	0.00%
I-D-FPM	13036.27 MPa	14935.70 MPa	15288.16 MPa	3.41%
II-D-AN	14249.40 MPa	16495.60 MPa	17283.80 MPa	16.91%
II-D-AN-FPM	14244.28 MPa	16434.24 MPa	17116.23 MPa	15.78%

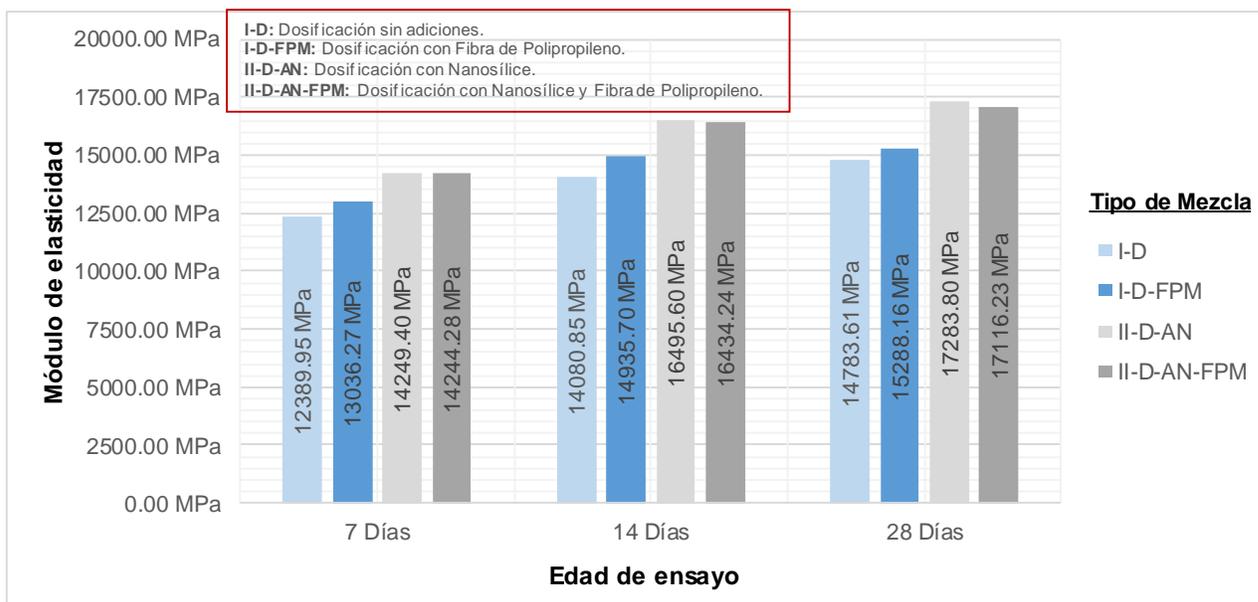


Figura 32: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas, método ACI 318

Tabla 27: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas, método ASTM C469

Tipo de mezcla	EDAD DE ENSAYO			Variación a los 28 días
	7 Días	14 Días	28 Días	
I-D	864.70 MPa	1196.30 MPa	1114.46 MPa	0.00%
I-D-FPM	623.04 MPa	765.26 MPa	704.46 MPa	-36.79%
II-D-AN	1695.92 MPa	1689.93 MPa	1484.62 MPa	33.21%
II-D-AN-FPM	930.22 MPa	952.44 MPa	810.45 MPa	-27.28%

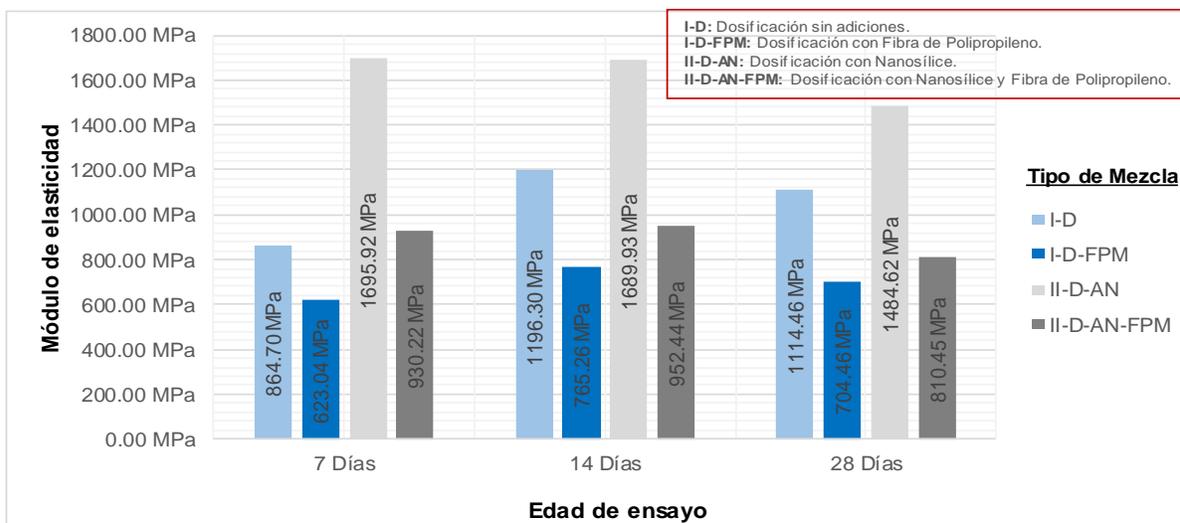


Figura 33: Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas, método ASTM C469

5.1.8. Análisis de la permeabilidad del concreto ecológico

Tabla 28: Permeabilidad del concreto ecológico para los diferentes tipos de mezcla

Codificación	Descripción	Permeabilidad (mm/s)
I-D	Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste (I-D)	26.95
I-D-FPM	Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste adicionado con fibras de polipropileno (I-D-FPM)	32.05
II-D-AN	Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste adicionado con aditivo nanosílice (II-D-AN)	16.74
II-D-AN-FPM	Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste adicionado con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno (II-D-AN-FPM)	28.86

Tabla 29: Consolidado de los promedios de la permeabilidad real y la permeabilidad estimada

Tipo de Mezcla	Promedio de Permeabilidad real (mm/s)	Permeabilidad Teórica (mm/s)
I-D	26.95	25.00
I-D-FPM	32.05	25.75
II-D-AN	16.74	93.75
II-D-AN-FPM	28.86	46.75

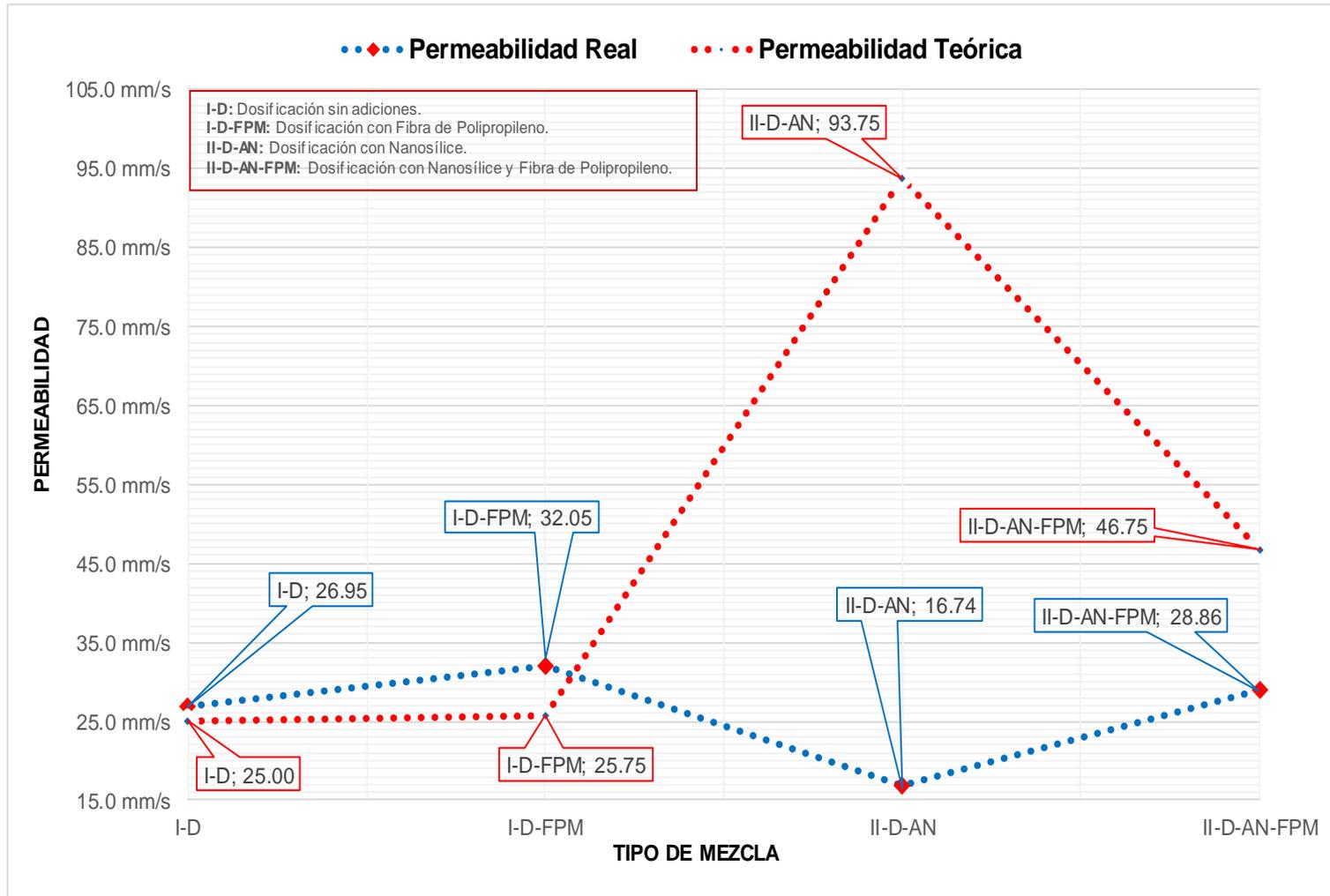


Figura 34: Consolidado de los promedios de la permeabilidad real y la permeabilidad estimada

5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados

5.2.1. Análisis de la consistencia de la mezcla

En la Tabla 19 y la Figura 19, los especímenes de los diferentes tipos de mezclas presentan diferentes asentamientos, debido a las características que presentan cada uno de los materiales como son las fibras de polipropileno y el aditivo nanosílice, para ligar al concreto en estado fresco. Se obtuvo que el concreto de diseño (I-D) presentó un asentamiento de 1.2mm, el concreto de diseño con fibras de polipropileno (I-D-FPM) presentó un asentamiento de 1.1mm, el concreto de diseño con aditivo nanosílice (II-D-AN) presentó un asentamiento de 2.3mm y el concreto de diseño con aditivo y fibras de polipropileno presentó un asentamiento de 1.8mm.

Por lo tanto la adición de fibra no influye mucho en la consistencia de la mezcla, a diferencia de la aplicación de nanosílice, que influye notoriamente en la consistencia dándole un poco de plasticidad; cabe mencionar que los resultados de los asentamientos son de consistencia seca y que además son menor a 2mm cuyas características son de los concretos permeables utilizados para pavimentos.

5.2.2. Análisis del peso unitario del concreto en estado fresco

En la Tabla 20 se presentan los valores promedios del peso unitario del concreto en estado fresco, para los diversos tipos de mezclas realizados, así tenemos para la mezcla de diseño reajustado se alcanzó un peso unitario de 1943.51 kg/m³, la mezcla de diseño reajustado con fibras de polipropileno se alcanzó un peso unitario de 1934.53 kg/m³, la mezcla de diseño reajustado con aditivo nanosílice alcanzó un peso unitario de 1961.91 kg/m³ y la mezcla de diseño reajustado con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno alcanzó un peso unitario de 1965.65 kg/m³, que están dentro del rango de los concreto livianos (<2200 kg/m³).

En la Figura 20 se indica que la adición de fibra de polipropileno y del aditivo nanosílice no influye significativamente en el peso unitario del concreto en estado fresco, ya que todos los promedios se encuentran dentro del rango teóricamente establecido para concretos livianos ($< 2200\text{kg/m}^3$).

5.2.3. Análisis del peso unitario del concreto en estado endurecido

En la Tabla 21 manifiesta que el promedio del peso unitario del concreto en estado endurecido con los diferentes tipos de mezclas realizada, obtenido a partir de la determinación del peso y medidas de los especímenes ensayados, el peso unitario promedio del concreto en estado endurecido fue de 1957.56 kg/m^3 , 1941.08 kg/m^3 , 1983.00 kg/m^3 , 1975.16 kg/m^3 respectivamente, las cuales se encuentran dentro de los pesos unitarios de concretos livianos ($< 2200\text{kg/m}^3$).

En la Figura 21 presenta que la adición de fibra de polipropileno y del aditivo nanosílice no influye significativamente en el peso unitario del concreto en estado endurecido, ya que todos los promedios se encuentran dentro del rango teóricamente establecido para concretos livianos ($< 2200\text{kg/m}^3$).

5.2.4. Análisis de la resistencia promedio a compresión

En la Tabla 22 se observa que la resistencia a compresión del concreto ecológico según la edad de ensayo va incrementándose independientemente de la adición del aditivo nanosílice y la fibra de polipropileno, también se verifica que la resistencia a compresión del concreto con adición del aditivo nanosílice y la fibra de polipropileno muestra un incremento significativo de 30.50% en relación a los especímenes base (sin adición).

En la Figura 22 se desarrolla la resistencia a compresión del concreto a 7 días de ensayo y diferentes tipos de mezclas, en este gráfico se puede observar que ante la adición de fibra de polipropileno y aditivo nanosílice independientemente, los especímenes de concreto ecológico aumentaron su resistencia a la compresión, se verifica también un aumento que tiene la resistencia a compresión del concreto con una adición fibra de polipropileno y aditivo nanosílice en forma conjunta.

En la Figura 23 se desarrolla la resistencia a compresión del concreto a 14 días de ensayo y diferentes tipos de mezcla, en este gráfico se puede observar que ante la adición de fibra de polipropileno y aditivo nanosílice independientemente, los especímenes de concreto ecológico aumentaron su resistencia a la compresión, se verifica también un aumento que tiene la resistencia a compresión del concreto ecológico con una adición fibra de polipropileno y aditivos nanosílice en forma conjunta.

En la Figura 24 se expone la resistencia a compresión del concreto a 28 días de ensayo y diferentes tipos de mezcla, en este gráfico se puede observar que ante la adición de fibra de polipropileno y aditivo nanosílice independientemente, los especímenes de concreto ecológico aumentaron su resistencia a la compresión, se verifica también un aumento que tiene la resistencia a compresión del concreto ecológico con una adición fibra de polipropileno y aditivo nanosílice en forma conjunta.

En el Figura 25 se explica el consolidado de los promedios de la resistencia a compresión del concreto ecológico a diferentes edades de ensayo y diferentes tipos de mezcla, de acá se concluye que la adición de la fibra de polipropileno aumenta la resistencia a compresión en forma moderada; a diferencia de la adición de nanosílice, la cual aumenta significativamente la resistencia a comparación de la mezcla con fibra, esto debido a las propiedades que presenta. Mencionar que la adición de fibra de polipropileno al concreto, le proporciona a este un comportamiento dúctil, con gran tenacidad (poder de absorber energía); mientras que la adición de nanosílice al concreto, le proporciona a este un comportamiento frágil, por el incremento de la dureza del concreto.

5.2.5. Análisis de la resistencia promedio a flexión

En la Tabla 23 se observa que la resistencia a flexión del concreto según la edad de ensayo va incrementándose independientemente de la adición del aditivo nanosílice y la fibra de polipropileno, también se verifica que la resistencia a flexión del concreto a los 28 día con la adicción de la fibra de polipropileno muestra un incremento de 5.13%, con la adicción del aditivo nanosílice muestra un incremento de 43.33%, y presentando un mayor incremento con una adición del aditivo nanosílice y la fibra de polipropileno en forma conjunta llegando a un incremento del 43.92% en función de los especímenes base.

En la Figura 26 se desarrolla la resistencia a flexión del concreto a 7 días de ensayo y diferentes tipos de mezcla, en este gráfico se puede observar que ante la adición del aditivo nanosílice y la fibra de polipropileno en forma conjunta, los especímenes de concreto permeable aumentaron su resistencia a la flexión, alcanzando la máxima resistencia.

En la Figura 27 se explica la resistencia a flexión del concreto a 14 días de ensayo y tipos de mezcla, en este gráfico se puede observar que ante la adición del aditivo nanosílice y la fibra de polipropileno en forma conjunta, los especímenes de concreto permeable aumentaron su resistencia a la flexión, alcanzando la máxima resistencia.

En la Figura 28 se expone la resistencia a flexión del concreto a 28 días de ensayo y tipos de mezcla, en este gráfico se puede observar que ante la adición del aditivo nanosílice y la fibra de polipropileno en forma conjunta, los especímenes de concreto permeable aumentaron su resistencia a la flexión, alcanzando la máxima resistencia.

En la Figura 29 se desarrolla el consolidado de los promedios de ensayos a flexión, a diferentes edades y diferentes tipos de mezcla, de acá se concluye que la adición de la fibra de polipropileno aumenta la resistencia a flexión en forma moderada; a diferencia de la adición de nanosílice, la cual aumenta significativamente la resistencia a comparación de la mezcla con fibra, esto debido a las propiedades que presenta. Mencionar que la adición de fibra de polipropileno al concreto, le proporciona a este un comportamiento dúctil, con gran tenacidad (poder de absorber energía); mientras que la adición de nanosílice al concreto, le proporciona a este un comportamiento frágil, por el incremento de la dureza del concreto.

5.2.6. Análisis del ancho y longitud de fisura en especímenes a flexión

La Tabla 24 y la Figura 30 muestran la variación de los anchos de fisura originados en los ensayos de flexión del concreto ecológico a diferentes edades y diferentes tipos de mezcla, aquí se ve que a los 28 días el ancho de fisura disminuye en un 25.37% con una adición de la fibra de polipropileno, en 2.21% con la adición del aditivo nanosílice y en un 27.21% con la adición de ambos componentes como es el aditivo nanosílice y la fibra de polipropileno.

La Tabla 25 y la Figura 31 presentan la variación de las longitudes de fisura originados en los ensayos de flexión del concreto a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas, aquí se ve que a los 28 días la longitud de fisura disminuye en un 30.20% con la adición de las fibras de polipropileno, en 22.98% con la adición de ambos componentes como es el aditivo nanosílice y la fibra de polipropileno; y ocurre un aumento de 5.61% con una adición del aditivo nanosílice.

5.2.7. Análisis del módulo de elasticidad

En la Tabla 26 y en la Figura 32 se puede apreciar la variación del módulo de elasticidad del concreto ecológico a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas obtenido mediante lo descrito por el reglamento ACI 318, se observa que para las diferentes edades el módulo de elasticidad crece proporcionalmente a la edad de ensayo en cada tipo de mezcla, teniendo así la variación máxima de 15.78% para la mezcla de diseño reajustado con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno.

En la Tabla 27 y en la Figura 33 se puede observar la variación del módulo de elasticidad del concreto a diferentes edades y los diferentes tipos de mezclas obtenido mediante lo descrito por la ASTM C 469, se observa que para las diferentes edades el módulo de elasticidad es variado no presentando una tendencia, además mediante este método se obtienen módulos de elasticidad del orden del 7.54% aproximadamente en relación a los obtenidos por el método descrito en el reglamento ACI 318. Esto se debe a que los resultados de deformaciones obtenidos en laboratorio, esto es debido al tipo de concreto (liviano), por lo que estos dan deformaciones excesivas que influyen en las gráficas de las curvas de esfuerzo vs deformación, de las cuales se obtienen los parámetros para determinar el módulo de elasticidad.

Sin embargo se puede percatar en la Tabla 27 y en la Figura 33, que la mezcla con aditivo nanosílice presenta un alto módulo de elasticidad a comparación de las demás dosificaciones, debido a que este concreto puede recibir grandes esfuerzos con pocas deformaciones.

5.2.8. Análisis de la permeabilidad del concreto ecológico

En la Tabla 28 se aprecia el promedio de permeabilidad para la mezcla de diseño inicial – segundo reajuste que es de 26.95 mm/s, cuyo resultado está levemente por encima de la permeabilidad estimada que es de 25.00 mm/s. Ambos resultados cumplen con la permeabilidad para concretos permeables que es de 20 mm/s.

En la Tabla 28 se muestra el promedio de permeabilidad para la mezcla de diseño inicial – segundo reajuste con fibras de polipropileno que es de 32.05 mm/s, cuyo resultado está moderadamente por encima de la permeabilidad estimada que es de 25.75 mm/s. Ambos resultados cumplen con la permeabilidad para concretos permeables que es de 20 mm/s.

En la Tabla 28 se presenta el promedio de permeabilidad para la mezcla de diseño inicial – segundo reajuste con aditivo nanosílice que es de 16.74 mm/s, cuyo resultado es mucho menor que la permeabilidad estimada que es de 93.75 mm/s; esto debido a que la adición de nanosílice le da una mayor plasticidad al concreto en estado fresco, lo que conlleva la reducción de vacíos por el mayor acomodo del agregado al momento de la compactación. Teóricamente solo la permeabilidad estimada cumplen con los requisitos para concretos permeables que es de 20 mm/s; no obstante cabe resaltar que la permeabilidad de 16.74 mm/s del concreto con nanosílice también logra una aceptable permeabilidad.

En la Tabla 28 se indica el promedio de permeabilidad para la mezcla de diseño inicial – segundo reajuste con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno que es de 28.86 mm/s, cuyo resultado es menor que la permeabilidad estimada que es de 46.75 mm/s. No obstante ambos resultados cumplen con la permeabilidad para concretos permeables que es de 20 mm/s. De la Tabla 28 también podemos verificar que con la adición de fibras de polipropileno a la mezcla con nanosílice, esta fibra le proporciona un incremento de su permeabilidad.

En la Tabla 29 y la Figura 34 se desarrolla el consolidado de los resultados de la permeabilidad real y la permeabilidad estimada, de donde se observa que la permeabilidad real varía entre 16.74 – 32.05 mm/s, mientras que la permeabilidad estimada se tiene un máximo de 93.75 mm/s para el tipo de mezcla II-D-AN. Además cabe mencionar que en todos los casos las permeabilidades son mayores que la permeabilidad mínima de 20 mm/s, excepto el tipo de mezcla II-D-AN que su permeabilidad real es de 16.74 mm/s ya que por el uso del aditivo nanosílice ha causado reducción de vacíos.

5.3. Contratación de hipótesis

- La permeabilidad de la mezcla de concreto ecológico sin adiciones de tipo I-D es 26.95 mm/s, la cual aumentó con la adición de fibras de polipropileno y nanosílice tipo II-D-AN-FPM en un 6.61% (28.86 mm/s).
- La resistencia a la flexión de la mezcla de concreto ecológico a los 28 días con fibras de polipropileno tipo I-D-FA es de 3.92 MPa (39.93 kg/cm²), la cual es superior a la mezcla de concreto sin adiciones tipo I-D cuya resistencia es de 3.73 MPa (37.98 kg/cm²), de igual modo la mezcla de concreto con aditivo nanosílice tipo II-D-AN de resistencia de 5.34 MPa (54.44 kg/cm²) es mayor a la mezcla de concreto sin adiciones tipo I-D.

La mezcla de concreto ecológico sin adiciones tipo I-D de resistencia a flexión a los 28 días de 3.73 MPa (37.98 kg/cm²), aumentó en un 43.92% con la adición de fibras de polipropileno y nanosílice tipo II-D-AN-FPM cuya resistencia a flexión a los 28 días es 5.36 MPa (54.66 kg/cm²).

- La resistencia a compresión de la mezcla de concreto ecológico a los 28 días con fibras de polipropileno tipo I-D-FA es de 17.27 MPa (176.07 kg/cm²), la cual es superior a la mezcla de concreto sin adiciones tipo I-D cuya resistencia es de 15.76 MPa (160.60 kg/cm²), de igual modo la mezcla de concreto con aditivo nanosílice tipo II-D-AN de resistencia mecánica a la compresión de 20.73 MPa (211.27 kg/cm²) es mayor a la mezcla de concreto sin adiciones tipo I-D.

La mezcla de concreto ecológico sin adiciones tipo I-D de resistencia a compresión a los 28 días de 15.76 MPa (160.60 kg/cm²), aumentó en un 30.50% con la adición de fibras de polipropileno y nanosílice tipo II-D-AN-FPM cuya resistencia a compresión a los 28 días es 20.56 MPa (209.59 kg/cm²).

CONCLUSIONES

- La adición de fibras de polipropileno (Sika[®] Fiber Force PP 48) y nanosílice (GAIA Nanosílice - Ulmen) a una mezcla de concreto ecológico, optimiza notablemente su permeabilidad; sin embargo una mayor dosificación de adición de nanosílice, provocó una permeabilidad baja, debido a la propiedad de superplastificante que posee esta, la cual le proporcionó una mayor fluidez a la mezcla, la cual selló los poros del concreto.
- La adición de fibras de polipropileno (Sika[®] Fiber Force PP 48) a una mezcla de concreto ecológico, aumenta la resistencia a la flexión de este, debido a la propiedad que tiene la fibra, al anclarse con el agregado y la pasta; de igual modo le proporciona ductilidad y tenacidad al concreto al momento de resistir altas cargas antes de su rotura final, la cual generó grandes deformaciones.
- La adición de nanosílice (GAIA Nanosílice - Ulmen) a una mezcla de concreto ecológico, aumenta considerablemente la resistencia a la compresión de este, debido a la propiedad que tiene la nanosílice, de incrementar sus resistencias mecánicas a tempranas edades; de la misma manera le proporciona un comportamiento frágil al concreto al momento de resistir altas cargas antes de su rotura final, la cual generó bajas deformaciones.
- El uso de agregado de concreto reciclado para un concreto ecológico, trabaja de manera óptima, siempre y cuando se le agreguen adiciones como las fibras de polipropileno (Sika[®] Fiber Force PP 48) y la nanosílice (GAIA Nanosílice - Ulmen); ya que por tratarse de su obtención de un concreto reciclado, sus propiedades mecánicas tienden a ser bajas.
- La adición de fibras de polipropileno (Sika[®] Fiber Force PP 48) conjuntamente con la nanosílice (GAIA Nanosílice - Ulmen) a una mezcla de concreto ecológico, le proporciona una buena trabajabilidad, conllevando un buen encofrado y desencofrado.
- La adición de fibras de polipropileno y nanosílice en un concreto ecológico optimiza sus propiedades mecánicas e hidráulicas.

RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS

- Realizar estudios de durabilidad del concreto ecológico con aditivo nanosílice y fibras de polipropileno.
- Estudiar las patologías funcionales y estructurales de estos pavimentos rígidos de concreto ecológicos en obra y dar soluciones para las técnicas de mantenimiento, reparación y rehabilitación.
- Realizar estudios de colmatación y descolmatación presentes principalmente en estos pavimentos a largo plazo debido a los aportes de sedimentos, para determinar períodos de mantenimiento.
- Realizar estudios de sistemas de subdrenaje para la evacuación del agua infiltrada en un pavimento ecológico para su aprovechamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 360 en concreto. (19 de Noviembre de 2013). *Agregados reciclados: ¿qué y para qué?*
Obtenido de <http://mniapscpp01.azurewebsites.net/comunidad360/blog/detalle/sostenibilidad/agregados-reciclados-que-y-para-que>
- ACI 211.3R-02. (2002). *Guía para la Selección de Proporciones para Hormigón No-Slump*. Michigan: American Concrete Institute.
- ACI 522R-10. (2010). *Report on Pervious Concrete*. Michigan: American Concrete Institute.
- Adfil. (20 de Noviembre de 2017). *Fibras macro sintéticas*. Obtenido de Fibras macro sintéticas: Durus: <https://www.adfil.com/es/productos/fibras-macro-sint%C3%A9ticas/>
- Adra. (2017). *Fibras para Concreto*. Obtenido de <http://www.adra.com.mx/assets/downloads/422ad-fibras---adra-productos.pdf>
- Ahmad, S. H., & Shah, S. P. (1985). *Propiedades estructurales del hormigón de alta resistencia y sus implicaciones para hormigón pretensado prefabricado* (Vol. 30). Estados Unidos.
- Aquino, R. (2015). Diseño y aplicación de concreto ecológico con fibras de polipropileno para pavimentos rígidos. *Tesis profesional*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Arango, S. (4 de Mayo de 2014). *Concreto Permeable: Desarrollo urbano de bajo impacto*. Obtenido de 360 en Concreto: <http://www.360enconcreto.com/blog/detalle/sostenibilidad/concreto-permeable-desarrollo-urbano-de-bajo-impacto>
- Azañedo, W., Chávez, H., & Muñoz, R. (2007). Diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera La Victoria, Cemento portland tipo I con adición de fibras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos en la ciudad de Cajamarca. *Tesis profesional*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/30421057/RESUMEN-TESIS-CONCRETO-PERMEABLE>
- Backstrom, M. (2000). *Temperatura del suelo en el pavimento poroso durante la congelación y la descongelación*. Lulea, Suecia.

- Barahona, R. A., Martínez, M. V., & Zelaya, S. E. (2013). Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras, El Carmen, Aramuaca, La Pedrera, de la zona oriental de El Salvador. *Tesis profesional*. Universidad El Salvador, San Miguel, El Salvador. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/6259/1/50107992.pdf>
- Brite/Euram Report. (1994). *Propiedades de superficie de carreteras de hormigón de acuerdo con la seguridad del tráfico y la reducción del ruido*. Gouda.
- Cabello, S., Campuzano, L., Espinoza, J., & Sánchez, C. (2015). Concreto poroso: Constitución, Variables influyentes y Protocolos para su caracterización. *Cumbres*, 64-69.
- Calderón, Y. V., & Charca, J. A. (2011). Investigación de los pavimentos permeables de concreto poroso. *Ponencia de investigación*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/221334073/Ponencia-Investigacion-de-Pavimento-Permeable-de-Concreto-Poroso-1>
- CarbonInspired. (17 de octubre de 2013). *La Nanosílica permite mejorar el cemento*. Obtenido de <http://carboninspired2.com/blog/?p=584>
- Cemex. (2010). *Concreto Ecológico*. Obtenido de http://www.cemexpuertorico.com/co/co_pr_ce.html
- Chapoñán, J. M., & Quispe, J. (2017). Análisis del comportamiento en las propiedades del concreto hidráulico para el diseño de pavimentos rígidos adicionando fibras de polipropileno. *Tesis Profesional*. Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote.
- CIRIA. (2007). *The SuDS Manual*. Londres, Inglaterra.
- Comité ACI 544. 1R-96. (2002). *Informe del Estado del Arte en hormigón reforzado con fibras*. Michigan: American Concrete Institute.
- Crouch, L. (2006). *Medición del contenido ineficaz de aire efectivo de los pavimentos permeables de cemento Portland*. Estados Unidos: Cemento, concreto y agregados.
- Debo, T. N., & Reese, A. J. (2002). *Municipal storm water management, second edition*. New York, Estados Unidos: Amazon Digital Services LLC. Obtenido de <http://myebox.org/wp-content/uploads/burmese/architect/Municipal%20Stormwater%20Management/ebook.pdf>

- Dificonsa. (11 de Diciembre de 2017). *¿Qué son las Macro Fibras Estructurales para concreto?* Obtenido de <http://www.dificonsa.com/macro-fibras-estructurales-para-concreto/>
- Duarte, D. (2013). *Efecto de la adición de nanosílice en cementos y concretos*. Miranda, Venezuela: Universidad Simón Bolívar.
- Especificar. (2017). *Especificar*. Obtenido de La plataforma de apoyo online a la especificación técnica: <http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/PERMEABILIDAD YHERMETICIDAD%5B1%5D.pdf>
- Flores, J. R. (2010). Características del concreto permeable usando el módulo de ruptura y el porcentaje de desgaste. *Tesis Profesional*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México.
- Gestiopolis. (30 de Junio de 2015). *Gestiopolis*. Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/definicion-de-optimizacion-de-recursos-recopilacion/>
- GEXIQ. (06 de Setiembre de 2011). *Resistencia del concreto*. Obtenido de <http://gexiq.com/resistencia-del-concreto-3/>
- Gonzales, L. (2010). Generalidades sobre las fibras artificiales. *Módulo de lectura para la asignatura Análisis de Estructuras*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Hernández, B., & Martínez, O. (2014). Diseño de un campo de prueba piloto de pavimentos permeables en la ciudad de Cartagena. *Tesis profesional*. Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia. Obtenido de <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/1116/1/Dise%C3%B1o%20de%20un%20campo%20de%20prueba%20piloto%20de%20pavimentos%20permeables%20en%20la%20ciudad%20de%20Cartagena%20%5BBrian%20Hernandez%20-%20Omar%20Mart%C3%ADnez%5D.pdf>
- Hincapié, Á. M., & Aguja, E. A. (2003). *Agregado reciclado*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Instituto mexicano del cemento y del concreto. (2008). *Concreto Permeable*. México.
- Interpave. (2013). *Guía para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos permeables a bloques de concreto*. Leicester, Inglaterra. Obtenido de http://www.paving.org.uk/documents/professional_guide.pdf
- Jing, Y., & Guiliang, J. (2003). *Estudio experimental sobre propiedades de materiales de pavimento de concreto permeable*. Beijing, China: Universidad de Tsinghua.

- Jordan, J. C., & Viera, N. (2014). Estudio de la resistencia del concreto, utilizando como agregado el concreto reciclado de obra. *Tesis Profesional*. Universidad Nacional de Santa, Chimbote, Perú.
- Kevern, J. T., & Schaefer, V. R. (2008). *Estudios experimentales sobre propiedades de materiales de pavimento de concreto permeable*. New Orleans, Estados Unidos.
- Lezama, J. (1996). Tecnología del Concreto. *Sexto criterio-Según la condición de la Ejecución de la obra*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Loayza, K. A. (2017). Influencia del nanosílice en el concreto con agregado angular y agregado redondeado. *Tesis Profesional*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Low, k. (2008). *Caracterización estadística de la estructura de poro de los hormigones de porosidad mejorada*. Denver, Estados Unidos.
- Mahboub, K. C. (2008). *Concreto Permeable: Compactación y Gradación Agregada*. Lexington, Estados Unidos: Universidad de Kentucky.
- McCain, G., & Dewoolkar, M. (2010). *Pavimentos de concreto poroso: mecánica y propiedades hidráulicas*. Burlington. Obtenido de http://www.uvm.edu/~transctr/publications/TRB_2010/10-2228.pdf
- Meininger, R. (1988). *Concreto permeable sin finos para pavimentos*. Silver Spring: Concreto Internacional. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/283112396/3-No-Fines-Pervious-Concrete-for-Paving-Meininger-1988-pdf>
- MINVU. (1996). *Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos*. Santiago de Chile, Chile.
- Montilla, K., & Porto, E. (2016). *Análisis del concreto con agregado grueso reciclado en obras civiles en Venezuela*. Instituto Universitario Politécnico "Santiago Marino", Mérida, Venezuela. Obtenido de https://issuu.com/german16/docs/proyecto_de_investigacion.docx
- Moujir, Y. F., & Castañeda, L. F. (2014). Diseño y Aplicación de concreto poroso en pavimentos. *Tesis profesional*. Pontificia Universidad Javeriana, Santiago de Cali, Colombia. Obtenido de http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3082/Dise%F1o_aplicacion_concreto.pdf;jsessionid=67C38F2728AA07F0265830785ACF1CF3?sequence=1
- Mulligan, A. M. (2005). *Resistencia a la compresión alcanzable de sistemas de pavimentación de concreto permeable*. Orlando, Estados Unidos: Universidad de Florida Central.

- National Ready Mixed Concrete Association. (1991). *CIP 16 - Resistencia a flexión del concreto*. Silver Spring. Obtenido de <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf>
- Neithalath, N. (2004). Desarrollo y caracterización de materiales cementantes acústicamente eficientes. *Tesis profesional*. Universidad Purdue, West Lafayette, Indiana.
- Nelson, P., & Phillips, S. (1994). *Diseño de superficies de carretera porosas para reducir el ruido del tráfico*. Crowthorne, Inglaterra: Transportation Research Laboratory Annual Review.
- Nissoux, J. L., Gnagne, C., Marzin, J., Lefebvre, J., & Pipien, G. (1993). *Un concreto de cemento permeable, con un curso de desgaste por debajo de 73 dB (A) (Vol. 2)*. West Lafayette, Estados Unidos.
- Offenberg, M. (2008). *¿Está listo el hormigón permeable para aplicaciones estructurales?* West Lafayette: Structure Magazine. Obtenido de <http://www.structuremag.org/wp-content/uploads/2014/08/D-Insights-Pervious-concrete-Offenberg-Feb081.pdf>
- Onstenk, E. (1993). *Estudio de laboratorio de hormigón poroso para su uso como capa superior de pavimentos de hormigón*. West Lafayette, Estados Unidos: Universidad de Purdue.
- Osorio, J. D. (28 de Junio de 2013). *Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión*. Obtenido de 360 en concreto: <http://mniapscpp01.azurewebsites.net/comunidad360/blog/detalle/buenas-practicas/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion>
- Pérez, A. J. (2016). Influencia de la Fibra de Acero y Microsílice en la Resistencia a Flexión del Concreto Ecológico $f'c=210\text{kg/cm}^2$ para Pavimentos Rígidos. *Tesis profesional*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Pérez, M. (2008). Caracterización de morteros con adición de combinaciones de microsilice y nanosilice. *Tesis profesional*. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Rivera, G. A. (2000). *Resistencia a la flexión*. Cauca: Universidad del Cauca.
- Rodas, N. I. (2012). Desarrollo y uso de bloques de concreto permeable en senderos ecológicos. *Tesis profesional*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3428_C.pdf
- Rodríguez, J. B. (2012). *Nuevos Materiales y Sistemas para la Ejecución*. Coruña: Roi Ríos López.

- Silva, R. A. (2016). Concreto permeable como propuesta sostenible para mejorar el sistema de drenaje pluvial. *Tesis Profesional*. Universidad César Vallejo, Piura.
- Smith, D. R. (2006). *Guía para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos permeables a bloques de concreto*. Burlington, Canadá: Interlocking Concrete Pavement Institute. Obtenido de http://www.idealconcreteblock.com/tl_files/pages/designers/know-green/PICP_Manual_3rd_edition.pdf
- Suleiman, M. T. (2006). *Efecto de la energía de compactación en propiedades del concreto permeable*. Iowa. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/228841934/download>
- Trujillo, A., & Quiroz, D. P. (2013). Pavimentos Porosos utilizados como sistemas alternativos al Drenaje Urbano. *Tesis Profesional*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11174/TrujilloLopezAlejandra2013.pdf?sequence=1>
- Valero, J. F. (2015). Influencia de las fibras de polipropileno en la fisuración asociadas a la retracción plástica en pavimentos de concreto. *Tesis Profesional*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Vigil, M. E. (2012). Diseño, proceso constructivo y evaluación post construcción de un pavimento rígido de concreto permeable. *Tesis Profesional*. Universidad de El Salvador, San Salvador. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/3929/1/Dise%C3%B1o%20proceso%20constructivo%20y%20evaluaci%C3%B3n%20post%20construcci%C3%B3n%20de%20un%20pavimento%20r%C3%ADgido%20de%20concreto%20permeable.pdf>
- Villamar, G. (7 de diciembre de 2016). *Blogger*. Obtenido de Concreto Ecológico: <http://concretoecologicoginov.blogspot.com/>
- Villamar, G. (7 de Diciembre de 2016). *Blooger*. Obtenido de Concreto Ecológico: <http://concretoecologicoginov.blogspot.com/>
- Villanueva, R. (20 de Abril de 2015). *Pavimentos Rígidos*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/PedroFiguroa8/ppt-pavimento-rigido>

APÉNDICES

Apéndice I: Propiedades físicas y mecánicas de los agregados

Tabla 30: Resumen de las propiedades de los agregados a ser empleados

CARACTERÍSTICA DEL AGREGADO	FINO	GRUESO	UNIDAD
Peso Especifico de Masa	2.54	2.25	gr/cm ³
Peso Especifico de Masa Saturada con Superficie Seca	2.58	2.37	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto Seco	1693.84	1294.61	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado Seco	1814.33	1416.75	Kg/m ³
Contenido de Humedad	9.31	3.94	%
Absorción	1.76	5.25	%
Modulo de Finura	2.99	6.89	
Tamaño Máximo Nominal	3/4		
Partículas < Tamiz N° 200	2.67	0.65	

Tabla 31: Asentamiento de las tandas del concreto según los diferentes tipos de mezclas

N° de Tanda	Etapa I:	Etapa I:	Etapa II:	Etapa II:
	Mezcla Diseño	Mezcla Diseño + Fibra de Polipropileno	Mezcla Diseño + Aditivo Nanosilíce	Mezcla Diseño + Aditivo Nanosilíce + Fibra de Polipropileno
	I-D	I-D-FPM	II-D-AN	II-D-AN-FPM
Tanda N°1	1.4	2.2	2.2	1.8
Tanda N°2	1.8	1.4	2.2	2.2
Tanda N°3	1.0	1.2	2.6	1.7
Tanda N°4	1.6	0.8	2.4	1.6
Tanda N°5	0.2	0.2	2.4	2.4
Tanda N°6	1.2	1.0	2.2	2.2
Promedio	1.2	1.1	2.3	1.8

Tabla 32: Ensayo de Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción de Agregados Finos (ASTM C128 / NTP 400.022)

ENSAYO N°	1°	2°	3°	Promedio
Wo = Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)	492.00	491.00	491.00	---
V = Volumen del frasco (cm3)	500.00	500.00	500.00	---
Va = Peso en (gr) o Volumen en (cm3) del agua añadida al frasco	302.00	309.00	308.00	---
a. Peso específico de masa $P_e = W_o / (V - V_a)$	2.485	2.571	2.557	2.538
b. Peso específico de masa saturada con superficie seca $P_{esss} = 500 / (V - V_a)$	2.525	2.618	2.604	2.582
c. Peso específico aparente $P_{ea} = W_o / [(V - V_a) - (500 - W_o)]$	2.589	2.698	2.683	2.657
d. Absorción $Abs = [(500 - W_o) / W_o] * 100$	1.63	1.83	1.83	1.76

Tabla 33: Ensayo de Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción de Agregados Grueso (ASTM C127 / NTP 400.021)

ENSAYO N°	1°	2°	3°	Promedio
A = Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)	3804.00	3797.00	3800.00	----
B = Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr)	4000.00	4000.00	4000.00	----
C = Peso en el agua de la muestra saturada (gr)	2295.00	2350.00	2285.00	----
a. Peso específico de masa $P_e = A / (B - C)$	2.231	2.301	2.216	2.249
b. Peso específico de masa saturada con superficie seca $P_{esss} = B / (B - C)$	2.346	2.424	2.332	2.368
c. Peso específico aparente $P_{ea} = A / (A - C)$	2.521	2.624	2.508	2.551
d. Absorción $Abs = [(B - A) / A] * 100$	5.15	5.35	5.26	5.25

Tabla 34: . Ensayo Calculo del Factor (f) para la Densidad (Peso Unitario) del Agregado Fino (ASTM C 29 / NTP 400.017)

Factor (f) para el Agregado Fino	
Peso del recipiente (gr)	3878
Peso del vidrio (gr)	875
Peso del recipiente + agua + vidrio (gr)	7745
Peso del agua (gr)	2992
Temperatura (°C)	17.5
Densidad (Kg/m3)	998.68
Factor (f) (/m3)	333.783

Nota: La densidad del agua sale a partir de la interpolación Tabla N° 03 de la norma NTP 400.017.

Tabla 35: Ensayo de Densidad (Peso Unitario Suelto) del Agregado Fino (ASTM C 29 / NTP 400.017)

ENSAYO N°	1°	2°	3°
Peso del recipiente (gr)	3878	3878	3878
Peso del recipiente + mat. (gr)	8950	8967	8941
Peso del material (gr)	5072	5089	5063
Factor (f)	333.783	333.783	333.783
Peso Unit. Compactado (Kg/m3)	1692.95	1698.62	1689.94
Peso Unit. Compactado Promedio (Kg/m3)	1693.84		

Tabla 36: Ensayo de Densidad (Peso Unitario Compactado) del Agregado Fino (ASTM C 29 / NTP 400.017)

ENSAYO N°	1°	2°	3°
Peso del recipiente (gr)	3878	3878	3878
Peso del recipiente + mat. (gr)	9275	9306	9360
Peso del material (gr)	5397	5428	5482
Factor (f)	333.783	333.783	333.783
Peso Unit. Compactado (Kg/m3)	1801.43	1811.78	1829.80
Peso Unit. Compactado Promedio (Kg/m3)	1814.33		

Tabla 37: Ensayo Calculo del Factor (f) para la Densidad (Peso Unitario) del Agregado Grueso (ASTM C 29 / NTP 400.017)

Factor (f) para el Agregado Grueso	
Peso del recipiente (gr)	4195
Peso del vidrio (gr)	875
Peso del recipiente + agua + vidrio (gr)	14805
Peso del agua (gr)	9735
Temperatura (°C)	17.5
Densidad (Kg/m3)	998.68
Factor (f) (/m3)	102.586

Tabla 38: Ensayo de Densidad (Peso Unitario Suelto) del Agregado Grueso (ASTM C 29 / NTP 400.017)

ENSAYO N°	1°	2°	3°
Peso del recipiente (gr)	4195	4195	4195
Peso del recipiente + mat. (gr)	16797	16778	16869
Peso del material (gr)	12602	12583	12674
Factor (f)	102.586	102.586	102.586
Peso Unit. Suelto Seco (Kg/m3)	1292.79	1290.85	1300.18
Peso Unit. Suelto Seco Promedio (Kg/m3)	1294.61		

Tabla 39: Ensayo de Densidad (Peso Unitario Compactado) del Agregado Grueso (ASTM C 29 / NTP 400.017)

ENSAYO N°	1°	2°	3°
Peso del recipiente (gr)	4195	4195	4195
Peso del recipiente + mat. (gr)	18010	18001	18005
Peso del material (gr)	13815	13806	13810
Factor (f)	102.586	102.586	102.586
Peso Unit. Suelto Seco (Kg/m3)	1417.23	1416.31	1416.72
Peso Unit. Suelto Seco Promedio (Kg/m3)	1416.75		

Tabla 40: Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N° 1 (ASTM C 136 / NTP 400.012)

$W_{ms} = 1500gr$

Malla		Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acum. (%)	Porcentaje Pasa (%)	HUSO GRANULOMÉTRICO		
N°	Abertura (mm)					M		
3/8	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100	—————	100
N° 4	4.75	110.00	7.33	7.33	92.67	95	—————	100
N° 8	2.38	139.00	9.27	16.60	83.40	80	—————	100
N° 16	1.19	255.00	17.00	33.60	66.40	50	—————	85
N° 30	0.600	394.00	26.27	59.87	40.13	25	—————	60
N° 50	0.300	336.00	22.40	82.27	17.73	10	—————	30
N° 100	0.150	195.00	13.00	95.27	4.73	2	—————	10
CAZOL.		71.00	4.73	100.00	0.00		Modulo de Finura	
TOTAL		1500.00					2.95	

Tabla 41: Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N° 2 (ASTM C 136 / NTP 400.012)

$W_{ms} = 1500gr$

Malla		Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acum. (%)	Porcentaje Pasa (%)	HUSO GRANULOMÉTRICO		
N°	Abertura (mm)					M		
3/8	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100	—————	100
N° 4	4.75	130.00	8.67	8.67	91.33	95	—————	100
N° 8	2.38	146.00	9.73	18.40	81.60	80	—————	100
N° 16	1.19	155.00	10.33	28.73	71.27	50	—————	85
N° 30	0.600	494.00	32.93	61.67	38.33	25	—————	60
N° 50	0.300	338.00	22.53	84.20	15.80	10	—————	30
N° 100	0.150	175.00	11.67	95.87	4.13	2	—————	10
CAZOL.		62.00	4.13	100.00	0.00		Modulo de Finura	
TOTAL		1500.00					2.98	

Tabla 42: Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N° 3 (ASTM C 136 / NTP 400.012)
W_{ms} = 1500gr

Malla		Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acum. (%)	Porcentaje Pasa (%)	HUSO GRANULOMÉTRICO		
N°	Abertura (mm)					M		
3/8	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100	—————	100
N° 4	4.75	98.00	6.53	6.53	93.47	95	—————	100
N° 8	2.38	169.00	11.27	17.80	82.20	80	—————	100
N° 16	1.19	258.00	17.20	35.00	65.00	50	—————	85
N° 30	0.600	459.00	30.60	65.60	34.40	25	—————	60
N° 50	0.300	283.00	18.87	84.47	15.53	10	—————	30
N° 100	0.150	164.00	10.93	95.40	4.60	2	—————	10
CAZOL.		69.00	4.60	100.00	0.00		Modulo de Finura	
TOTAL		1500.00					3.05	

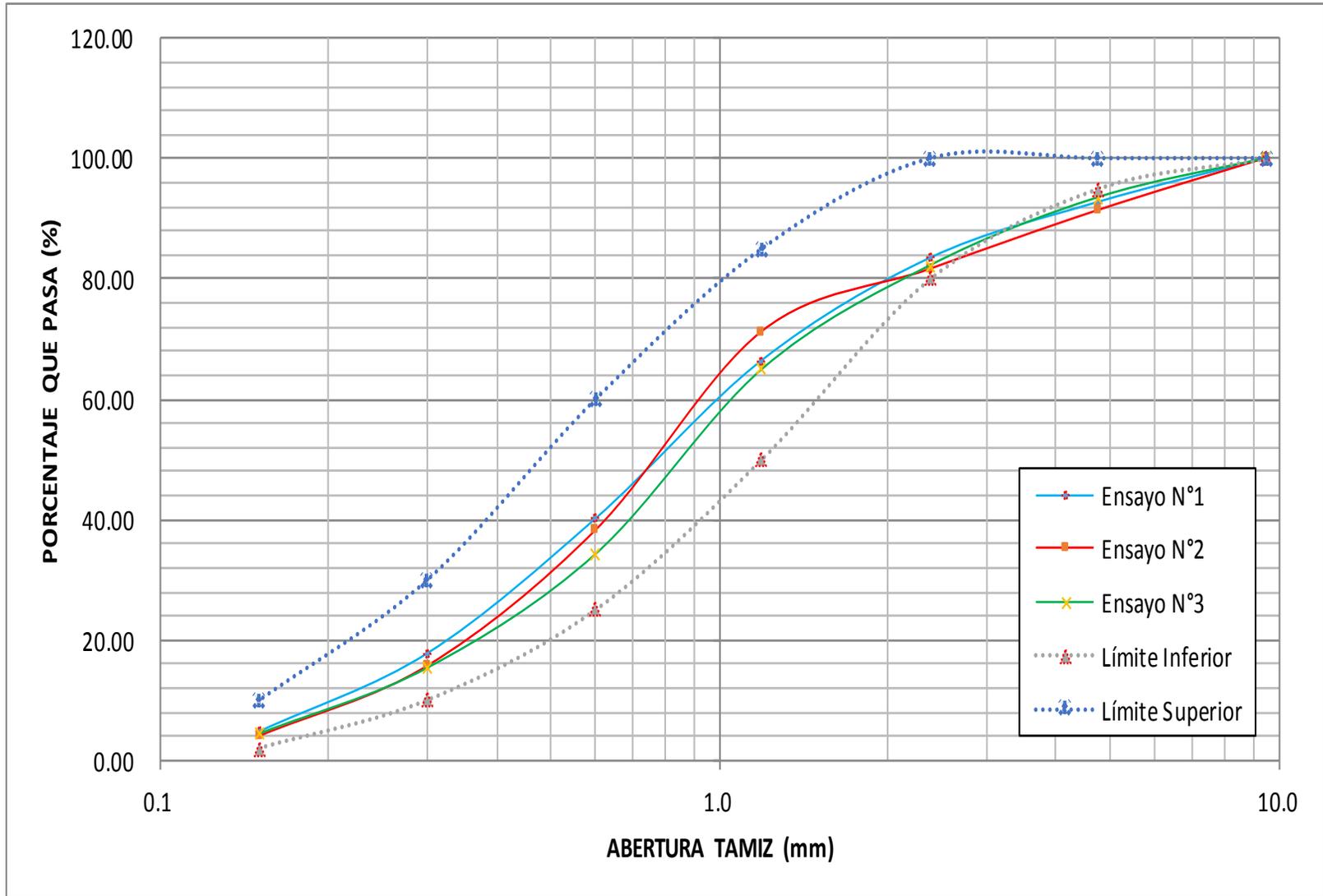


Figura 35: Consolidado del análisis granulométrico del agregado Fino (Huso Único)

Tabla 43: Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N° 1 (ASTM C 136 / NTP 400.012)

W_{ms} = 12000gr

Malla		Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acum. (%)	Porcentaje Pasa (%)	HUSO GRANULOMÉTRICO		
N°	Abertura (mm)					67		
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00	100	—————	100
3/4"	19.0	1200.00	10.00	10.00	90.00	90	—————	100
1/2"	12.7	5370.00	44.75	54.75	45.25	45	—————	70
3/8"	9.5	2871.00	23.93	78.68	21.33	20	—————	55
N° 4	4.76	2553.00	21.28	99.95	0.05	0	—————	10
N° 8	2.36	3.00	0.03	99.98	0.03	0	—————	5
Cazoleta		3.00	0.03	100.00	0.00		Modulo de Finura	
TOTAL		12000.00					6.89	

Tabla 44: Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N° 2 (ASTM C 136 / NTP 400.012)

W_{ms} = 12000gr

Malla		Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acum. (%)	Porcentaje Pasa (%)	HUSO GRANULOMÉTRICO		
N°	Abertura (mm)					67		
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00	100	—————	100
3/4"	19.0	1700.00	14.17	14.17	85.83	90	—————	100
1/2"	12.7	4870.00	40.58	54.75	45.25	45	—————	70
3/8"	9.5	2894.00	24.12	78.87	21.13	20	—————	55
N° 4	4.76	2530.00	21.08	99.95	0.05	0	—————	10
N° 8	2.36	2.00	0.02	99.97	0.03	0	—————	5
Cazoleta		4.00	0.03	100.00	0.00		Modulo de Finura	
TOTAL		12000.00					6.93	

Tabla 45: Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N° 3 (ASTM C 136 / NTP 400.012)
W_{ms} = 12000gr

Malla N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acum. (%)	Porcentaje Pasa (%)	HUSO GRANULOMÉTRICO	
						67	
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.0	1700.00	14.17	14.17	85.83	90	100
1/2"	12.7	4870.00	40.58	54.75	45.25	45	70
3/8"	9.5	2894.00	24.12	78.87	21.13	20	55
N° 4	4.76	2530.00	21.08	99.95	0.05	0	10
N° 8	2.36	2.00	0.02	99.97	0.03	0	5
Cazoleta		4.00	0.03	100.00	0.00		Modulo de Finura
TOTAL		12000.00					6.93

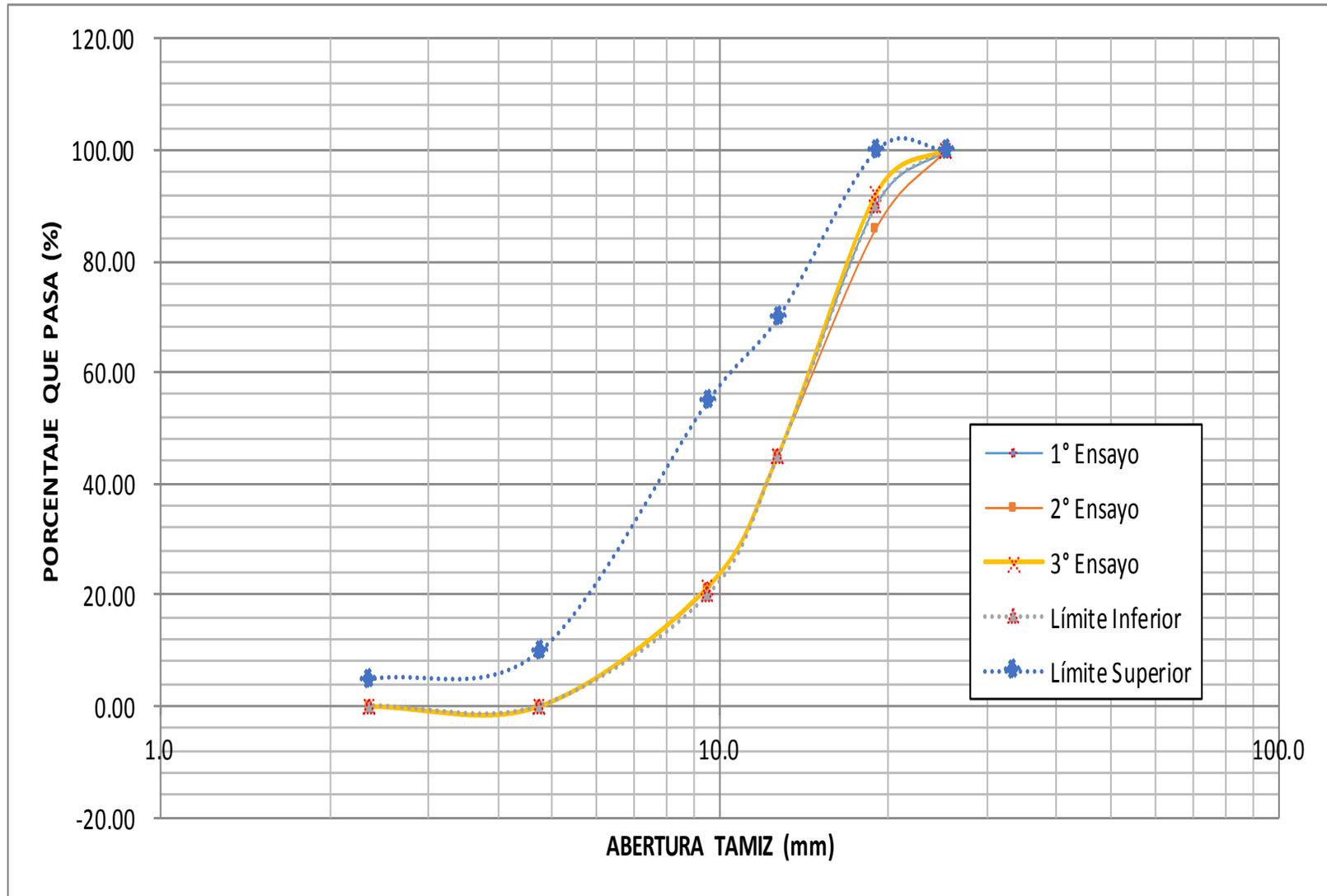


Figura 36: Consolidado análisis granulométrico del agregado grueso (Huso granulométrico N°67)

Tabla 46: Ensayo Partículas <200 para el Agregado Fino (ASTM C566 / NTP 339.185)

ENSAYO N°	1°	2°	3°
Peso seco de la muestra original	500.00	500.00	500.00
Peso seco de la muestra lavada	487.00	488.00	485.00
Peso del material que pasa el tamiz N° 200	13.00	12.00	15.00
% de material que pasa el tamiz N° 200	2.60	2.40	3.00
Promedio del % de material que pasa el tamiz N° 200	2.67		

Tabla 47: Ensayo Contenido de Humedad para el Agregado Fino (ASTM C566 / NTP 339.185)

ENSAYO N°	1°	2°	3°
Peso del recipiente (gr)	159.00	158.00	162.00
Peso del recipiente + Muestra Humeda (gr)	500.00	500.00	500.00
Peso del recipiente + Muestra Seca (gr)	470.00	471.00	472.00
Peso del Agua (gr)	30.00	29.00	28.00
Peso Muestra Seca (gr)	311.00	313.00	310.00
Contenido de Humedad (%)	9.65	9.27	9.03
Promedio del Contenido de Humedad (%)	9.31		

Tabla 48: Ensayo Contenido de Humedad para el Agregado Grueso (ASTM C566 / NTP 339.185)

ENSAYO N°	1°	2°	3°
Peso del recipiente (gr)	163.00	158.00	158.00
Peso del recipiente + Muestra Humeda (gr)	1081.00	1083.00	1087.00
Peso del recipiente + Muestra Seca (gr)	1053.00	1042.00	1051.00
Peso del Agua (gr)	28.00	41.00	36.00
Peso Muestra Seca (gr)	890.00	884.00	893.00
Contenido de Humedad (%)	3.15	4.64	4.03
Promedio del Contenido de Humedad (%)	3.94		

Tabla 49: Resistencia al desgaste por abrasión (ASTM C131 / NTP 400.019)

Gradación	N° de esferas	Peso de la carga abrasiva	Tamaño máx. Nominal
B	11	5236.92	1/2
Equipo Mecánico: Máquina de los Ángeles		Velocidad: 30 - 33 rev./min	N° de Revoluciones: 500

ENSAYO N°	1°	2°	3°
Pi = Peso inicial de la muestra seca al horno (gr)	5005.00	5002.00	5000.00
Pf = Peso retenido en la malla N° 12 lavado y secado al horno (gr)	3152.00	3374.00	3264.00
% Desg. = $((Pi - Pf) / Pi) \times 100$	37.02	32.55	34.72
% Desg. Promedio	34.76		

Apéndice II: Diseño de mezclas I-IP-AG-AF

DISEÑO DE MEZCLA I-IP-AG-AF MÉTODO DEL COMITÉ ACI 522-10

1. Propiedades de los materiales

1.1. Agregados

CARACTERÍSTICA DEL AGREGADO	FINO	GRUESO	UNIDAD
Peso Específico de Masa	2.538	2.249	gr/cm ³
Peso Específico de Masa Saturada con Superficie Seca	2.582	2.368	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto Seco	1693.84	1294.61	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado Seco	1814.33	1416.75	Kg/m ³
Contenido de Humedad	9.31	3.94	%
Absorción	1.76	5.25	%
Modulo de Finura	2.99	6.89	
Tamaño Máximo Nominal	3/4		
Partículas < Tamiz N° 200	2.67	0.65	

1.2. Cemento

CEMENTO PACASMAYO TIPO 1	Portland ASTM	UNIDAD
Peso Específico de Masa	3.12	gr/cm ³

1.3. Agua

Potable - UNC (Universidad Nacional de Cajamarca)

2. Características del Concreto

2.1. Resistencia a Compresión

$$f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

2.2. Tipo de Concreto

Concreto - Ecológico

3. Diseño

1. Resistencia Promedio

$$f_{cr} = 1.2 \times f_c$$

Condición **intermedias** de ejecución en obra.

$$f_{cr} = 252 \text{ Kg/cm}^2$$

2. Asentamiento

$$\text{Asentamiento} = 0 \text{ pulg} \quad (\text{Consistencia Seca})$$

3. Tamaño Máximo Nominal

$$\text{TMN} = 3/4 \text{ ''}$$

4. Relación A/C

La experiencia recomienda una relación a/c: 0.26 - 0.42
 Ref. Pervious Pavement Organization, ACI 211. 3R - 97 Apéndice 7, ACI Comité 522

Asumimos a/c = 0.3 (Ref. "Tesis Concreto poroso para pavimentos", UNC, 2007)

5. Cantidad de Agregado Grueso

La experiencia recomienda un rango de agregado grueso: 1190 - 2115 Kg/m³
 Ref. Pervious Pavement Organization, ACI 211. 3R - 97 Apéndice 7, ACI Comité 522

$$b / b_0 = \frac{\text{Peso Agregado Grueso (Kg)}}{\text{P.U.S.C Agregado Grueso}}$$

Según la Pervious Concrete Guide 2009 recomienda para un diseño inicial un máximo de 6% de agregado fino para luego ingresar a la tabla 1 para el Huso Granulométrico N°8.

Ref. ACI 211. 3R - 97 Apéndice 7, de la tabla A. 7.6. Valor b/b₀ efectivo

Tabla 1		
% Agregado fino	b/b ₀	
	N° 8 3/8 "	N° 67 3/4 "
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

% Agregado Fino = 6

Interpolando se tiene:

$$b / b_0 = 0.95$$

Luego obtenemos el peso del Agregado Grueso

$$W_a = 1345.913 \quad \text{Kg}$$

Agregado Grueso Superficialmente Seco

$$W_{a \text{ sss}} = 1416.573 \quad \text{Kg}$$

6. Cantidad de Cemento

La experiencia en concretos permeables recomienda un volumen de cemento entre: 270 - 451 Kg/m³
 Ref. NMRCA 2008 Diseño y Materiales de Mezcla

De la ACI 211. 3R - 97 Apéndice 7, Grafico A. 7.5.2. Relación Contenido de Vacíos y Resistencia a Compresión a los 8 días, Grafico A.7.7 Relación entre contenido de Pasta y Contenido de Vacíos

- Para la resistencia promedio de 210 Kg/cm² del Grafico A.7.5.2 obtenemos un contenido de vacío.

Interpolando tenemos:

f'cr	% Vacíos
210.92	15.00
252	% Vacíos
288.25	10.00
% Vacíos	12.34 %

- De la ACI 522 Apéndice 7, Grafico A. 7.5.2. Contenido de Vacíos vs Permeabilidad

Para una el 12.34 % de vacios se tiene una percolación = 0 mm/s

- Del Grafico A.7.7 obtenemos un volumen de pasta a partir del % contenido de vacíos:

Interpolando tenemos:

% Vacíos	% Pasta
2.00	32.00
12.34	% Vacíos
16.67	19.00
% Pasta	22.837 %

Por lo tanto el Volumen de Pasta:

$$\text{Volumen de Pasta} = 0.228 \text{ m}^3$$

Si: Volumen de pasta = Volumen del cemento + Volumen del Agua

$$\text{Volumen de pasta} = \text{Cemento} / (\text{Peso Especifico Cemento}) + \text{Agua} / (\text{Peso Especifico Agua})$$

Relación Agua / Cemento

$$\text{Asumimos } a/c = 0.3$$

Entonces:

$$0.228 = \text{Cemento} / (3.12 \times 1000) + 0.3 \times \text{Cemento} / (1000)$$

Despejando se tiene:

$$\text{Cemento} = 367.438 \text{ Kg/m}^3$$

7. Cantidad de Agua de Diseño

A partir de la relación A/C y despejando se tiene:

$$\text{Agua} = 110.231 \text{ Kg/m}^3$$

8. Cantidad de Agregado Fino: Método Volúmenes Absolutos

Volumen Abs. de Cemento $V_c = 367.438 / (3.12 \times 1000)$	=	0.117769 m3
Volumen Abs. Agua $V_w = 110.231 / 1000$	=	0.110231 m3
Volumen Abs. de Agregado Grueso $V_{ag} = 1345.913 / (2.249 \times 1000)$	=	0.598450 m3
Volumen Abs. de Aire $V_{aire} = 12.34 / 100$	=	<u>0.123400 m3</u>
Total de Volumen Abs. $V = V_c + V_w + V_{ag} + V_{aire}$	=	0.949850 m3

Por lo tanto el Volumen Abs. De Agregado Fino:

Volumen Abs. de Agregado Fino $V_{af} = 1 - 0.94985$	=	0.050150 m3
Cantidad de Agregado Fino Seco = $0.05015 \times 2.538 \times 1000$	=	127.281 Kg
Cantidad de Agregado Fino S.S.S = $127.281 \times (1 + 1.76 / 100)$	=	129.521 Kg

9. Pesos Secos de Materiales para 1m³ de concreto

Agua de Mezclado =	110.231	lts
Cemento =	367.438	kg
Agregado fino =	127.281	kg
Agregado Grueso =	1345.913	kg
Total =	1950.863	kg

10. Corrección por Humedad

- Para el Agregado Fino

$$127.281 \times (1 + (9.31) / 100) = 139.13 \text{ Kg/m}^3$$

- Para el Agregado Grueso

$$1345.913 \times (1 + (3.94) / 100) = 1398.94 \text{ Kg/m}^3$$

- Agua Efectiva

$$110.231 - 127.281 \times (9.31 - 1.76) / 100 - 1345.913 \times (3.94 - 5.25) / 100 = 118.25 \text{ lts}$$

11. Cantidad de Materiales por m³ de concreto corregidos por humedad

Agua de Mezclado =	118.25 lts
Cemento =	367.44 kg
Agregado fino =	139.13 kg
Agregado Grueso =	1398.940 kg
Total =	2023.758 kg

12. Determinación del proporcionamiento de los materiales

- Proporcionamiento en peso:

$$\frac{367.44}{367.44} : \frac{139.13}{367.44} : \frac{1398.940}{367.44} / \frac{118.25}{367.44} \times 42.5 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.38 : 3.81 : 13.68 \text{ lts / bolsa}$$

- Proporcionamiento en volumen aparente:

Cemento

$$367.438 / 42.5 = 8.65 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Fino

$$(139.13 \times 35.315) / (1693.84 \times (1 + 9.31 / 100)) = 2.65 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Grueso

$$(1398.94 \times 35.315) / (1294.61 \times (1 + 3.94 / 100)) = 36.71 \text{ pie}^3$$

$$\frac{8.65}{8.65} : \frac{2.65}{8.65} : \frac{36.71}{8.65} / 13.68 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.31 : 4.24 : 13.68 \text{ lts / bolsa}$$

13. Mezcla de prueba en laboratorio

- Calculo de Volmen para 3 Especímenes Cilíndricos

Dimensiones de Testigos Cilíndricos

$$\text{Diámetro Promedio } D = 0.154 \text{ m}$$

$$\text{Altura Promedio } h = 0.304 \text{ m}$$

$$\text{Desperdicios} = 1.07$$

$$\text{N}^\circ \text{ de testigos} = 3$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi D^2) \times h}{4} \times 1.07$$

$$\text{Reemplazando tenemos: } 0.018177$$

$$\text{Aproximado } V = 0.020 \text{ m}^3$$

Materiales corregidos por humedad para especímenes ($V = 0.02 \text{ m}^3$)

Agua de Mezclado =	$118.25 \times 0.02 =$	2.365	lts
Cemento =	$367.438 \times 0.02 =$	7.349	kg
Agregado fino =	$139.13 \times 0.02 =$	2.783	kg
Agregado Grueso =	$1398.94 \times 0.02 =$	27.979	kg
Total =		40.476	kg

A. PRIMER AJUSTE DE MEZCLA DE PRUEBA

1. Datos de la Prueba de Laboratorio obtenidos:

- Asentamiento	0"
- Agua adicional	0.450 lts
- Peso Unitario del Concreto Fresco	1759.64 Kg/m ³

2. Materiales corregidos por humedad para 3 especímenes ($V = 0.020 \text{ m}^3$):

Agua de Mezclado =	$118.25 \times 0.02 + 0.45 =$	2.815	lts
Cemento =	$367.438 \times 0.02 =$	7.349	kg
Agregado fino =	$139.13 \times 0.02 =$	2.783	kg
Agregado Grueso =	$1398.94 \times 0.02 =$	27.979	kg
Total =		40.926	kg

3. Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = (40.926 / 1759.64) = 0.0232581664$$

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =	=	2.815	lts
Aporte de agregado fino =	$127.281 \times 0.02 \times (9.31 - 1.76) / 100 =$	0.1922	lts
Aporte de agregado grueso =	$1345.913 \times 0.02 \times (3.94 - 5.25) / 100 =$	-0.3526	lts
Agua de mezcla por tanda =	=	2.6546	lts

La cantidad de agua de mezcla requerido por m³ con el mismo asentamiento de la mezcla de prueba será:

$$\text{Agua de mezclado por m}^3 = 2.6546 / 0.0232581664 = 114.14 \text{ lts/m}^3$$

5. De la relacion a/c inicial se tiene:

$$a/c = 0.3$$

El incremento de agua de mezclado obtenido en la mezcla de prueba, se obtendrá el nuevo contenido de cemento:

$$\text{Cantidad de cemento} = 114.14 / 0.3 = 380.47 \text{ Kg/m}^3$$

6. La mezcla de la prueba inicial resultó con una deficiente adherencia:

Teniendo la recomendación el método ACI 211 y de la experiencia en los diseños iniciales es necesario reducir en un 8% el volumen del agregado grueso para obtener un concreto trabajable y de mejorar propiedades reológicas

Se tiene inicialmente la relacion

$$b / b_0 = 0.95$$

Efectuada la disminucion se obtiene:

$$b / b_0 = 0.87$$

$$\text{Peso del Agregado Grueso} = 0.87 \times 1416.75 = 1232.573 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso del Agregado Grueso Humedo} = 1232.573 \times (1 + 3.94 / 100) = 1281.136 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado Grueso Superficialmente Seco} = 1232.573 \times (1 + 5.25 / 100) = 1297.283 \text{ Kg}$$

7. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacios en la mezcla de ensayo inicial se tiene

$$\text{Volumen Abs. de Cemento } V_c = 7.349 / (3.12 \times 1000) = 0.002355 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. Agua } V_w = 2.6546 / 1000 = 0.002655 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Grueso} = 1232.573 / (2.249 \times 1000) \times 0.02 = 0.010961 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Fino} = 127.281 / (2.538 \times 1000) \times 0.02 = 0.001003 \text{ m}^3$$

$$\text{Total de Volumen Abs.} = \underline{\underline{0.016974 \text{ m}^3}}$$

$$\text{Por lo tanto el \% de vacios} = (0.0232581664 - 0.016974) / 0.0232581664 \times 100$$

$$\% \text{ de vacios} = 27.02 \%$$

8. Volúmenes absolutos de materiales corregidos

Establecidos las proporciones de todos los componente del concreto, excepto del agregado fino la determinacion de las cantidades ajustadas por m³, puede ser completado como sigue:

$$\text{Volumen Abs. de Cemento } V_c = 380.47 / (3.12 \times 1000) = 0.121946 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. Agua } V_w = 114.14 / 1000 = 0.114140 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Grueso} = 1232.573 / (2.249 \times 1000) = 0.548054 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Vacios} = 12.34 / 100 = 0.123400 \text{ m}^3$$

$$\text{Total de Volumen Abs. Sin agregado fino} = \underline{\underline{0.907540 \text{ m}^3}}$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Fino} = (1 - 0.90754) = 0.092460 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso seco de Agregado Fino} = 0.09246 \times 2538 = 234.663 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso humedo de Agregado Fino} = 234.663 \times (1 + (9.31 / 100)) = 256.51 \text{ Kg}$$

9. Los pesos ajustados por m³ de concreto coregidos por humedad seran:

- Agua Efectiva

$$114.14 - 234.663 \times (9.31 - 1.76) / 100 - 1232.573 \times (3.94 - 5.25) / 100 = 112.57 \text{ lts}$$

$$\text{Agua de Mezclado} = 112.57 \text{ lts}$$

$$\text{Cemento} = 380.47 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado fino} = 256.51 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1281.136 \text{ kg}$$

$$\text{Total} = \underline{\underline{2030.686 \text{ kg}}}$$

10. Determinación del proporcionamiento de los materiales

- Proporcionamiento en peso:

$$\frac{380.47}{380.47} : \frac{256.51}{380.47} : \frac{1281.136}{380.47} / \frac{112.57}{380.47} \times 42.5 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.67 : 3.37 : 12.57 \text{ lts / bolsa}$$

- Proporcionamiento en volumen aparente:

Cemento

$$380.47 / 42.5 = 8.95 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Fino

$$(256.51 \times 35.315) / (1693.84 \times (1 + 9.31 / 100)) = 4.89 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Grueso

$$(1281.136 \times 35.315) / (1294.61 \times (1 + 3.94 / 100)) = 33.62 \text{ pie}^3$$

$$\frac{8.95}{8.95} : \frac{4.89}{8.95} : \frac{33.62}{8.95} / 12.57 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.55 : 3.76 : 12.57 \text{ lts / bolsa}$$

11. Mezcla de prueba en laboratorio

- Calculo de Volmen para 3 Especímenes Cilíndricos

Dimensiones de Testigos Cilíndricos

$$\text{Diámetro Promedio } D = 0.154 \text{ m}$$

$$\text{Altura Promedio } h = 0.304 \text{ m}$$

$$\text{Desperdicios} = 1.07$$

$$\text{N° de testigos} = 3$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi D^2) \times h}{4} \times 1.07$$

$$\text{Reemplazando tenemos: } 0.018177 \quad 0.00605883$$

$$\text{Aproximado } V = 0.020 \text{ m}^3$$

Materiales corregidos por humedad para especímenes ($V = 0.02 \text{ m}^3$)

Agua de Mezclado =	$112.57 \times 0.02 =$	2.251	lts
Cemento =	$380.47 \times 0.02 =$	7.609	kg
Agregado fino =	$256.51 \times 0.02 =$	5.13	kg
Agregado Grueso =	$1281.136 \times 0.02 =$	25.623	kg
Total =		40.613	kg

B. SEGUNDO AJUSTE DE MEZCLA DE PRUEBA

1. Datos de la Prueba de Laboratorio obtenidos:

- Asentamiento 0"
- Agua adicional 0.120 lts
- Peso Unitario del Concreto Fresco 1968.87 Kg/m³

2. Materiales corregidos por humedad para 3 especímenes ($V = 0.020 \text{ m}^3$):

Agua de Mezclado =	$112.57 \times 0.02 + 0.12 =$	2.371	lts
Cemento =	$380.47 \times 0.02 =$	7.609	kg
Agregado fino =	$256.51 \times 0.02 =$	5.13	kg
Agregado Grueso =	$1281.136 \times 0.02 =$	25.623	kg
Total =		40.733	kg

3. Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = (40.733 / 1968.87) = 0.0206885168$$

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =	=	2.371	Its
Aporte de agregado fino = $234.663 \times 0.02 \times (9.31 - 1.76) / 100$	=	0.3543	Its
Aporte de agregado grueso = $1232.573 \times 0.02 \times (3.94 - 5.25) / 100$	=	-0.3229	Its
Agua de mezcla por tanda =	=	<u>2.4024</u>	Its

La cantidad de agua de mezcla requerido por m^3 con el mismo asentamiento de la mezcla de prueba será:

$$\text{Agua de mezclado por } m^3 = \frac{2.4024}{0.0206885168} = 116.12 \text{ Its}/m^3$$

5. De la relacion a/c inicial se tiene:

$$a/c = 0.3$$

El incremento de agua de mezclado obtenido en la mezcla de prueba, se obtendra el nuevo contenido de cemento:

$$\text{Cantidad de cemento} = 116.12 / 0.3 = 387.07 \text{ Kg}/m^3$$

6. Teniendo en cuenta del primer ajuste - consistencia seca

Peso del Agregado Grueso Humedo = $25.623 / 0.0206885168$	=	1238.513	Kg
Peso del Agregado Grueso Seco = $1238.513 / (1 + 3.94 / 100)$	=	1191.565	Kg
Agregado Grueso Superficialmente Seco = $1191.565 \times (1 + 5.25 / 100)$	=	1254.122	Kg

7. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacios en la mezcla de ensayo inicial se tiene

Volumen Abs. de Cemento $V_c = \frac{7.609}{(3.12 \times 1000)}$	=	0.002439	m^3
Volumen Abs. Agua $V_w = \frac{2.4024}{1000}$	=	0.002402	m^3
Volumen Abs. de Agregado Grueso = $\frac{1191.565}{(2.249 \times 1000)} \times 0.02$	=	0.010596	m^3
Volumen Abs. de Agregado Fino = $\frac{234.663}{(2.538 \times 1000)} \times 0.02$	=	0.001849	m^3
Total de Volumen Abs.	=	<u>0.017286</u>	m^3

Por lo tanto el % de vacios = $(0.0206885168 - 0.017286) / 0.0206885168 \times 100$

$$\% \text{ de vacios} = 16.45 \%$$

8. Volúmenes absolutos de materiales corregidos

Establecidos las proporciones de todos los componente del concreto, excepto del agregado fino la determinacion de las cantidades ajustadas por m^3 , puede ser completado como sigue:

Volumen Abs. de Cemento $V_c = \frac{387.07}{(3.12 \times 1000)}$	=	0.124061	m^3
Volumen Abs. Agua $V_w = \frac{116.12}{1000}$	=	0.116120	m^3
Volumen Abs. de Agregado Grueso = $\frac{1191.565}{(2.249 \times 1000)}$	=	0.529820	m^3
Volumen Abs. de Vacios = $\frac{16.45}{100}$	=	0.164500	m^3
Total de Volumen Abs. Sin agregado fino	=	<u>0.934501</u>	m^3
Volumen Abs. de Agregado Fino = $(1 - 0.934501)$	=	0.065499	m^3
Peso seco de Agregado Fino = 0.065499×2538	=	166.236	Kg
Peso humedo de Agregado Fino = $166.236 \times (1 + (9.31 / 100))$	=	181.713	Kg

9. Los pesos ajustados por m³ de concreto coregidos por humedad seran:

- Agua Efectiva

$$116.12 - 166.236 \times (9.31 - 1.76) / 100 - 1191.565 \times (3.94 - 5.25) / 100 = 119.18 \text{ lts}$$

Agua de Mezclado =	119.18 lts	
Cemento =	387.07 kg	
Agregado fino =	181.713 kg	
Agregado Grueso =	1238.513 kg	
Total =	1926.476 kg	

10. Determinación del proporcionamiento de los materiales

- Proporcionamiento en peso:

$$\frac{387.07}{387.07} : \frac{181.713}{387.07} : \frac{1238.513}{387.07} / \frac{119.18}{387.07} \times 42.5 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.47 : 3.2 : 13.09 \text{ lts / bolsa}$$

- Proporcionamiento en volumen aparente:

Cemento

$$387.07 / 42.5 = 9.11 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Fino

$$(181.713 \times 35.315) / (1693.84 \times (1 + 9.31 / 100)) = 3.47 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Grueso

$$(1238.513 \times 35.315) / (1294.61 \times (1 + 3.94 / 100)) = 32.5 \text{ pie}^3$$

$$\frac{9.11}{9.11} : \frac{3.47}{9.11} : \frac{32.50}{9.11} / 13.09 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.38 : 3.57 : 13.09 \text{ lts / bolsa}$$

11. Mezcla de prueba en laboratorio

- Calculo de Volmen para 3 Especímenes Cilíndricos

Dimensiones de Testigos Cilíndricos

$$\text{Diámetro Promedio } D = 0.154 \text{ m}$$

$$\text{Altura Promedio } h = 0.304 \text{ m}$$

$$\text{Desperdicios} = 1.07$$

$$\text{N° de testigos} = 3$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi D^2) \times h}{4} \times 1.07$$

$$\text{Reemplazando tenemos: } 0.018177$$

$$\text{Aproximado } V = 0.020 \text{ m}^3$$

Materiales corregidos por humedad para especímenes (V = 0.02 m3)

Agua de Mezclado =	119.18 x 0.02 =	2.384	lts
Cemento =	387.07 x 0.02 =	7.741	kg
Agregado fino =	181.713 x 0.02 =	3.634	kg
Agregado Grueso =	1238.513 x 0.02 =	24.77	kg
Total =		38.529	kg

C. VERIFICACION DE MEZCLA DE PRUEBA**1. Datos de la Prueba de Laboratorio obtenidos:**

- Asentamiento	0"
- Agua adicional	0.000 lts
- Peso Unitario del Concreto Fresco	1932.68 Kg/m ³

2. Materiales corregidos por humedad para 3 especímenes (V = 0.020 m³):

Agua de Mezclado =	119.18 x 0.02 + 0 =	2.384	lts
Cemento =	387.07 x 0.02 =	7.741	kg
Agregado fino =	181.713 x 0.02 =	3.634	kg
Agregado Grueso =	1238.513 x 0.02 =	24.77	kg
Total =		38.529	kg

3. Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = (38.529 / 1932.68) = 0.0199355299$$

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =	=	2.384	lts
Aporte de agregado fino =	$166.236 \times 0.02 \times (9.31 - 1.76) / 100$	=	0.251 lts
Aporte de agregado grueso =	$1191.565 \times 0.02 \times (3.94 - 5.25) / 100$	=	-0.3122 lts
Agua de mezcla por tanda =	=	<u>2.3228</u>	lts

La cantidad de agua de mezcla requerido por m³ con el mismo asentamiento de la mezcla de prueba será:

$$\text{Agua de mezclado por m}^3 = 2.3228 / 0.0199355299 = 116.52 \text{ lts/m}^3$$

5. De la relacion a/c inicial se tiene:

$$a/c = 0.3$$

El incremento de agua de mezclado obtenido en la mezcla de prueba, se obtendrá el nuevo contenido de cemento:

$$\text{Cantidad de cemento} = 116.52 / 0.3 = 388.4 \text{ Kg/m}^3$$

6. Teniendo en cuenta del primer ajuste - consistencia seca

Peso del Agregado Grueso Humedo =	$24.77 / 0.0199355299$	=	1242.505 Kg
Peso del Agregado Grueso Seco =	$1242.505 / (1 + 3.94 / 100)$	=	1195.406 Kg
Agregado Grueso Superficialmente Seco =	$1195.406 \times (1 + 5.25 / 100)$	=	1258.165 Kg

7. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacíos en la mezcla de ensayo inicial se tiene

Volumen Abs. de Cemento V _c =	$7.741 / (3.12 \times 1000)$	=	0.002481 m ³
Volumen Abs. Agua V _w =	$2.3228 / 1000$	=	0.002323 m ³
Volumen Abs. de Agregado Grueso =	$1195.406 / (2.249 \times 1000) \times 0.02$	=	0.010631 m ³
Volumen Abs. de Agregado Fino =	$166.236 / (2.538 \times 1000) \times 0.02$	=	0.001310 m ³
Total de Volumen Abs.	=	<u>0.016745</u>	m³

$$\text{Por lo tanto el \% de vacíos} = (0.0199355299 - 0.016745) / 0.0199355299 \times 100$$

$$\% \text{ de vacíos} = 16.00 \%$$

- De la ACI 522 Apéndice 7, Grafico A. 7.5.2. Contenido de Vacíos vs Permeabilidad

Para una el 16 % de vacíos se tiene una percolación = 25.00 mm/s

Apéndice III: Diseño de mezclas I-IP-AG-AF-FPM

DISEÑO DE MEZCLA I-IP-AG-AF-FPM MÉTODO DEL COMITÉ ACI 522-10

1. Propiedades de los materiales

1.1. Agregados

CARACTERISTICA DEL AGREGADO	FINO	GRUESO	UNIDAD
Peso Especifico de Masa	2.538	2.249	gr/cm ³
Peso Especifico de Masa Saturada con Superficie Seca	2.582	2.368	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto Seco	1693.84	1294.61	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado Seco	1814.330	1416.75	Kg/m ³
Contenido de Humedad	9.31	3.94	%
Absorción	1.76	5.25	%
Modulo de Finura	2.99	6.89	
Tamaño Máximo Nominal	3/4		
Particulas < Tamiz N° 200	2.67	0.65	

1.2. Cemento

CEMENTO PACASMAYO TIPO 1	Portland ASTM	UNIDAD
Peso Especifico de Masa	3.12	gr/cm ³

1.3. Agua

Potable - UNC (Universidad Nacional de Cajamarca)

2. Características del Concreto

Los datos son las mismas de la etapa I:

2.1. Resistencia a Compresión

$$f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

2.2. Resistencia Promedio

$$f_{cr} = 252 \text{ Kg/cm}^2$$

2.3. Relación A/C

$$\text{Asumimos a/c} = 0.3$$

3. Procedimiento

Partiendo del sieño I-IP-AG-AF, se añadira 9 kg de fibra de polipropileno macrosintética estructural por m³, para mejorar su comportamiento estructural.

De los pesos ajustados por m3 de concreto corregidos por humedad tenemos:

Agua de Mezclado =	119.180 lts
Cemento =	387.070 kg
Agregado fino =	181.713 kg
Agregado Grueso =	1238.513 kg
Total =	1926.476 kg

Peso de fibra de polipropileno macrosinté	9.000 kg		
Porcentaje de fibras por m ³ :	0.47%		
Peso seco de los agregados			
Peso del agregado fino seco	$181.713 / (1 + (9.31 / 100))$	=	166.236 Kg
Peso del agregado grueso seco	$1238.513 / (1 + (3.94 / 100))$	=	1191.565 Kg

C. VERIFICACION DE MEZCLA DE PRUEBA

1. Datos de la Prueba de Laboratorio obtenidos:

- Asentamiento	0"	
- Agua adicional	0.000	Its
- Peso Unitario del Concreto Fresco	1932.38	Kg/m ³

2. Materiales corregidos por humedad para 3 especímenes (V = 0.020 m³):

Agua de Mezclado =	$119.18 \times 0.02 + 0 =$	2.384	Its
Cemento =	$387.07 \times 0.02 =$	7.741	kg
Agregado fino =	$181.713 \times 0.02 =$	3.634	kg
Agregado Grueso =	$1238.513 \times 0.02 =$	24.77	kg
Total =		38.529	kg

3. Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = (38.529 / 1932.38) = 0.0199386249$$

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =		=	2.384	Its
Aporte de agregado fino =	$166.236 \times 0.02 \times (9.31 - 1.76) / 100$	=	0.251	Its
Aporte de agregado grueso =	$1191.565 \times 0.02 \times (3.94 - 5.25) / 100$	=	-0.3122	Its
Agua de mezcla por tanda =		=	2.3228	Its

La cantidad de agua de mezcla requerido por m³ con el mismo asentamiento de la mezcla de prueba será:

$$\text{Agua de mezclado por m}^3 = 2.3228 / 0.0199386249 = 116.5 \text{ Its/m}^3$$

5. De la relacion a/c inicial se tiene:

$$a/c = 0.3$$

El incremento de agua de mezclado obtenido en la mezcla de prueba, se obtendrá el nuevo contenido de cemento:

$$\text{Cantidad de cemento} = 116.5 / 0.3 = 388.33 \text{ Kg/m}^3$$

6. Teniendo en cuenta del primer ajuste - consistencia seca

Peso del Agregado Grueso Humedo =	$24.77 / 0.0199386249$	=	1242.312	Kg
Peso del Agregado Grueso Seco =	$1242.312 / (1 + 3.94 / 100)$	=	1195.220	Kg
Agregado Grueso Superficialmente Seco =	$1195.22 \times (1 + 5.25 / 100)$	=	1257.969	Kg

7. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacios en la mezcla de ensayo inicial se tiene

$$\text{Volumen Abs. de Cemento } V_c = \frac{7.741}{(3.12 \times 1000)} = 0.002481 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. Agua } V_w = \frac{2.3228}{1000} = 0.002323 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Grueso} = \frac{1195.22}{(2.249 \times 1000)} \times 0.02 = 0.010629 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Fino} = \frac{166.236}{(2.538 \times 1000)} \times 0.02 = 0.001310 \text{ m}^3$$

$$\text{Total de Volumen Abs.} = \underline{\underline{0.016743 \text{ m}^3}}$$

$$\text{Por lo tanto el \% de vacios} = \frac{(0.0199386249 - 0.016743)}{0.0199386249} \times 100$$

$$\% \text{ de vacios} = 16.03 \%$$

- De la ACI 522 Apéndice 7, Grafico A. 7.5.2. Contenido de Vacios vs Permeabilidad

$$\text{Para una el } 16.03 \% \text{ de vacios se tiene una percolación} = 25.75 \text{ mm/s}$$

Apéndice IV: Diseño de mezclas II-IP-AG-AF-AN

DISEÑO DE MEZCLA II-IP-AG-AF-AN

MÉTODO DEL COMITÉ ACI 522-10

1. Propiedades de los materiales

1.1. Agregados

CARACTERISTICA DEL AGREGADO	FINO	GRUESO	UNIDAD
Peso Especifico de Masa	2.538	2.249	gr/cm ³
Peso Especifico de Masa Saturada con Superficie Seca	2.582	2.368	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto Seco	1693.84	1294.61	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado Seco	1814.330	1416.75	Kg/m ³
Contenido de Humedad	9.31	3.94	%
Absorción	1.76	5.25	%
Modulo de Finura	2.99	6.89	
Tamaño Máximo Nominal	3/4		
Partículas < Tamiz N° 200	2.67	0.65	

1.2. Cemento

CEMENTO PACASMAYO TIPO 1	Portland ASTM TIPO	UNIDAD
Peso Especifico de Masa	3.12	gr/cm ³

1.3. Agua

Potable - UNC (Universidad Nacional de Cajamarca)

2. Características del Concreto

2.1. Resistencia a Compresión

$$f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

2.2. Tipo de Concreto

Concreto - Ecológico

3. Diseño

1. Resistencia Promedio

$$f_{cr} = 1.2 \times f_c \quad \text{Condición intermedias de ejecucion en obra.}$$

$$f_{cr} = 252 \text{ Kg/cm}^2$$

2. Asentamiento

$$\text{Asentamiento} = 0 \text{ pulg} \quad (\text{Consistencia Seca})$$

3. Tamaño Máximo Nominal

$$\text{TMN} = 3/4 \text{ ''}$$

4. Relación A/C

La experiencia recomienda una relación a/c: 0.26 - 0.42

Ref. Pervious Pavement Organization, ACI 211. 3R - 97 Apéndice 7, ACI Comité 522

Asumimos a/c = 0.3 (Ref. "Tesis Concreto poroso para pavimentos", UNC, 2007)

5. Cantidad de Agregado Grueso

La experiencia recomienda un rango de agregado grueso: 1190 - 2115 Kg/m³

Ref. Pervious Pavement Organization, ACI 211. 3R - 97 Apéndice 7, ACI Comité 522

$$b / b_0 = \frac{\text{Peso Agregado Grueso (Kg)}}{\text{P.U.S.C Agregado Grueso}}$$

Según la Pervious Concrete Guide 2009 recomienda para un diseño inicial un máximo de 6% de agregado fino para luego ingresar a la tabla 1 para el Huso Granulométrico N°8.

Ref. ACI 211. 3R - 97 Apéndice 7, de la tabla A. 7.6. Valor b/b₀ efectivo

% Agregado fino	Tabla 1 b/b ₀	
	N° 8 3/8 "	N° 67 3/4 "
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

% Agregado Fino = 9.43 De la diseño I-IP-AG-AF

Interpolando se tiene:

$$b / b_0 = 0.978$$

Luego obtenemos el peso del Agregado Grueso

$$W_a = 1385.582 \quad \text{Kg}$$

Agregado Grueso Superficialmente Seco

$$W_{a \text{ sss}} = 1458.325 \quad \text{Kg}$$

6. Cantidad de Cemento

La experiencia en concretos permeables recomienda un volumen de cemento entre: 270 - 451 Kg/m³

Ref. NMRCA 2008 Diseño y Materiales de Mezcla

De la ACI 211. 3R - 97 Apéndice 7, Grafico A. 7.5.2. Relación Contenido de Vacíos y Resistencia a Compresión a los 8 días, Grafico A.7.7 Relación entre contenido de Pasta y Contenido de Vacíos

- Para la resistencia promedio de 210 Kg/cm² del Grafico A.7.5.2 obtenemos un contenido de vacío.

Interpolando tenemos:

f'cr	% Vacíos
210.92	15.00
252	% Vacíos
288.25	10.00
% Vacíos	12.34 %

- De la ACI 522 Apéndice 7, Grafico A. 7.5.2. Contenido de Vacíos vs Permeabilidad

Para una el 12.34 % de vacíos se tiene una percolación = 0 mm/s

- Del Grafico A.7.7 obtenemos un volumen de pasta a partir del % contenido de vacíos:

Interpolando tenemos:

% Vacíos	% Pasta
2.00	32.00
12.34	% Vacíos
16.67	19.00
% Pasta	22.837 %

Por lo tanto el Volumen de Pasta:

$$\text{Volumen de Pasta} = 0.228 \text{ m}^3$$

Si: Volumen de pasta = Volumen del cemento + Volumen del Agua

$$\text{Volumen de pasta} = \text{Cemento} / (\text{Peso Especifico Cemento}) + \text{Agua} / (\text{Peso Especifico Agua})$$

Relación Agua / Cemento

$$\text{Asumimos } a/c = 0.3$$

Entonces:

$$0.228 = \text{Cemento} / (3.12 \times 1000) + 0.3 \times \text{Cemento} / (1000)$$

Despejando se tiene:

$$\text{Cemento} = 367.438 \text{ Kg/m}^3$$

7. Cantidad de Agua de Diseño

A partir de la relación A/C y despejando se tiene:

$$\text{Agua} = 110.231 \text{ Kg/m}^3$$

La aplicación del Nanosílíce se considerará el 1% del peso del cemento. (1000ml por 100kg de cemento)

$$\text{Agua} = 110.231 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cemento} = 367.436667 \text{ Kg/m}^3$$

8. Cantidad de Agregado Fino: Método Volúmenes Absolutos

$$\text{Volumen Abs. de Cemento } V_c = 367.436666666667 / (3.1) = 0.117768 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. Agua } V_w = 110.231 / 1000 = 0.110231 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Grueso } V_{ag} = 1385.582 / (2.249 \times 1000) = 0.616088 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Aire } V_{aire} = 12.34 / 100 = \underline{0.123400 \text{ m}^3}$$

$$\text{Total de Volumen Abs. } V = V_c + V_w + V_{ag} + V_{aire} = 0.967487 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el Volumen Abs. De Agregado Fino:

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Fino } V_a f = 1 - 0.967487 = 0.032513 \text{ m}^3$$

$$\text{Cantidad de Agregado Fino Seco} = 0.032513 \times 2.538 \times 1000 = 82.518 \text{ Kg}$$

$$\text{Cantidad de Agregado Fino S.S.S} = 82.518 \times (1 + 1.76 / 100) = 83.97 \text{ Kg}$$

9. Pesos Secos de Materiales para 1m³ de concreto

Agua de Mezclado =	110.231 lts
Cemento =	367.436667 kg
Agregado fino =	82.518 kg
Agregado Grueso =	1385.582 kg
Total =	1945.76767 kg

10. Corrección por Humedad

- Para el Agregado Fino

$$82.518 \times (1 + (9.31) / 100) = 90.2 \text{ Kg/m}^3$$

- Para el Agregado Grueso

$$1385.582 \times (1 + (3.94) / 100) = 1440.17 \text{ Kg/m}^3$$

- Agua Efectiva

$$110.231 - 82.518 \times (9.31 - 1.76) / 100 - 1385.582 \times (3.94 - 5.25) / 100 = 122.15 \text{ lts}$$

11. Cantidad de Materiales por m³ de concreto corregidos por humedad

Agua de Mezclado =	122.15 lts
Cemento =	367.44 kg
Agregado fino =	90.2 kg
Agregado Grueso =	1440.170 kg
Total =	2019.95667 kg

$$\text{Aditivo (1\% de peso de cemento)} = 3.67 \text{ kg}$$

12. Determinación del proporcionamiento de los materiales

- Proporcionamiento en peso:

$$\frac{367.44}{367.44} : \frac{90.2}{367.44} : \frac{1440.170}{367.44} / \frac{122.15}{367.44} \times 42.5 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.25 : 3.92 : 14.13 \text{ lts / bolsa}$$

- Proporcionamiento en volumen aparente:

Cemento

$$367.436666666667 / 42.5 = 8.65 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Fino

$$(90.2 \times 35.315) / (1693.84 \times (1 + 9.31 / 100)) = 1.72 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Grueso

$$(1440.17 \times 35.315) / (1294.61 \times (1 + 3.94 / 100)) = 37.8 \text{ pie}^3$$

$$\frac{8.65}{8.65} : \frac{1.72}{8.65} : \frac{37.80}{8.65} / 14.13 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.2 : 4.37 : 14.13 \text{ lts / bolsa}$$

13. Mezcla de prueba en laboratorio

- Calculo de Volmen para 3 Especímenes Cilíndricos

Dimensiones de Testigos Cilíndricos

$$\text{Diámetro Promedio } D = 0.154 \text{ m}$$

$$\text{Altura Promedio } h = 0.304 \text{ m}$$

$$\text{Desperdicios} = 1.07$$

$$\text{N° de testigos} = 3$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi D^2) \times h}{4} \times 1.07$$

$$\text{Reemplazando tenemos: } 0.018177$$

$$\text{Aproximado } V = 0.020 \text{ m}^3$$

Materiales corregidos por humedad para especímenes ($V = 0.02 \text{ m}^3$)

Agua de Mezclado =	$122.15 \times 0.02 =$	2.443	Its
Cemento =	$367.436666666667 \times 0.02 =$	7.349	kg
Agregado fino =	$90.2 \times 0.02 =$	1.804	kg
Agregado Grueso =	$1440.17 \times 0.02 =$	28.803	kg
Total =		40.399	kg

$$\text{Aditivo (1\% de peso de cemento)} = 1\% \times 7.349 = 0.07 \text{ kg}$$

A. PRIMER AJUSTE DE MEZCLA DE PRUEBA**1. Datos de la Prueba de Laboratorio obtenidos:**

- Asentamiento	0"
- Agua adicional	0.240 Its
- Peso Unitario del Concreto Fresco	1899.25 Kg/m ³

2. Materiales corregidos por humedad para 3 especímenes ($V = 0.020 \text{ m}^3$):

Agua de Mezclado =	$122.15 \times 0.02 + 0.24 =$	2.683	Its
Cemento =	$367.436666666667 \times 0.02 =$	7.349	kg
Agregado fino =	$90.2 \times 0.02 =$	1.804	kg
Agregado Grueso =	$1440.17 \times 0.02 =$	28.803	kg
Total =		40.639	kg

3. Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = (40.639 / 1899.25) = 0.0213973937$$

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =	=	2.683	Its
Aporte de agregado fino =	$82.518 \times 0.02 \times (9.31 - 1.76) / 100 =$	0.1246	Its
Aporte de agregado grueso =	$1385.582 \times 0.02 \times (3.94 - 5.25) / 100 =$	-0.363	Its
Agua de mezcla por tanda =	=	2.4446	Its

La cantidad de agua de mezcla requerido por m³ con el mismo asentamiento de la mezcla de prueba será:

$$\text{Agua de mezclado por m}^3 = 2.4446 / 0.0213973937 = 114.25 \text{ Its/m}^3$$

5. De la relacion a/c inicial se tiene:

$$a/c = 0.3$$

El incremento de agua de mezclado obtenido en la mezcla de prueba, se obtendra el nuevo contenido de cemento:

$$\text{Cantidad de cemento} = 114.25 / 0.3 = 380.83 \text{ Kg/m}^3$$

6. Peso del Agregado Grueso - Teniendo en cuenta la consistencia Seca:

Se tiene inicialmente la relacion

$$b / b_0 = 0.978$$

$$\text{Peso del Agregado Grueso Humedo} = 28.803 / 0.0213973937 = 1346.099 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso del Agregado Grueso Seco} = 1346.099 / (1 + 3.94 / 100) = 1295.073 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado Grueso Superficialmente Seco} = 1295.073 \times (1 + 5.25 / 100) = 1363.064 \text{ Kg}$$

7. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacios en la mezcla de ensayo inicial se tiene

$$\text{Volumen Abs. de Cemento } V_c = 7.349 / (3.12 \times 1000) = 0.002355 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. Agua } V_w = 2.4446 / 1000 = 0.002445 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Grueso} = 1295.073 / (2.249 \times 1000) \times 0.02 = 0.011517 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Fino} = 82.518 / (2.538 \times 1000) \times 0.02 = 0.000650 \text{ m}^3$$

$$\text{Total de Volumen Abs.} = \underline{\underline{0.016967 \text{ m}^3}}$$

$$\text{Por lo tanto el \% de vacios} = (0.0213973937 - 0.016967) / 0.0213973937 \times 100$$

$$\% \text{ de vacios} = 20.71 \%$$

8. Volúmenes absolutos de materiales corregidos

Establecidos las proporciones de todos los componentes del concreto, excepto del agregado fino la determinación de las cantidades ajustadas por m³, puede ser completado como sigue:

$$\text{Volumen Abs. de Cemento } V_c = 380.83 / (3.12 \times 1000) = 0.122061 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. Agua } V_w = 114.25 / 1000 = 0.114250 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Grueso} = 1295.073 / (2.249 \times 1000) = 0.575844 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Vacios} = 12.34 / 100 = 0.123400 \text{ m}^3$$

$$\text{Total de Volumen Abs. Sin agregado fino} = \underline{\underline{0.935555 \text{ m}^3}}$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Fino} = (1 - 0.935555) = 0.064445 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso seco de Agregado Fino} = 0.064445 \times 2538 = 163.561 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso humedo de Agregado Fino} = 163.561 \times (1 + (9.31 / 100)) = 178.789 \text{ Kg}$$

9. Los pesos ajustados por m³ de concreto corregidos por humedad seran:

- Agua Efectiva

$$114.25 - 163.561 \times (9.31 - 1.76) / 100 - 178.789 \times (3.94 - 5.25) / 100 = 118.87 \text{ lts}$$

$$\text{Agua de Mezclado} = 118.87 \text{ lts}$$

$$\text{Cemento} = 380.83 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado fino} = 178.789 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1346.099 \text{ kg}$$

$$\text{Total} = \underline{\underline{2024.588 \text{ kg}}}$$

$$\text{Aditivo (1\% de peso de cemento)} = 3.81 \text{ ml}$$

10. Determinación del proporcionamiento de los materiales

- Proporcionamiento en peso:

$$\frac{380.83}{380.83} : \frac{178.789}{380.83} : \frac{1346.099}{380.83} / \frac{118.87}{380.83} \times 42.5 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.47 : 3.53 : 13.27 \text{ lts / bolsa}$$

- Proporcionamiento en volumen aparente:

Cemento

$$380.83 / 42.5 = 8.96 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Fino

$$(178.789 \times 35.315) / (1693.84 \times (1 + 9.31 / 100)) = 3.41 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Grueso

$$(1346.099 \times 35.315) / (1294.61 \times (1 + 3.94 / 100)) = 35.33 \text{ pie}^3$$

$$\frac{8.96}{8.96} : \frac{3.41}{8.96} : \frac{35.33}{8.96} / 13.27 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.38 : 3.94 : 13.27 \text{ lts / bolsa}$$

11. Mezcla de prueba en laboratorio

- Calculo de Volmen para 3 Especímenes Cilíndricos

Dimensiones de Testigos Cilíndricos

$$\text{Diámetro Promedio } D = 0.154 \text{ m}$$

$$\text{Altura Promedio } h = 0.304 \text{ m}$$

$$\text{Desperdicios} = 1.07$$

$$\text{N}^\circ \text{ de testigos} = 3$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi D^2) \times h}{4} \times 1.07$$

$$\text{Reemplazando tenemos: } 0.018177$$

$$\text{Aproximado } V = 0.020 \text{ m}^3$$

Materiales corregidos por humedad para especímenes ($V = 0.02 \text{ m}^3$)

Agua de Mezclado =	$118.87 \times 0.02 =$	2.377	lts
Cemento =	$380.83 \times 0.02 =$	7.617	kg
Agregado fino =	$178.789 \times 0.02 =$	3.576	kg
Agregado Grueso =	$1346.099 \times 0.02 =$	26.922	kg
Total =		40.492	kg

$$\text{Aditivo (1\% de peso de cemento)} = 1\% \times 7.617 = 0.076 \text{ kg}$$

B. SEGUNDO AJUSTE DE MEZCLA DE PRUEBA**1. Datos de la Prueba de Laboratorio obtenidos:**

- Asentamiento	0"
- Agua adicional	0.030 lts
- Peso Unitario del Concreto Fresco	1919.49 Kg/m ³

2. Materiales corregidos por humedad para 3 especímenes ($V = 0.020 \text{ m}^3$):

Agua de Mezclado =	$118.87 \times 0.02 + 0.03 =$	2.407	lts
Cemento =	$380.83 \times 0.02 =$	7.617	kg
Agregado fino =	$178.789 \times 0.02 =$	3.576	kg
Agregado Grueso =	$1346.099 \times 0.02 =$	26.922	kg
Total =		40.522	kg

3. Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = (40.522 / 1968.87) = 0.0211108159$$

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =		=	2.407	lts
Aporte de agregado fino =	$163.561 \times 0.02 \times (9.31 - 1.76) / 100$	=	0.247	lts
Aporte de agregado grueso =	$1295.073 \times 0.02 \times (3.94 - 5.25) / 100$	=	-0.3393	lts
Agua de mezcla por tanda =		=	<u>2.3147</u>	lts

La cantidad de agua de mezcla requerido por m^3 con el mismo asentamiento de la mezcla de prueba será:

$$\text{Agua de mezclado por } \text{m}^3 = 2.3147 / 0.0211108159 = 109.65 \text{ lts/m}^3$$

5. De la relacion a/c inicial se tiene:

$$a/c = 0.3$$

El incremento de agua de mezclado obtenido en la mezcla de prueba, se obtendrá el nuevo contenido de cemento:

$$\text{Cantidad de cemento} = 109.65 / 0.3 = 365.5 \text{ Kg/m}^3$$

6. Teniendo en cuenta del primer ajuste - consistencia seca

Peso del Agregado Grueso Humedo =	$26.922 / 0.0211108159$	=	1275.270	Kg
Peso del Agregado Grueso Seco =	$1275.27 / (1 + 3.94 / 100)$	=	1226.929	Kg
Agregado Grueso Superficialmente Seco =	$1226.929 \times (1 + 5.25 / 100)$	=	1291.343	Kg

7. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacíos en la mezcla de ensayo inicial se tiene

Volumen Abs. de Cemento V_c =	$7.617 / (3.12 \times 1000)$	=	0.002441	m^3
Volumen Abs. Agua V_w =	$2.3147 / 1000$	=	0.002315	m^3
Volumen Abs. de Agregado Grueso =	$1226.929 / (2.249 \times 1000) \times 0.02$	=	0.010911	m^3
Volumen Abs. de Agregado Fino =	$163.561 / (2.538 \times 1000) \times 0.02$	=	0.001289	m^3
Total de Volumen Abs.		=	<u>0.016956</u>	m^3

Por lo tanto el % de vacíos = $(0.0211108159 - 0.016956) / 0.0211108159 \times 100$

$$\% \text{ de vacíos} = 19.68 \%$$

8. Volúmenes absolutos de materiales corregidos

Establecidos las proporciones de todos los componentes del concreto, excepto del agregado fino la determinación de las cantidades ajustadas por m³, puede ser completado como sigue:

Volumen Abs. de Cemento V _c =	365.5 / (3.12 x 1000)	=	0.117147 m ³
Volumen Abs. Agua V _w =	109.65 / 1000	=	0.109650 m ³
Volumen Abs. de Agregado Grueso =	1226.929 / (2.249 x 1000)	=	0.545544 m ³
Volumen Abs. de Vacíos =	12.34 / 100	=	0.123400 m ³
Total de Volumen Abs. Sin agregado fino		=	0.895741 m³
Volumen Abs. de Agregado Fino =	(1 - 0.895741)	=	0.104259 m ³
Peso seco de Agregado Fino =	0.104259 x 2538	=	264.609 Kg
Peso húmedo de Agregado Fino =	264.609 x (1 + (9.31 / 100))	=	289.244 Kg

9. Los pesos ajustados por m³ de concreto corregidos por humedad serán:

$$\text{- Agua Efectiva} \\ 109.65 - 264.609 \times (9.31 - 1.76) / 100 - 1226.929 \times (3.94 - 5.25) / 100 = 105.74 \text{ lts}$$

Agua de Mezclado =	105.74 lts
Cemento =	365.50 kg
Agregado fino =	289.244 kg
Agregado Grueso =	1275.270 kg
Total =	2035.754 kg

$$\text{Aditivo (1\% de peso de cemento)} = 3.66 \text{ ml}$$

10. Determinación del proporcionamiento de los materiales

- Proporcionamiento en peso:

$$\frac{365.50}{365.50} : \frac{289.244}{365.50} : \frac{1275.270}{365.50} / \frac{105.74}{365.50} \times 42.5 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.79 : 3.49 : 12.3 \text{ lts / bolsa}$$

- Proporcionamiento en volumen aparente:

Cemento

$$365.5 / 42.5 = 8.6 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Fino

$$(289.244 \times 35.315) / (1693.84 \times (1 + 9.31 / 100)) = 5.52 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Grueso

$$(1275.27 \times 35.315) / (1294.61 \times (1 + 3.94 / 100)) = 33.47 \text{ pie}^3$$

$$\frac{8.60}{8.60} : \frac{5.52}{8.60} : \frac{33.47}{8.60} / 12.3 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.64 : 3.89 : 12.3 \text{ lts / bolsa}$$

11. Mezcla de prueba en laboratorio

- Calculo de Volmen para 3 Especímenes Cilíndricos

Dimensiones de Testigos Cilíndricos

$$\text{Diámetro Promedio } D = 0.154 \text{ m}$$

$$\text{Altura Promedio } h = 0.304 \text{ m}$$

$$\text{Desperdicios} = 1.07$$

$$\text{N° de testigos} = 3$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi D^2) \times h}{4} \times 1.07$$

$$\text{Reemplazando tenemos: } 0.018177$$

$$\text{Aproximado } V = 0.020 \text{ m}^3$$

Materiales corregidos por humedad para especímenes ($V = 0.02 \text{ m}^3$)

Agua de Mezclado =	$105.74 \times 0.02 =$	2.115	lts
Cemento =	$365.5 \times 0.02 =$	7.31	kg
Agregado fino =	$289.244 \times 0.02 =$	5.785	kg
Agregado Grueso =	$1275.27 \times 0.02 =$	25.505	kg
Total =		40.715	kg

$$\text{Aditivo (1\% de peso de cemento)} = 1\% \times 7.31 = 73.100 \text{ ml}$$

C. VERIFICACION DE MEZCLA DE PRUEBA**1. Datos de la Prueba de Laboratorio obtenidos:**

- Asentamiento	0"
- Agua adicional	0.000 lts
- Peso Unitario del Concreto Fresco	1942.33 Kg/m ³

2. Materiales corregidos por humedad para 3 especímenes ($V = 0.020 \text{ m}^3$):

Agua de Mezclado =	$105.74 \times 0.02 + 0 =$	2.115	lts
Cemento =	$365.5 \times 0.02 =$	7.31	kg
Agregado fino =	$289.244 \times 0.02 =$	5.785	kg
Agregado Grueso =	$1275.27 \times 0.02 =$	25.505	kg
Total =		40.715	kg

3. Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = (40.715 / 1942.33) = 0.0209619375$$

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =	=	2.115	lts
Aporte de agregado fino =	$264.609 \times 0.02 \times (9.31 - 1.76) / 100$	=	0.3996 lts
Aporte de agregado grueso =	$1226.929 \times 0.02 \times (3.94 - 5.25) / 100$	=	-0.3215 lts
Agua de mezcla por tanda =	=	2.1931	lts

La cantidad de agua de mezcla requerido por m³ con el mismo asentamiento de la mezcla de prueba será:

$$\text{Agua de mezclado por m}^3 = 2.1931 / 0.0209619375 = 104.62 \text{ lts/m}^3$$

5. De la relacion a/c inicial se tiene:

$$a/c = 0.3$$

El incremento de agua de mezclado obtenido en la mezcla de prueba, se obtendra el nuevo contenido de cemento:

$$\text{Cantidad de cemento} = 104.62 / 0.3 = 348.73 \text{ Kg/m}^3$$

6. Teniendo en cuenta del primer ajuste - consistencia seca

$$\text{Peso del Agregado Grueso Humedo} = 25.505 / 0.0209619375 = 1216.729 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso del Agregado Grueso Seco} = 1216.729 / (1 + 3.94 / 100) = 1170.607 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado Grueso Superficialmente Seco} = 1170.607 \times (1 + 5.25 / 100) = 1232.064 \text{ Kg}$$

7. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacios en la mezcla de ensayo inicial se tiene

$$\text{Volumen Abs. de Cemento } V_c = 7.31 / (3.12 \times 1000) = 0.002343 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. Agua } V_w = 2.1931 / 1000 = 0.002193 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Grueso} = 1170.607 / (2.249 \times 1000) \times 0.02 = 0.010410 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Fino} = 264.609 / (2.538 \times 1000) \times 0.02 = 0.002085 \text{ m}^3$$

$$\text{Total de Volumen Abs.} = \underline{\underline{0.017031 \text{ m}^3}}$$

$$\text{Por lo tanto el \% de vacios} = (0.0209619375 - 0.017031) / 0.0209619375 \times 100$$

$$\% \text{ de vacios} = 18.75 \%$$

- De la ACI 522 Apéndice 7, Grafico A. 7.5.2. Contenido de Vacios vs Permeabilidad

$$\text{Para una el } 18.75 \% \text{ de vacios se tiene una percolación} = 93.75 \text{ mm/s}$$

Apéndice V: Diseño de mezclas II-IP-AG-AF-AN-FPM

DISEÑO DE MEZCLA II-IP-AG-AF-AN-FPM

MÉTODO DEL COMITÉ ACI 522-10

1. Propiedades de los materiales

1.1. Agregados

CARACTERÍSTICA DEL AGREGADO	FINO	GRUESO	UNIDAD
Peso Especifico de Masa	2.538	2.249	gr/cm ³
Peso Especifico de Masa Saturada con Superficie Seca	2.582	2.368	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto Seco	1693.84	1294.61	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado Seco	1814.330	1416.75	Kg/m ³
Contenido de Humedad	9.31	3.94	%
Absorción	1.76	5.25	%
Modulo de Finura	2.99	6.89	
Tamaño Máximo Nominal	3/4		
Partículas < Tamiz N° 200	2.67	0.65	

1.2. Cemento

CEMENTO PACASMAYO	Portland ASTM TIPO	UNIDAD
Peso Especifico de Masa	3.12	gr/cm ³

1.3. Agua

Potable - UNC (Universidad Nacional de Cajamarca)

2. Características del Concreto

Los datos son las mismas de la etapa I:

2.1. Resistencia a Compresión

$$f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

2.2. Resistencia Promedio

$$f_{cr} = 252 \text{ Kg/cm}^2$$

2.3. Relación A/C

$$\text{Asumimos } a/c = 0.3$$

3. Procedimiento

Partiendo del sieño II-IP-AG-AF-AN, se añadirá 9 kg de fibra de polipropileno macrosintética por m³, para mejorar su comportamiento estructural.

De los pesos ajustados por m³ de concreto corregidos por humedad tenemos:

Agua de Mezclado =	105.740	lts
Cemento =	365.500	kg
Agregado fino =	289.244	kg
Agregado Grueso =	1275.270	kg
Total =	2035.754	kg

Peso de fibra de polipropileno: 9.000 kg

Porcentaje de fibras por m³: 0.44 %

Aditivo Nanosílice: 7.31 kg (2% del peso del cemento)

Peso seco de los agregados

Peso del agregado fino seco $289.244 / (1 + (9.31 / 100)) = 264.609$ Kg

Peso del agregado grueso seco $1275.27 / (1 + (3.94 / 100)) = 1226.929$ Kg

C. VERIFICACION DE MEZCLA DE PRUEBA

1. Datos de la Prueba de Laboratorio obtenidos:

- Asentamiento	0"
- Agua adicional	0.000 lts
- Peso Unitario del Concreto Fresco	1970.19 Kg/m ³

2. Materiales corregidos por humedad para 3 especímenes (V = 0.020 m³):

Agua de Mezclado =	$105.74 \times 0.02 + 0 =$	2.115	lts
Cemento =	$365.5 \times 0.02 =$	7.31	kg
Agregado fino =	$289.244 \times 0.02 =$	5.785	kg
Agregado Grueso =	$1275.27 \times 0.02 =$	25.505	kg
Total =		40.715	kg

3. Rendimiento de la mezcla

Rendimiento = $(40.715 / 1970.19) = 0.0206655196$

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =		=	2.115	lts
Aporte de agregado fino =	$264.609 \times 0.02 \times (9.31 - 1.76) / 100$	=	0.3996	lts
Aporte de agregado grueso =	$1226.929 \times 0.02 \times (3.94 - 5.25) / 100$	=	-0.3215	lts
Agua de mezcla por tanda =		=	<u>2.1931</u>	lts

La cantidad de agua de mezcla requerido por m³ con el mismo asentamiento de la mezcla de prueba será:

Agua de mezclado por m³ = $2.1931 / 0.0206655196 = 106.12$ lts/m³

5. De la relacion a/c inicial se tiene:

a/c = 0.3

El incremento de agua de mezclado obtenido en la mezcla de prueba, se obtendrá el nuevo contenido de cemento:

Cantidad de cemento = $106.12 / 0.3 = 353.73$ Kg/m³

6. Teniendo en cuenta del primer ajuste - consistencia seca

$$\begin{aligned} \text{Peso del Agregado Grueso Humedo} &= 25.505 / 0.0206655196 = 1234.181 \text{ Kg} \\ \text{Peso del Agregado Grueso Seco} &= 1234.181 / (1 + 3.94 / 100) = 1187.398 \text{ Kg} \\ \text{Agregado Grueso Superficialmente Seco} &= 1187.398 \times (1 + 5.25 / 100) = 1249.736 \text{ Kg} \end{aligned}$$

7. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacios en la mezcla de ensayo inicial se tiene

$$\begin{aligned} \text{Volumen Abs. de Cemento } V_c &= 7.31 / (3.12 \times 1000) = 0.002343 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen Abs. Agua } V_w &= 2.1931 / 1000 = 0.002193 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen Abs. de Agregado Grueso} &= 1187.398 / (2.249 \times 1000) \times 0.02 = 0.010559 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen Abs. de Agregado Fino} &= 264.609 / (2.538 \times 1000) \times 0.02 = 0.002085 \text{ m}^3 \\ \text{Total de Volumen Abs.} &= \underline{\underline{0.017180 \text{ m}^3}} \end{aligned}$$

$$\text{Por lo tanto el \% de vacios} = (0.0206655196 - 0.01718) / 0.0206655196 \times 100$$

$$\% \text{ de vacios} = 16.87 \%$$

- De la ACI 522 Apéndice 7, Grafico A. 7.5.2. Contenido de Vacios vs Permeabilidad

$$\text{Para una el 16.87 \% de vacios se tiene una percolación} = 46.75 \text{ mm/s}$$

Tabla 50: Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste (I-D) detallado

Tipo de Mezcla	N° Ensayo	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (cm)	Tiempo (s)	Tiempo Promedio (s)	Permeabilidad (mm/s)	Permeabilidad Promedio (mm/s)
I-D-1	1	15.00	10.00	22.00	6.68	6.88	27.89	26.95
	2	15.00	10.00	22.00	6.90			
	3	15.00	10.00	22.00	7.07			
I-D-2	1	15.00	10.00	22.00	7.54	7.11	27.00	
	2	15.00	10.00	22.00	6.67			
	3	15.00	10.00	22.00	7.12			
I-D-3	1	15.00	10.00	22.00	7.92	7.36	26.08	
	2	15.00	10.00	22.00	6.47			
	3	15.00	10.00	22.00	7.70			
I-D-4	1	15.00	10.00	22.00	6.70	6.90	27.81	
	2	15.00	10.00	22.00	6.92			
	3	15.00	10.00	22.00	7.09			
I-D-5	1	15.00	10.00	22.00	7.56	7.13	26.93	
	2	15.00	10.00	22.00	6.69			
	3	15.00	10.00	22.00	7.14			
I-D-6	1	15.00	10.00	22.00	7.94	7.38	26.00	
	2	15.00	10.00	22.00	6.49			
	3	15.00	10.00	22.00	7.72			

Tabla 51: Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste adicionado con fibras de polipropileno (I-D-FPM) detallado

Tipo de Mezcla	N° Ensayo	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (cm)	Tiempo (s)	Tiempo Promedio (s)	Permeabilidad (mm/s)	Permeabilidad Promedio (mm/s)
I-D-FPM-1	1	15.00	10.00	22.00	6.10	5.97	32.14	32.05
	2	15.00	10.00	22.00	6.65			
	3	15.00	10.00	22.00	5.17			
I-D-FPM-2	1	15.00	10.00	22.00	6.29	6.23	30.82	
	2	15.00	10.00	22.00	6.55			
	3	15.00	10.00	22.00	5.85			
I-D-FPM-3	1	15.00	10.00	22.00	5.72	5.80	33.12	
	2	15.00	10.00	22.00	6.17			
	3	15.00	10.00	22.00	5.50			
I-D-FPM-4	1	15.00	10.00	22.00	6.09	5.96	32.20	
	2	15.00	10.00	22.00	6.64			
	3	15.00	10.00	22.00	5.16			
I-D-FPM-5	1	15.00	10.00	22.00	6.28	6.22	30.87	
	2	15.00	10.00	22.00	6.54			
	3	15.00	10.00	22.00	5.84			
I-D-FPM-6	1	15.00	10.00	22.00	5.71	5.79	33.18	
	2	15.00	10.00	22.00	6.16			
	3	15.00	10.00	22.00	5.49			

Tabla 52: Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste adicionado con aditivo nanosílice (II-D-AN) detallado

Tipo de Mezcla	N° Ensayo	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (cm)	Tiempo (s)	Tiempo Promedio (s)	Permeabilidad (mm/s)	Permeabilidad Promedio (mm/s)
II-D-AN-1	1	15.00	10.00	22.00	12.20	11.69	16.42	16.74
	2	15.00	10.00	22.00	11.56			
	3	15.00	10.00	22.00	11.31			
II-D-AN-2	1	15.00	10.00	22.00	11.67	11.37	16.89	
	2	15.00	10.00	22.00	10.99			
	3	15.00	10.00	22.00	11.45			
II-D-AN-3	1	15.00	10.00	22.00	11.73	11.35	16.92	
	2	15.00	10.00	22.00	10.89			
	3	15.00	10.00	22.00	11.42			
II-D-AN-4	1	15.00	10.00	22.00	12.21	11.70	16.41	
	2	15.00	10.00	22.00	11.57			
	3	15.00	10.00	22.00	11.32			
II-D-AN-5	1	15.00	10.00	22.00	11.68	11.38	16.87	
	2	15.00	10.00	22.00	11.00			
	3	15.00	10.00	22.00	11.46			
II-D-AN-6	1	15.00	10.00	22.00	11.74	11.36	16.91	
	2	15.00	10.00	22.00	10.90			
	3	15.00	10.00	22.00	11.43			

Tabla 53: Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste adicionado con aditivo nanosilíce y fibras de polipropileno (II-D-AN-FPM) detallado

Tipo de Mezcla	N° Ensayo	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Carga (cm)	Tiempo (s)	Tiempo Promedio (s)	Permeabilidad (mm/s)	Permeabilidad Promedio (mm/s)
II-D-AN-FPM-1	1	15.00	10.00	22.00	6.80	6.59	29.12	28.86
	2	15.00	10.00	22.00	6.15			
	3	15.00	10.00	22.00	6.83			
II-D-AN-FPM-2	1	15.00	10.00	22.00	6.52	6.72	28.56	
	2	15.00	10.00	22.00	7.15			
	3	15.00	10.00	22.00	6.50			
II-D-AN-FPM-3	1	15.00	10.00	22.00	6.20	6.66	28.84	
	2	15.00	10.00	22.00	6.60			
	3	15.00	10.00	22.00	7.17			
II-D-AN-FPM-4	1	15.00	10.00	22.00	6.79	6.58	29.16	
	2	15.00	10.00	22.00	6.14			
	3	15.00	10.00	22.00	6.82			
II-D-AN-FPM-5	1	15.00	10.00	22.00	6.51	6.71	28.60	
	2	15.00	10.00	22.00	7.14			
	3	15.00	10.00	22.00	6.49			
II-D-AN-FPM-6	1	15.00	10.00	22.00	6.19	6.65	28.89	
	2	15.00	10.00	22.00	6.59			
	3	15.00	10.00	22.00	7.16			

Apéndice VI: Peso Unitario del concreto fresco

ACI 552-10 (ETAPA I)									
C-24-01-19 (HP-AG-AF-1)									
N°	P molde (kg)	P molde + mezcla (kg)	P mezcla (kg)	Diametro 1 (m)	Diametro 2 (m)	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Volumen (m ³)	Peso Unitario (kg/m ³)
Probeta 1	8.580	18.458	9.878	0.154	0.152	0.303	0.304	0.00558916	1767.35
Probeta 2	8.594	18.579	9.985	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1763.37
Probeta 3	8.566	18.337	9.771	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1748.21
Promedio del Peso Unitario =									1759.64
Rendimiento =									0.023258166
C-24-01-19 (HP-AG-AF-2)									
N°	P molde (kg)	P molde + mezcla (kg)	P mezcla (kg)	Diametro 1 (m)	Diametro 2 (m)	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Volumen (m ³)	Peso Unitario (kg/m ³)
Probeta 1	8.611	19.663	11.052	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1951.8
Probeta 2	8.625	19.784	11.159	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1970.7
Probeta 3	8.597	19.542	10.945	0.152	0.152	0.304	0.304	0.00551634	1984.11
Promedio del Peso Unitario =									1968.87
Rendimiento =									0.020688517
C-24-01-19 (HP-AG-AF-3)									
N°	P molde (kg)	P molde + mezcla (kg)	P mezcla (kg)	Diametro 1 (m)	Diametro 2 (m)	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Volumen (m ³)	Peso Unitario (kg/m ³)
Probeta 1	8.609	19.466	10.857	0.154	0.152	0.303	0.304	0.00558916	1942.51
Probeta 2	8.647	19.444	10.797	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1906.77
Probeta 3	8.595	19.345	10.750	0.152	0.152	0.304	0.304	0.00551634	1948.76
Promedio del Peso Unitario =									1932.68
Rendimiento =									0.01993553
C-24-01-19 ((HP-AG-AF-3) + FIBRA DE POLIPROPILENO MACROSINTÉTICA (FPM))									
N°	P molde (kg)	P molde + mezcla (kg)	P mezcla (kg)	Diametro 1 (m)	Diametro 2 (m)	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Volumen (m ³)	Peso Unitario (kg/m ³)
Probeta 1	8.658	19.600	10.942	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1932.38
Probeta 2	8.672	19.721	11.049	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1951.27
Probeta 3	8.644	19.479	10.835	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1913.48
Promedio del Peso Unitario =									1932.38
Rendimiento =									0.019938625
C-29-01-19 (HP-AG-AF-3)									
N°	P molde (kg)	P molde + mezcla (kg)	P mezcla (kg)	Diametro 1 (m)	Diametro 2 (m)	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Volumen (m ³)	Peso Unitario (kg/m ³)
Probeta 1	8.507	19.400	10.893	0.153	0.153	0.304	0.304	0.00558916	1948.95
Probeta 2	8.606	19.668	11.062	0.154	0.152	0.303	0.304	0.00558916	1979.19
Probeta 3	8.615	19.548	10.933	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1930.79
Probeta 4	8.706	19.703	10.997	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1942.09
Probeta 5	8.580	19.708	11.128	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1965.22
Probeta 6	11.788	22.850	11.062	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1979.19
Probeta 7	7.314	18.454	11.140	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1967.34
Probeta 8	7.308	18.299	10.991	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1966.49
Probeta 9	8.609	19.603	10.994	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1941.56
Probeta 10	8.507	19.307	10.800	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1932.31
Probeta 11	8.606	19.575	10.969	0.152	0.152	0.304	0.304	0.00551634	1988.46
Probeta 12	8.615	19.455	10.840	0.154	0.152	0.304	0.303	0.00558916	1939.47
Probeta 13	8.706	19.610	10.904	0.155	0.154	0.304	0.304	0.00573623	1900.90
Probeta 14	8.780	19.615	10.835	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1913.48
Probeta 15	11.788	22.757	10.969	0.155	0.155	0.304	0.304	0.00573623	1912.23
Probeta 16	7.314	18.361	11.047	0.155	0.155	0.304	0.304	0.00573623	1925.83
Probeta 17	7.308	18.206	10.898	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1924.61
Probeta 18	8.609	19.510	10.901	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1925.14
Promedio del Peso Unitario =									1943.51

C-29-01-19 ((IP-AG-AF-3) + POLIPROPILENO MACROSINTÉTICA (FPM))

N°	P molde (kg)	P molde + mezcla (kg)	P mezcla (kg)	Diametro 1 (m)	Diametro 2 (m)	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Volumen (m ³)	Peso Unitario (kg/m ³)
Probeta 1	8.408	19.374	10.966	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1936.62
Probeta 2	8.679	19.615	10.936	0.154	0.152	0.303	0.304	0.00558916	1956.65
Probeta 3	7.280	18.201	10.921	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1928.67
Probeta 4	8.611	19.574	10.963	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1936.09
Probeta 5	7.938	18.860	10.922	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1928.84
Probeta 6	7.091	17.963	10.872	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1945.19
Probeta 7	8.824	19.839	11.015	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1945.27
Probeta 8	8.660	19.665	11.005	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1968.99
Probeta 9	9.115	19.930	10.815	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1909.95
Probeta 10	8.308	19.281	10.973	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1963.27
Probeta 11	8.679	19.522	10.843	0.152	0.152	0.304	0.304	0.00551634	1965.62
Probeta 12	7.280	18.108	10.828	0.154	0.152	0.304	0.303	0.00558916	1937.32
Probeta 13	8.611	19.481	10.870	0.155	0.154	0.304	0.304	0.00573623	1894.97
Probeta 14	7.838	18.767	10.929	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1930.08
Probeta 15	6.991	17.870	10.879	0.155	0.155	0.304	0.304	0.00573623	1896.54
Probeta 16	8.724	19.746	11.022	0.155	0.155	0.304	0.304	0.00573623	1921.47
Probeta 17	8.660	19.572	10.912	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1927.08
Probeta 18	8.915	19.837	10.922	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1928.84
Promedio del Peso Unitario =									1934.53

ACI 552-10 (ETAPA II)**C-24-01-19 (II-IP-AG-AF-1-AN), AN (ADITIVO NANOSÍLICE)**

N°	P molde (kg)	P molde + mezcla (kg)	P mezcla (kg)	Diametro 1 (m)	Diametro 2 (m)	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Volumen (m³)	Peso Unitario (kg/m³)
Probeta 1	7.308	17.905	10.597	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1895.99
Probeta 2	7.322	18.105	10.783	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1929.27
Probeta 3	7.294	18.035	10.741	0.155	0.155	0.304	0.304	0.00573623	1872.48

Promedio del Peso Unitario = **1899.25**

Rendimiento = 0.021397394

C-24-01-19 (II-IP-AG-AF-2-AN)

N°	P molde (kg)	P molde + mezcla (kg)	P mezcla (kg)	Diametro 1 (m)	Diametro 2 (m)	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Volumen (m³)	Peso Unitario (kg/m³)
Probeta 1	8.595	19.390	10.795	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1931.42
Probeta 2	8.609	19.190	10.581	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1893.13
Probeta 3	8.581	19.390	10.809	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1933.92

Promedio del Peso Unitario = **1919.49**

Rendimiento = 0.021110816

C-24-01-19 (II-IP-AG-AF-3-AN)

N°	P molde (kg)	P molde + mezcla (kg)	P mezcla (kg)	Diametro 1 (m)	Diametro 2 (m)	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Volumen (m³)	Peso Unitario (kg/m³)
Probeta 1	8.507	19.378	10.871	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1945.02
Probeta 2	8.612	19.524	10.912	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1952.35
Probeta 3	8.493	19.278	10.785	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1929.63

Promedio del Peso Unitario = **1942.33**

Rendimiento = 0.020961937

C-24-01-19 (DISEÑO SEGUNDO REAJUSTE (II-IP-AG-AF-3-AN) + FIBRA DE POLIPROPILENO MACROSINTÉTICA (FPM))

N°	P molde (kg)	P molde + mezcla (kg)	P mezcla (kg)	Diametro 1 (m)	Diametro 2 (m)	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Volumen (m³)	Peso Unitario (kg/m³)
Probeta 1	8.617	19.580	10.963	0.153	0.153	0.304	0.304	0.00558916	1961.48
Probeta 2	8.631	19.701	11.070	0.152	0.152	0.304	0.304	0.00551634	2006.77
Probeta 3	8.603	19.459	10.856	0.153	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1942.33

Promedio del Peso Unitario = **1970.19**

Rendimiento = 0.02066552

C-30-01-19 (II-IP-AG-AF-3-AN), AN (ADITIVO NANOSÍLICE)

N°	P molde (kg)	P molde + mezcla (kg)	P mezcla (kg)	Diametro 1 (m)	Diametro 2 (m)	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Volumen (m³)	Peso Unitario (kg/m³)
Probeta 1	8.908	19.872	10.964	0.152	0.153	0.301	0.301	0.0055340	1981.21
Probeta 2	8.479	19.203	10.724	0.152	0.152	0.301	0.301	0.0054619	1963.42
Probeta 3	7.780	18.569	10.789	0.152	0.152	0.302	0.301	0.0054800	1968.78
Probeta 4	8.606	19.426	10.820	0.152	0.152	0.301	0.301	0.0054619	1981.00
Probeta 5	7.938	18.654	10.716	0.152	0.152	0.301	0.301	0.0054619	1961.96
Probeta 6	7.091	18.000	10.909	0.154	0.152	0.301	0.301	0.0055340	1971.27
Probeta 7	8.624	19.458	10.834	0.154	0.153	0.302	0.302	0.0056252	1925.97
Probeta 8	8.160	19.154	10.994	0.154	0.154	0.301	0.301	0.0056066	1960.91
Probeta 9	8.615	19.371	10.756	0.154	0.153	0.301	0.301	0.0056066	1918.46
Probeta 10	9.108	19.965	10.857	0.154	0.152	0.301	0.301	0.0055340	1961.87
Probeta 11	8.379	19.296	10.917	0.152	0.152	0.301	0.301	0.0054619	1998.76
Probeta 12	7.780	18.662	10.882	0.154	0.152	0.301	0.301	0.0055340	1966.39
Probeta 13	8.611	19.519	10.908	0.155	0.154	0.301	0.301	0.0056796	1920.55
Probeta 14	7.838	18.747	10.909	0.152	0.154	0.301	0.301	0.0055340	1971.27
Probeta 15	7.191	18.093	10.902	0.152	0.152	0.301	0.301	0.0054619	1996.01
Probeta 16	8.724	19.551	10.827	0.152	0.152	0.301	0.301	0.0054619	1982.28
Probeta 17	8.460	19.247	10.787	0.152	0.154	0.301	0.301	0.0055340	1949.22
Probeta 18	8.615	19.464	10.849	0.154	0.154	0.301	0.301	0.0056066	1935.05

Promedio del Peso Unitario = **1961.91**

C-30-01-19 (DISEÑO SEGUNDO REAJUSTE (II-IP-AG-AF-3-AN) + FIBRA DE POLIPROPILENO MACROSINTÉTICA (FPM))

N°	P molde (kg)	P molde + mezcla (kg)	P mezcla (kg)	Diametro 1 (m)	Diametro 2 (m)	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Volumen (m ³)	Peso Unitario (kg/m ³)
Probeta 1	8.007	19.243	11.236	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1984.30
Probeta 2	7.911	18.961	11.050	0.154	0.152	0.303	0.304	0.00558916	1977.04
Probeta 3	8.415	19.413	10.998	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1942.27
Probeta 4	7.906	18.988	11.082	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1957.10
Probeta 5	8.080	19.032	10.952	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1934.14
Probeta 6	11.288	22.494	11.206	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	2004.95
Probeta 7	6.614	17.690	11.076	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1956.04
Probeta 8	7.308	18.390	11.082	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1982.77
Probeta 9	7.609	18.769	11.160	0.154	0.153	0.304	0.304	0.00566246	1970.88
Probeta 10	8.007	19.150	11.143	0.154	0.152	0.304	0.304	0.00558916	1993.68
Probeta 11	7.806	18.868	11.062	0.152	0.152	0.304	0.304	0.00551634	2005.32
Probeta 12	8.115	19.320	11.205	0.154	0.152	0.304	0.303	0.00558916	2004.77
Probeta 13	7.706	18.895	11.189	0.155	0.154	0.304	0.304	0.00573623	1950.58
Probeta 14	7.780	18.939	11.159	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1970.70
Probeta 15	11.288	22.401	11.113	0.155	0.155	0.304	0.304	0.00573623	1937.33
Probeta 16	6.614	17.597	10.983	0.155	0.155	0.304	0.304	0.00573623	1914.67
Probeta 17	7.308	18.297	10.989	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1940.68
Probeta 18	7.609	18.676	11.067	0.154	0.154	0.304	0.304	0.00566246	1954.45

Promedio del Peso Unitario = 1965.65

Apéndice VII: Resistencia a compresión de pruebas patrones

C-24-01-19 (I-IP-AG-AF-1)				24-Ene	C-24-01-19 (II-IP-AG-AF-1-AN), AN (ADITIVO NANOSÍLICE)				24-Ene
Nomenclatura	CARGA	Area	f'c		Nomenclatura	CARGA	Area	f'c	
I-IP-AG-AF-1-1	10.80	179.08	60.31		II-IP-AG-AF-1-AN-1	10.50	179.08	58.63	
I-IP-AG-AF-1-2	12.50	179.08	69.80		II-IP-AG-AF-1-AN-2	12.60	179.08	70.36	
I-IP-AG-AF-1-3	11.00	179.08	61.43		II-IP-AG-AF-1-AN-3	12.00	179.08	67.01	
Esfuerzo promedio 63.85 kg/cm ²					Esfuerzo promedio 65.33 kg/cm ²				
C-24-01-19 (I-IP-AG-AF-2)				24-Ene	C-24-01-19 (II-IP-AG-AF-2-AN)				24-Ene
Nomenclatura	CARGA	Area	f'c		Nomenclatura	CARGA	Area	f'c	
I-IP-AG-AF-2-1	19.80	179.08	110.57		II-IP-AG-AF-2-AN-1	20.50	179.08	114.47	
I-IP-AG-AF-2-2	17.90	179.08	99.96		II-IP-AG-AF-2-AN-2	24.00	179.08	134.02	
I-IP-AG-AF-2-3	18.50	179.08	103.31		II-IP-AG-AF-2-AN-3	23.10	179.08	128.99	
Esfuerzo promedio 104.61 kg/cm ²					Esfuerzo promedio 125.83 kg/cm ²				
C-24-01-19 (I-IP-AG-AF-3)				24-Ene	C-24-01-19 (II-IP-AG-AF-3-AN)				24-Ene
Nomenclatura	CARGA	Area	f'c		Nomenclatura	CARGA	Area	f'c	
I-IP-AG-AF-3-1	21.50	179.08	120.06		II-IP-AG-AF-3-AN-1	25.60	179.08	142.95	
I-IP-AG-AF-3-2	20.00	179.08	111.68		II-IP-AG-AF-3-AN-2	24.80	179.08	138.49	
I-IP-AG-AF-3-3	19.40	179.08	108.33		II-IP-AG-AF-3-AN-3	25.90	179.08	144.63	
20.30					25.43				
Esfuerzo promedio 113.36 kg/cm ²					Esfuerzo promedio 142.02 kg/cm ²				
C-24-01-19 ((I-IP-AG-AF-3) + FIBRA DE POLIPROPILENO MACROSINTÉTICA (FPM))				24-Ene	C-24-01-19 (DISEÑO SEGUNDO REAJUSTE (II-IP-AG-AF-3-AN) + FIBRA DE POLIPROPILENO MACROSINTÉTICA (FPM))				24-Ene
Nomenclatura	CARGA	Area	f'c		Nomenclatura	CARGA	Area	f'c	
I-IP-AG-AF-3-FPM-1	23.50	179.08	131.23		II-IP-AG-AF-3-AN-FPM-1	26.90	179.08	150.21	
I-IP-AG-AF-3-FPM-2	22.70	179.08	126.76		II-IP-AG-AF-3-AN-FPM-2	25.50	179.08	142.40	
I-IP-AG-AF-3-FPM-3	24.30	179.08	135.69		II-IP-AG-AF-3-AN-FPM-3	25.80	179.08	144.07	
23.50					26.07				
Esfuerzo promedio 131.23 kg/cm ²					Esfuerzo promedio 145.56 kg/cm ²				

Apéndice VIII: Cálculo de curva Intensidad – Duración – Frecuencia

Tabla 54: Intensidades Máximas
ANÁLISIS POR EL MÉTODO GUMBEL

N°	AÑO	5 min	10 min	30 min	60 min	120 min
1	1980	73.01	60.10	33.80	21.08	9.28
2	1981	67.20	54.80	29.13	15.54	13.02
3	1982	88.29	75.15	37.20	23.10	13.27
4	1983	75.30	50.40	31.40	23.71	13.99
5	1984	112.80	71.80	27.60	15.63	9.80
6	1985	59.30	54.40	25.52	14.70	8.05
7	1986	84.60	65.40	30.11	15.60	8.23
8	1987	76.00	49.20	21.60	13.20	7.95
9	1988	70.40	52.80	23.00	13.79	7.85
10	1989	73.60	47.80	28.08	16.48	9.64
11	1990	111.60	75.00	37.94	23.00	11.53
12	1991	83.00	73.00	41.00	26.00	14.00
13	1992	56.00	39.00	19.00	10.00	5.00
14	1993	58.00	51.00	28.00	18.00	10.00
15	1994	91.49	64.18	36.22	19.04	12.91
16	1995	71.11	56.25	28.66	16.72	9.32
17	1996	80.30	60.25	32.44	17.88	11.12
18	1997	82.20	60.21	35.04	17.86	8.94
19	1998	92.00	68.10	40.60	27.10	13.50
20	1999	81.34	66.34	32.39	19.18	9.81
21	2000	81.69	61.05	32.51	19.26	9.74
22	2001	82.05	61.26	32.63	19.34	9.68
23	2002	82.40	61.47	32.75	19.41	9.62
24	2003	82.76	61.68	32.86	19.49	9.55
25	2004	83.11	62.10	32.98	19.57	9.49
26	2005	83.47	62.31	33.10	19.65	9.42
27	2006	83.82	62.51	33.21	19.72	9.36
28	2007	84.18	62.72	33.33	19.80	9.30
29	2008	67.20	44.40	31.20	19.20	8.40
30	2009	87.60	51.60	38.40	15.60	7.68
31	2010	58.80	45.60	31.20	16.80	7.20
32	2011	85.20	64.80	40.80	19.20	7.80
33	2012	82.80	68.40	43.20	24.00	7.68
34	2013	81.60	69.60	42.00	25.20	8.64
35	2014	68.40	60.00	43.20	20.40	9.84

Estacion: Augusto Weberbauer

Información: Intensidades Máximas

Red Hidrológica: UNC

Latitud: 07°10'

Longitud: 78°30'

Altitud: 2690 m.s.n.m

Departamento: Cajamarca

Provincia: Cajamarca

Distrito: Cajamarca

Tabla 55: Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 5 min

INTENSIDAD DE MÁXIMAS	N° DE ORDEN	P(x) = m / (n+1)	-P(x)	Tr (Años)	F(x)	DELTA
						D= F(x)-P(x)
x=mm/hora	(m)			1/P(x)		
112.80	1	0.0278	0.97	36.00	0.98	0.01
111.60	2	0.0556	0.94	18.00	0.98	0.03
92.00	3	0.0833	0.92	12.00	0.86	0.06
91.49	4	0.1111	0.89	9.00	0.85	0.04
88.29	5	0.1389	0.86	7.20	0.80	0.07
87.60	6	0.1667	0.83	6.00	0.78	0.05
85.20	7	0.1944	0.81	5.14	0.73	0.07
84.60	8	0.2222	0.78	4.50	0.72	0.06
84.18	9	0.2500	0.75	4.00	0.71	0.04
83.82	10	0.2778	0.72	3.60	0.70	0.02
83.47	11	0.3056	0.69	3.27	0.69	0.01
83.11	12	0.3333	0.67	3.00	0.68	0.01
83.00	13	0.3611	0.64	2.77	0.68	0.04
82.80	14	0.3889	0.61	2.57	0.67	0.06
82.76	15	0.4167	0.58	2.40	0.67	0.09
82.40	16	0.4444	0.56	2.25	0.66	0.10
82.20	17	0.4722	0.53	2.12	0.65	0.13
82.05	18	0.5000	0.50	2.00	0.65	0.15
81.69	19	0.5278	0.47	1.89	0.64	0.17
81.60	20	0.5556	0.44	1.80	0.64	0.19
81.34	21	0.5833	0.42	1.71	0.63	0.21
80.30	22	0.6111	0.39	1.64	0.60	0.21
76.00	23	0.6389	0.36	1.57	0.45	0.09
75.30	24	0.6667	0.33	1.50	0.42	0.09
73.60	25	0.6944	0.31	1.44	0.36	0.05
73.01	26	0.7222	0.28	1.38	0.34	0.06
71.11	27	0.7500	0.25	1.33	0.27	0.02
70.40	28	0.7778	0.22	1.29	0.24	0.02
68.40	29	0.8056	0.19	1.24	0.17	0.02
67.20	30	0.8333	0.17	1.20	0.14	0.03
67.20	31	0.8611	0.14	1.16	0.14	0.00
59.30	32	0.8889	0.11	1.13	0.01	0.10
58.80	33	0.9167	0.08	1.09	0.01	0.07
58.00	34	0.9444	0.06	1.06	0.01	0.05
56.00	35	0.9722	0.03	1.03	0.00	0.03
Media	79.50				D MAX =	0.21
Desvestan.	12.50				D 0 =	0.23
α	0.10					
β	73.88					

... OK

Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov. Según Kolmogorov, el máximo valor absoluto resultante de la diferencia entre la función de probabilidad estimada y observada deberá ser menor de un valor crítico que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionada para nuestro caso dicho valor crítico es para un nivel de significancia está dado por:

$$D_0 = 1.36 / (n)^{1/2}$$

Donde:

D: valor crítico
n: número d datos

Para n = 35

$$D_0 = 0.23$$

Tabla 56: Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 10 min

INTENSIDAD DES MÁXIMAS	N° DE ORDEN	P(x) = m / (n+1)	-P(x)	Tr (Años)	F(x)	DELTA
						D = F(x) - P(x)
x=mm/hora	(m)			1/P(x)		
75.15	1	0.0278	0.97	36.00	0.94	0.03
75.00	2	0.0556	0.94	18.00	0.94	0.01
73.00	3	0.0833	0.92	12.00	0.92	0.00
71.80	4	0.1111	0.89	9.00	0.91	0.02
69.60	5	0.1389	0.86	7.20	0.87	0.01
68.40	6	0.1667	0.83	6.00	0.85	0.02
68.10	7	0.1944	0.81	5.14	0.84	0.04
66.34	8	0.2222	0.78	4.50	0.80	0.03
65.40	9	0.2500	0.75	4.00	0.78	0.03
64.80	10	0.2778	0.72	3.60	0.76	0.04
64.18	11	0.3056	0.69	3.27	0.74	0.05
62.72	12	0.3333	0.67	3.00	0.69	0.02
62.51	13	0.3611	0.64	2.77	0.68	0.04
62.31	14	0.3889	0.61	2.57	0.68	0.06
62.10	15	0.4167	0.58	2.40	0.67	0.08
61.68	16	0.4444	0.56	2.25	0.65	0.09
61.47	17	0.4722	0.53	2.12	0.64	0.11
61.26	18	0.5000	0.50	2.00	0.63	0.13
61.05	19	0.5278	0.47	1.89	0.62	0.15
60.25	20	0.5556	0.44	1.80	0.59	0.14
60.21	21	0.5833	0.42	1.71	0.59	0.17
60.10	22	0.6111	0.39	1.64	0.58	0.19
60.00	23	0.6389	0.36	1.57	0.58	0.22
56.25	24	0.6667	0.33	1.50	0.39	0.06
54.80	25	0.6944	0.31	1.44	0.31	0.01
54.40	26	0.7222	0.28	1.38	0.29	0.01
52.80	27	0.7500	0.25	1.33	0.21	0.04
51.60	28	0.7778	0.22	1.29	0.16	0.06
51.00	29	0.8056	0.19	1.24	0.13	0.06
50.40	30	0.8333	0.17	1.20	0.11	0.06
49.20	31	0.8611	0.14	1.16	0.07	0.07
47.80	32	0.8889	0.11	1.13	0.04	0.07
45.60	33	0.9167	0.08	1.09	0.01	0.07
44.40	34	0.9444	0.06	1.06	0.01	0.05
39.00	35	0.9722	0.03	1.03	0.00	0.03
Media	59.85				D MAX =	0.22
Desvestan.	8.84				D 0 =	0.23
α	0.15					
β	55.87					

... OK

Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov. Según Kolmogorov, el máximo valor absoluto resultante de la diferencia entre la función de probabilidad estimada y observada deberá ser menor de un valor crítico que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionada para nuestro caso dicho valor crítico es para un nivel de significancia está dado por:

$$D_0 = 1.36 / (n)^{1/2}$$

Donde:

D: valor crítico
n: número d datos

Para n = 35

$$D_0 = 0.23$$

Tabla 57: Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 30min

INTENSIDAD DE MÁXIMAS	N° DE ORDEN	P(x) = m / (n+1)	-P(x)	Tr (Años)	F(x)	DELTA
						D = F(x) - P(x)
x=mm/hora	(m)			1/P(x)		
43.20	1	0.0278	0.97	36.00	0.94	0.03
43.20	2	0.0556	0.94	18.00	0.94	0.00
42.00	3	0.0833	0.92	12.00	0.93	0.01
41.00	4	0.1111	0.89	9.00	0.91	0.02
40.80	5	0.1389	0.86	7.20	0.90	0.04
40.60	6	0.1667	0.83	6.00	0.90	0.07
38.40	7	0.1944	0.81	5.14	0.84	0.04
37.94	8	0.2222	0.78	4.50	0.83	0.05
37.20	9	0.2500	0.75	4.00	0.80	0.05
36.22	10	0.2778	0.72	3.60	0.76	0.04
35.04	11	0.3056	0.69	3.27	0.70	0.01
33.80	12	0.3333	0.67	3.00	0.63	0.04
33.33	13	0.3611	0.64	2.77	0.60	0.04
33.21	14	0.3889	0.61	2.57	0.59	0.02
33.10	15	0.4167	0.58	2.40	0.58	0.00
32.98	16	0.4444	0.56	2.25	0.58	0.02
32.86	17	0.4722	0.53	2.12	0.57	0.04
32.75	18	0.5000	0.50	2.00	0.56	0.06
32.63	19	0.5278	0.47	1.89	0.55	0.08
32.51	20	0.5556	0.44	1.80	0.54	0.10
32.44	21	0.5833	0.42	1.71	0.54	0.12
32.39	22	0.6111	0.39	1.64	0.53	0.14
31.40	23	0.6389	0.36	1.57	0.46	0.10
31.20	24	0.6667	0.33	1.50	0.44	0.11
31.20	25	0.6944	0.31	1.44	0.44	0.14
30.11	26	0.7222	0.28	1.38	0.36	0.08
29.13	27	0.7500	0.25	1.33	0.28	0.03
28.66	28	0.7778	0.22	1.29	0.24	0.02
28.08	29	0.8056	0.19	1.24	0.20	0.01
28.00	30	0.8333	0.17	1.20	0.19	0.03
27.60	31	0.8611	0.14	1.16	0.17	0.03
25.52	32	0.8889	0.11	1.13	0.06	0.05
23.00	33	0.9167	0.08	1.09	0.01	0.08
21.60	34	0.9444	0.06	1.06	0.00	0.05
19.00	35	0.9722	0.03	1.03	0.00	0.03
Media	32.92					D MAX = 0.14
Desvestan.	5.87					D 0 = 0.23
α	0.22					
β	30.28					

... OK

Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov. Según Kolmogorov, el máximo valor absoluto resultante de la diferencia entre la función de probabilidad estimada y observada deberá ser menor de un valor crítico que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionada para nuestro caso dicho valor crítico es para un nivel de significancia está dado por:

$$D_0 = 1.36 / (n)^{1/2}$$

Donde:

D: valor crítico
n: número de datos

Para n = 35

$$D_0 = 0.23$$

Tabla 58: Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 60 min

INTENSIDAD DE MÁXIMAS	N° DE ORDEN	P(x) = m / (n+1)	-P(x)	Tr (Años)	F(x)	DELTA
						D = F(x) - P(x)
x=mm/hora	(m)			1/P(x)		
27.10	1	0.0278	0.97	36.00	0.97	0.01
26.00	2	0.0556	0.94	18.00	0.95	0.01
25.20	3	0.0833	0.92	12.00	0.94	0.02
24.00	4	0.1111	0.89	9.00	0.91	0.02
23.71	5	0.1389	0.86	7.20	0.90	0.03
23.10	6	0.1667	0.83	6.00	0.87	0.04
23.00	7	0.1944	0.81	5.14	0.87	0.06
21.08	8	0.2222	0.78	4.50	0.76	0.02
20.40	9	0.2500	0.75	4.00	0.71	0.04
19.80	10	0.2778	0.72	3.60	0.66	0.07
19.72	11	0.3056	0.69	3.27	0.65	0.05
19.65	12	0.3333	0.67	3.00	0.64	0.03
19.57	13	0.3611	0.64	2.77	0.63	0.01
19.49	14	0.3889	0.61	2.57	0.62	0.01
19.41	15	0.4167	0.58	2.40	0.62	0.03
19.34	16	0.4444	0.56	2.25	0.61	0.05
19.26	17	0.4722	0.53	2.12	0.60	0.07
19.20	18	0.5000	0.50	2.00	0.59	0.09
19.20	19	0.5278	0.47	1.89	0.59	0.12
19.18	20	0.5556	0.44	1.80	0.59	0.15
19.04	21	0.5833	0.42	1.71	0.58	0.16
18.00	22	0.6111	0.39	1.64	0.46	0.07
17.88	23	0.6389	0.36	1.57	0.44	0.08
17.86	24	0.6667	0.33	1.50	0.44	0.11
16.80	25	0.6944	0.31	1.44	0.30	0.00
16.72	26	0.7222	0.28	1.38	0.30	0.02
16.48	27	0.7500	0.25	1.33	0.27	0.02
15.63	28	0.7778	0.22	1.29	0.17	0.05
15.60	29	0.8056	0.19	1.24	0.17	0.03
15.60	30	0.8333	0.17	1.20	0.17	0.00
15.54	31	0.8611	0.14	1.16	0.16	0.02
14.70	32	0.8889	0.11	1.13	0.09	0.02
13.79	33	0.9167	0.08	1.09	0.04	0.05
13.20	34	0.9444	0.06	1.06	0.02	0.04
10.00	35	0.9722	0.03	1.03	0.00	0.03
Media	18.98					D MAX = 0.16
Desvestan.	3.71					D 0 = 0.23
α	0.35					
β	17.31					

... OK

Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov. Según Kolmogorov, el máximo valor absoluto resultante de la diferencia entre la función de probabilidad estimada y observada deberá ser menor de un valor crítico que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionada para nuestro caso dicho valor crítico es para un nivel de significancia está dado por:

$$D_0 = 1.36 / (n)^{1/2}$$

Donde:

D: valor crítico
n: número de datos

Para n = 35

$$D_0 = 0.23$$

Tabla 59: Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 120 min

INTENSIDAD DE MÁXIMAS	N° DE ORDEN	P(x) = m / (n+1)	-P(x)	Tr (Años)	F(x)	DELTA
						D= F(x)-P(x)
x=mm/hora	(m)			1/P(x)		
14.00	1	0.0278	0.97	36.00	0.96	0.01
13.99	2	0.0556	0.94	18.00	0.96	0.02
13.50	3	0.0833	0.92	12.00	0.95	0.03
13.27	4	0.1111	0.89	9.00	0.94	0.05
13.02	5	0.1389	0.86	7.20	0.93	0.07
12.91	6	0.1667	0.83	6.00	0.92	0.09
11.53	7	0.1944	0.81	5.14	0.83	0.03
11.12	8	0.2222	0.78	4.50	0.79	0.01
10.00	9	0.2500	0.75	4.00	0.62	0.13
9.84	10	0.2778	0.72	3.60	0.59	0.13
9.81	11	0.3056	0.69	3.27	0.59	0.11
9.80	12	0.3333	0.67	3.00	0.58	0.08
9.74	13	0.3611	0.64	2.77	0.57	0.07
9.68	14	0.3889	0.61	2.57	0.56	0.05
9.64	15	0.4167	0.58	2.40	0.55	0.03
9.62	16	0.4444	0.56	2.25	0.55	0.01
9.55	17	0.4722	0.53	2.12	0.53	0.01
9.49	18	0.5000	0.50	2.00	0.52	0.02
9.42	19	0.5278	0.47	1.89	0.51	0.03
9.36	20	0.5556	0.44	1.80	0.49	0.05
9.32	21	0.5833	0.42	1.71	0.49	0.07
9.30	22	0.6111	0.39	1.64	0.48	0.09
9.28	23	0.6389	0.36	1.57	0.48	0.12
8.94	24	0.6667	0.33	1.50	0.40	0.07
8.64	25	0.6944	0.31	1.44	0.33	0.03
8.40	26	0.7222	0.28	1.38	0.28	0.00
8.23	27	0.7500	0.25	1.33	0.24	0.01
8.05	28	0.7778	0.22	1.29	0.21	0.02
7.95	29	0.8056	0.19	1.24	0.19	0.01
7.85	30	0.8333	0.17	1.20	0.17	0.00
7.80	31	0.8611	0.14	1.16	0.16	0.02
7.68	32	0.8889	0.11	1.13	0.14	0.03
7.68	33	0.9167	0.08	1.09	0.14	0.05
7.20	34	0.9444	0.06	1.06	0.07	0.01
5.00	35	0.9722	0.03	1.03	0.00	0.03
Media	9.73					D MAX = 0.13
Desvestan.	2.08					D 0 = 0.23
α	0.62					
β	8.80					

... OK

Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov. Según Kolmogorov, el máximo valor absoluto resultante de la diferencia entre la función de probabilidad estimada y observada deberá ser menor de un valor crítico que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionada para nuestro caso dicho valor crítico es para un nivel de significancia está dado por:

$$D_0 = 1.36 / (n)^{1/2}$$

Donde:

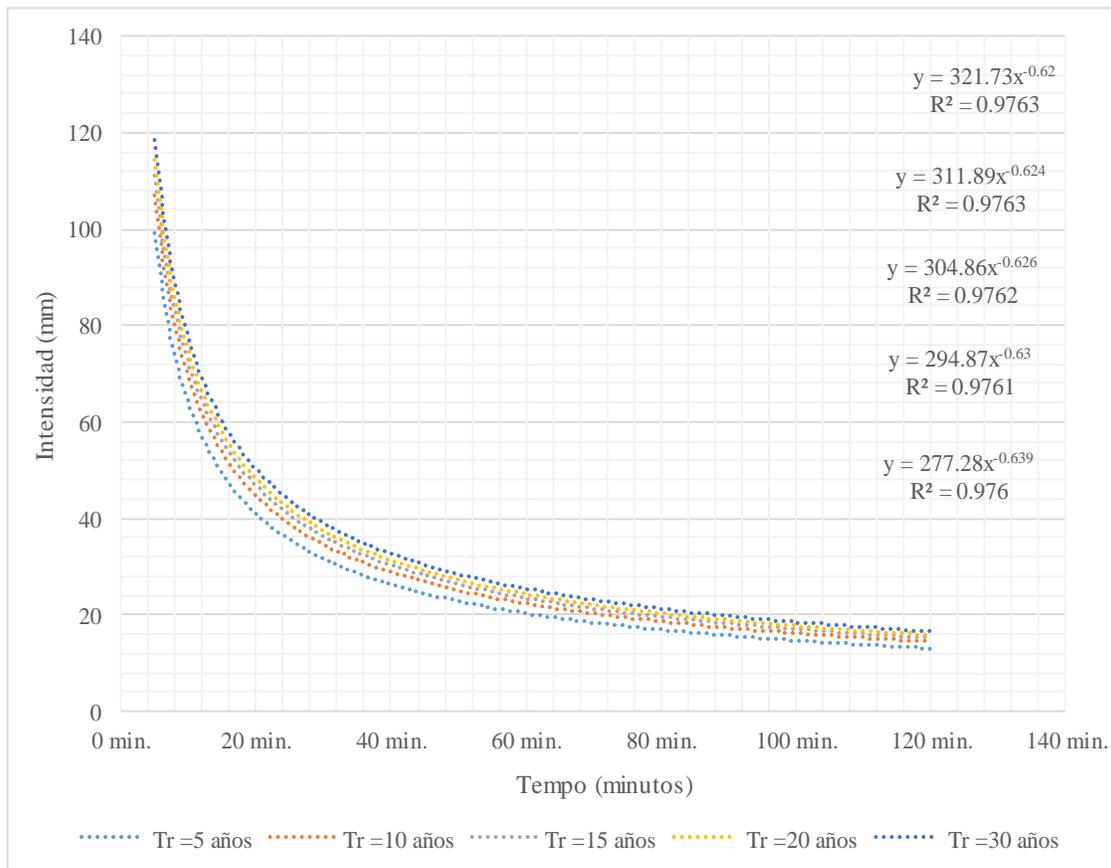
D: valor crítico
n: número de datos

Para n = 35

$$D_0 = 0.23$$

Tabla 60: Ajuste de intensidad máxima y tiempo de retorno

Tr (Años)	INTENSIDAD MÁXIMA (mm/h)				
	5 min.	10 min.	30 min.	60 min.	120 min.
5	88.50	66.21	37.14	21.65	11.23
10	95.82	71.38	40.57	23.82	12.44
15	99.94	74.30	42.51	25.05	13.12
20	102.83	76.34	43.87	25.91	13.60
30	106.87	79.20	45.76	27.10	14.27

**Figura 37: Intensidad vs Tiempo (para distintos tiempos de retorno)**

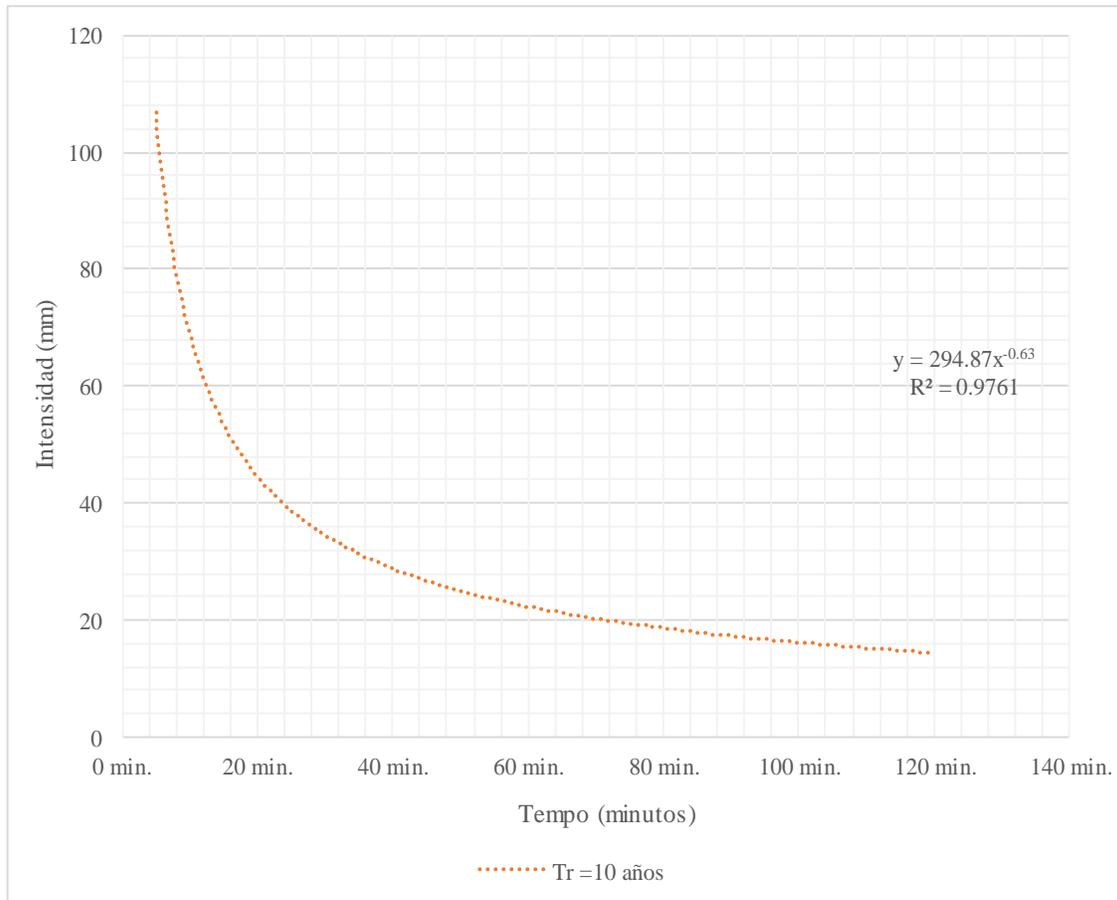


Figura 38: Intensidad vs Tiempo (para 10 años tiempo de retorno)

Apéndice IX: Diseño de pavimento ecológico

DISEÑO DE PAVIMENTO DE CONCRETO ECOLOGICO

PROYECTO : PAVIMENTACIÓN DE LA AV. MARIA OCTAVILA SANCHEZ NOVOA - 2019

UBICACIÓN : UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

DESCRIPCIÓN : (Información adicional para el diseño del pavimento de concreto ecológico)

Se considera la posibilidad de construir un pavimento de concreto poroso en la Av. María Octavila Sánchez Novoa de la Ciudad Universitaria de Universidad Nacional de Cajamarca. El pavimento de concreto ecológico deberá drenar las aguas de lluvias que son producidos en exceso por dicha calle. Además se ha considerado una área de influencia total de 8870,32m².

A. DATOS DE DISEÑO

1. Áreas aportantes

Calles y veredas:	3284.81 m ²
Techos:	282.53 m ²
Patios y jardines:	1167.12 m ²
Superficie Total:	4734.46 m ²
Área del pavimento proyectado:	4138.86 m ²

2. Antecedentes del terreno

Pendiente del terreno:	0.90 %
Profundidad mínima de napa freática:	3.00 m
Tasa media de infiltración:	15 mm/hora
Índice CBR:	8
Porcentaje de arcilla:	25.00 %

3. Consideraciones de tráfico

Zona de bajo tránsito:	Sí
Período de diseño:	20 años
Ejes equivalentes, menores a:	150000

B. DISEÑO

1. Factibilidad y condiciones generales

CONDICIÓN	PROYECTO	CUMPLE
Condición del terreno		
Tasa de infiltración debe ser mayor a 13 mm/hora	15 mm/hora	OK
Capacidad de soporte (CBR) debe ser mayor a 6	8	OK
Pendiente del terreno debe ser menor que 5%	0.90 %	OK
Condición del tráfico		
Zona de bajo tránsito (Sí)	Sí	OK
Período de diseño (20 años)	20 años	OK
Ejes equivalentes, menores a 150000	150000	OK
Condición de área		
Área a drenar, menores a 40000m ²	8873.32 m ²	OK

2. Dimensionamiento

2.1. Espesor mínimo total del pavimento

Nos basamos según la tabla de espesores mínimos para concreto ecológico

Espesores Mínimos recomendados para el total de Pavimentos Ecológicos (Debo y Reese, 1995)

CBR Subrasante	Espesor min (cm)
Menos de 6	No usar pavimento ecológico
6 a 9	22.5
10 a 14	17.5
15 ó más	12.5

Entonces para un CBR = 8 %, el espesor mínimo del pavimento es de: 22.5 cm

2.2. Subbase y Volumen de almacenamiento

- Volumen de almacenamiento acumulado de agua de lluvia (V_{afi})

De la ecuación 5 se tiene:

$$V_{afi}(t) = 1.25 \times 0.001 C I_t A t = 0.00125 C A P_t^T$$

Donde:

C = es el coeficiente de escurrimiento superficial del área total aportante (m^2)

Superficie	Área (m^2)	C (*)
Calles y Veredas	3284.81 m^2	0.8
Techos	282.53 m^2	0.9
Patios y jardines	1167.12 m^2	0.5
Total	4734.46 m^2	

(*) Valores tomados de la Tabla N° 54, Coeficientes de Escorrentía, del Anexo VII

$$C = \frac{C_1 \times A_{Calles y veredas} + C_2 \times A_{Techos} + C_3 \times A_{Patios y jardines}}{Area\ total}$$

$$C = 0.73$$

Apartir de la curva Intensidad - Duración - Frecuencia se tiene:

$$I = 294.87 \times t^{-0.63}$$

Donde:

A: es el área total aportante: $A = 4734.46 \text{ m}^2$

I_t : es la intensidad de la lluvia de periodo de retorno T y duración t en mm/hora

t: es el tiempo acumulado en horas

Presentando a continuación los datos de precipitación necesarios para el cálculo.

Donde: $P = I \times t$

Duración	Intensidad (mm/hora)	P (mm)
0h 5 min	213.95	17.83
0h 10 min	138.25	23.04
0h 20 min	89.33	29.78
0h 30 min	69.19	34.60
0h 40 min	57.72	38.48
1 h	44.71	44.71
2 h	28.89	57.78
4 h	18.67	74.68
6 h	14.46	86.76
8 h	12.06	96.51
10 h	10.48	104.82
12 h	9.34	112.13
14 h	8.48	118.71
18 h	7.24	130.28
24 h	6.04	144.91

Con estos valores, se calcula el volumen del afluente acumulado al pavimento hasta el tiempo t con la expresión:

$$V_{afi}(t) = 1.25 \times 0.001 \times 0.73 \times 4734.46 \times P t$$

$$V_{afi}(t) = 4.32 \times P t$$

- Volumen acumulado infiltrado (V_{inf})

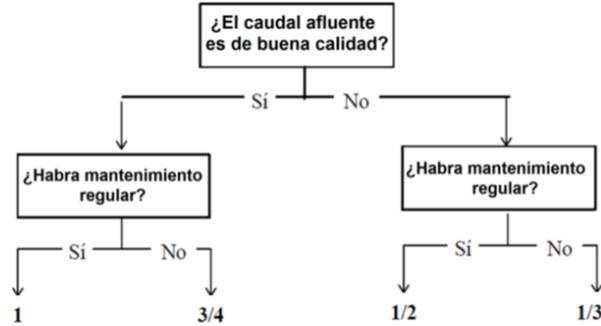
Apartir de la ecuacion 6, se tiene:

$$V_{inf}(t) = 0.001fC_sA_e t$$

Donde:

f = La capacidad de infiltración de la subrasante, en mm/hora. $f = 15$ mm/hora

C_s = Coeficiente de seguridad que afecta la capacidad de infiltracion dependiendo de las propiedades del agua y las condiciones de mantenimiento, según:



$C_s = 1.00$

A_e = Área del pavimento permeable, en m².

$A_e = 4138.86$ m²

Reemplazando se tiene el volumen acumulado infiltrado en m³, hasta el tiempo t en horas:

$$V_{inf}(t) = 0.001 \times 15 \times 1 \times 4138.86 \times t$$

$$V_{inf}(t) = 62.08 \times t$$

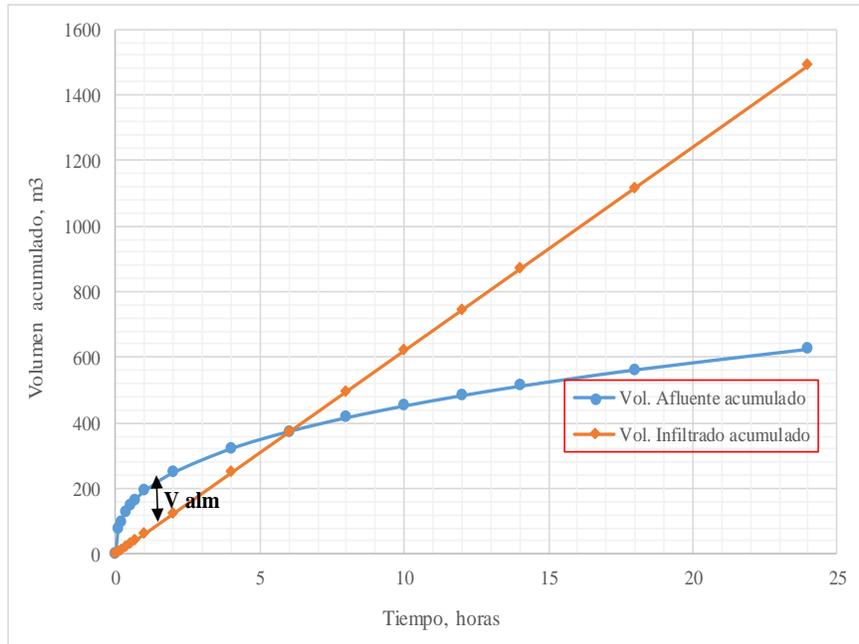
Los valores obtenidos para las precipitaciones y los volúmenes resultantes del afluente al pavimento y el agua infiltrada, así como el volumen almacenado en la subbase del pavimento para distintas duraciones se presentan a continuación:

Duración (horas,min)	P_t^T (mm)	V_{af} (m ³)	V_{inf} (m ³)	V_{alm} (m ³)
0h 0 min	0	0.00	0.00	0.00
0h 5 min	17.83	77.02	5.17	71.85
0h 10 min	23.04	99.54	10.35	89.19
0h 20 min	29.78	128.64	20.69	107.95
0h 30 min	34.60	149.46	31.04	118.42
0h 40 min	38.48	166.25	41.39	124.86
1 h	44.71	193.16	62.08	131.08
2 h	57.78	249.63	124.16	125.47
4 h	74.68	322.61	248.32	74.29
6 h	86.76	374.82	372.48	2.34
8 h	96.51	416.92	496.64	-79.72
10 h	104.82	452.80	620.80	-168.00
12 h	112.13	484.40	744.96	-260.56
14 h	118.71	512.83	869.12	-356.29
18 h	130.28	562.81	1117.44	-554.63
24 h	144.91	626.02	1489.92	-863.90

$$V_{alm} = \text{Max} (V_{af}(t) - V_{inf}(t))$$

$$V_{alm} = 131.08$$

Se puede apreciar que el valor máximo de almacenamiento corresponde a 47,84 m³ que se acumula en 1 hora. En la figura siguiente, se muestra la estimación gráfica del volumen de almacenamiento, obtenido como la diferencia máxima entre el volumen afluente acumulado y el volumen infiltrado acumulado.



Estimación del volumen de almacenamiento como la diferencia máxima entre los volúmenes acumulados de recarga e infiltración

El volumen de la sub base del pavimento V_{subbase} que puede almacenar este volumen de agua V_{alm} se puede calcular considerando una porosidad $p = 0.30$, mediante la expresión

$$p = 0.30$$

$$V_{\text{subbase}} = V_{\text{alm}} / p = 131.08 / 0.3$$

$$V_{\text{subbase}} = 437.0$$

y el espesor de la subbase e_s es:

$$e_s = V_{\text{subbase}} / A_{\text{subbase}} = 437 / 4138.86 \quad \text{Donde } A_{\text{subbase}} \text{ es la superficie del pavimento}$$

$$e_s = 0.11 \text{ m}$$

Por lo tanto el espesor de pavimento se aproxima a:

$$e_s = 0.20 \text{ m}$$

- Tiempo de vaciado

El tiempo de vaciado del volumen de almacenamiento de la subbase debe ser inferior a 48 horas y se calcula como:

$$t_m = \frac{p e_s}{(C_s f)}$$

$$t_m = (0.3 \times 200) / (1 \times 15)$$

$$t_m = 4.00 \text{ horas} < 48 \text{ horas... ok}$$

- Superficie del pavimento y filtro granulares

La carpeta de rodadura del pavimento ecológico estara formado por una capa de concreto ecológico con un volumen de poros de 17.4% y un espesor de 22.5 cm, que es el promedio recomendado para este tipo de obras. La subbase tendrá un espesor de 20 cm que es necesario para el drenaje de la lluvia de diseño. La granulometría de los agregados corresponderá a gravas bien gradadas con una proporción de cada tamaño, que se ilustran en la tabla, que se resume acontinuación:

Porcentaje que pasa en peso			
Tamaño		Mínimo	Máximo
1 1/2"	38.1	100	100
1"	25.4	95	100
1/2"	12.7	25	60
#4	4.76	0	10
#8	2.38	0	5
#200	0.0074	0	2

Estas dos etapas solas tienen un espesor de 42.5 cm en conjunto, bastante mayor que el total recomendado para el pavimento ecológico desde el punto de vista constructivo que es de 22.5 cm para el CBR de 6 de la subrasante. Por lo tanto la base, o filtro granular superior, tendrá un espesor máximo, que en este caso es de 5cm. Esta capa estará formada por grava de tamaño medio 1.2 cm (1/2"), máximo 2.5cm (1") y menos del 5% bajo los 20 cm. De esta forma el espesor total del pavimento poroso

- Zarpas o separadores

Debido a que el drenaje presenta una pendiente longitudinal de 0.9 %, se colocaran zarpas o separadores de la subbase, para evitar que el agua escurra. La dsitancia entre estos separadores debe ser menor que:

$$L_{max} = \frac{e_s}{2S_0}$$

$$L_{max} = 0.2 / (2 \times 0.009)$$

$$L_{max} = 11.11 \text{ m} \quad ==> \text{ Se colocara cada } 10.00 \text{ m}$$

Por lo tanto se colocaran separadores de concreto, no permeable, cada 10 m a lo largo del pasaje

Acontinuacion se adjunta los detalles para dicho proyecto, incluyendo su ubicación, planta y detalles.

Apéndice XI: Curvas representativas de carga vs deformación y esfuerzo vs deformación unitaria del ensayo a compresión

Tabla 85: Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado (I-D-5), 28 días

Diametro	Long. Inicial (cm)	Area (cm ²)
15.3	30.3	182.65

Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Defor. Unit.
0	0	0.000	0.00000	0.00000
2	2000	0.013	10.94965	0.00042
4	4000	0.028	21.89931	0.00091
6	6000	0.052	32.84896	0.00172
8	8000	0.080	43.79862	0.00263
10	10000	0.131	54.74827	0.00434
12	12000	0.179	65.69793	0.00591
14	14000	0.223	76.64758	0.00737
16	16000	0.277	87.59724	0.00914
18	18000	0.304	98.54689	0.01004
20	20000	0.342	109.49655	0.01127
22	22000	0.405	120.44620	0.01337
24	24000	0.481	131.39586	0.01587
26	26000	0.551	142.34551	0.01818
28	28000	0.624	153.29517	0.02059

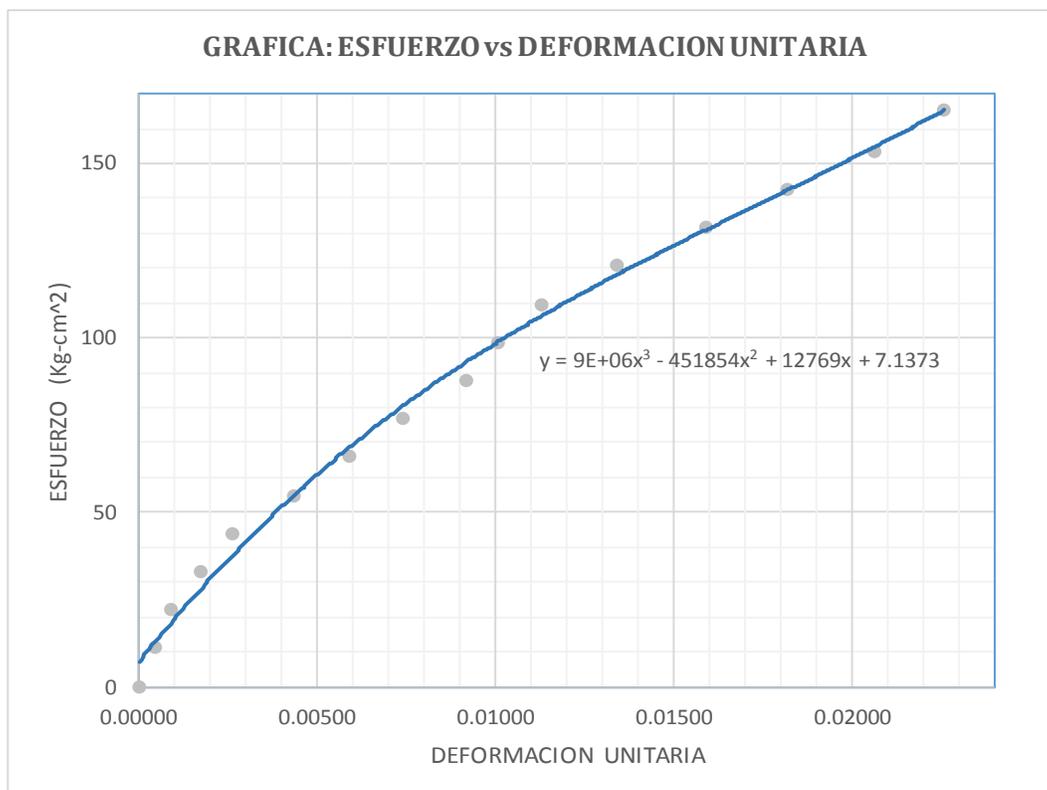
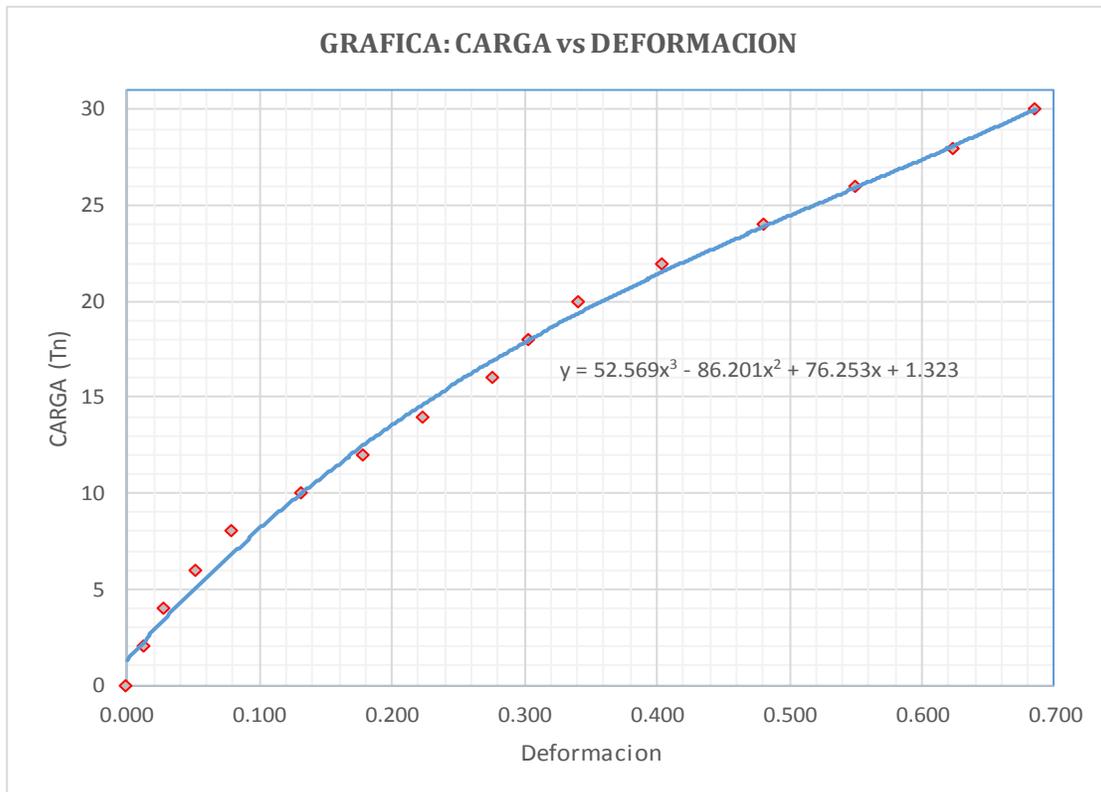


Figura 39: Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado (I-D-5), 28 días

Tabla 86: Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno (I-D-FPM-5), 28 días

Diametro	Long. Inicial (cm)	Area (cm ²)		
15.2	30.3	181.46		

Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Defor. Unit.
0	0	0.000	0.00000	0.00000
2	2000	0.012	11.02181	0.00040
4	4000	0.041	22.04362	0.00137
6	6000	0.071	33.06543	0.00234
8	8000	0.098	44.08724	0.00324
10	10000	0.132	55.10905	0.00437
12	12000	0.215	66.13086	0.00711
14	14000	0.302	77.15267	0.01001
16	16000	0.386	88.17448	0.01279
18	18000	0.465	99.19629	0.01541
20	20000	0.535	110.21810	0.01770
22	22000	0.600	121.23992	0.01986
24	24000	0.678	132.26173	0.02244
26	26000	0.759	143.28354	0.02513
28	28000	0.862	154.30535	0.02854
30	30000	0.982	165.32716	0.03252
32	32000	1.094	176.34897	0.03623

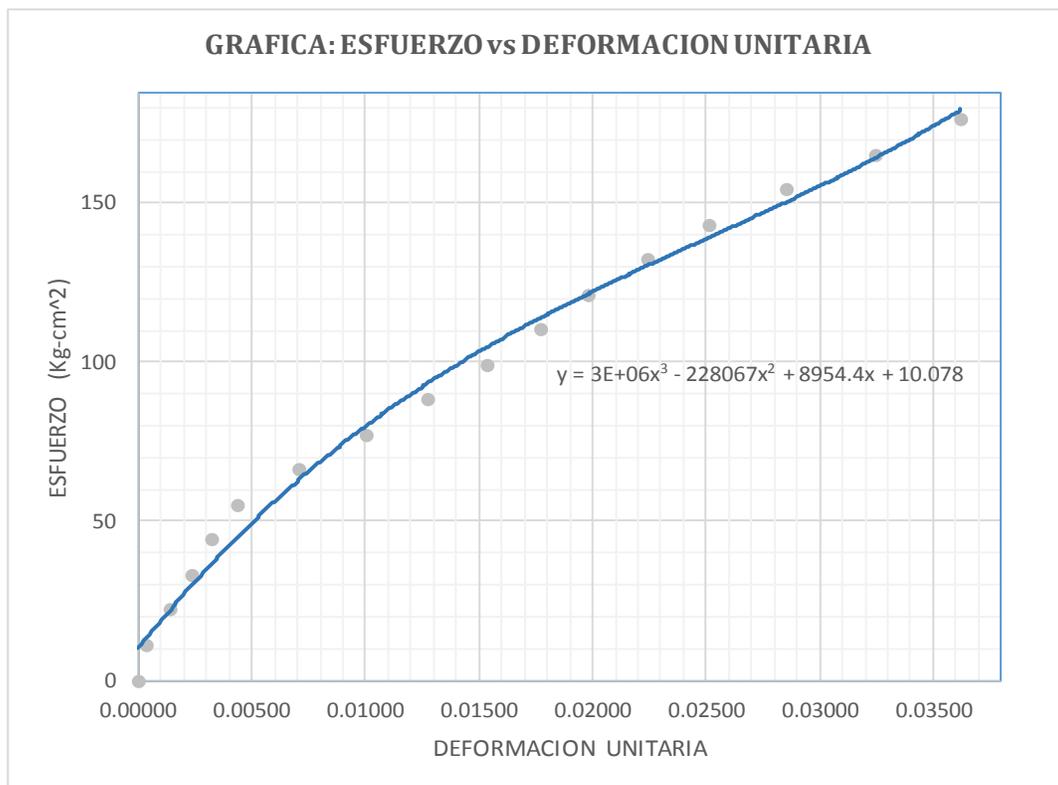


Figura 40: Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno (I-D-FPM-5), 28 días

Tabla 87: Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con aditivo nanosilíce (II-D-AN-2), 28 días

Diametro	Long. Inicial (cm)	Area (cm ²)		
15.1	30.3	179.08		

Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Defor. Unit.
0	0	0.000	0.00000	0.00000
2	2000	0.007	11.16828	0.00023
4	4000	0.016	22.33656	0.00052
6	6000	0.025	33.50483	0.00082
8	8000	0.047	44.67311	0.00155
10	10000	0.068	55.84139	0.00223
12	12000	0.108	67.00967	0.00355
14	14000	0.135	78.17795	0.00446
16	16000	0.155	89.34622	0.00512
18	18000	0.188	100.51450	0.00621
20	20000	0.223	111.68278	0.00736
22	22000	0.295	122.85106	0.00974
24	24000	0.335	134.01934	0.01105
26	26000	0.387	145.18762	0.01277
28	28000	0.445	156.35589	0.01469
30	30000	0.495	167.52417	0.01634
32	32000	0.550	178.69245	0.01815
34	34000	0.622	189.86073	0.02053
36	36000	0.704	201.02901	0.02323

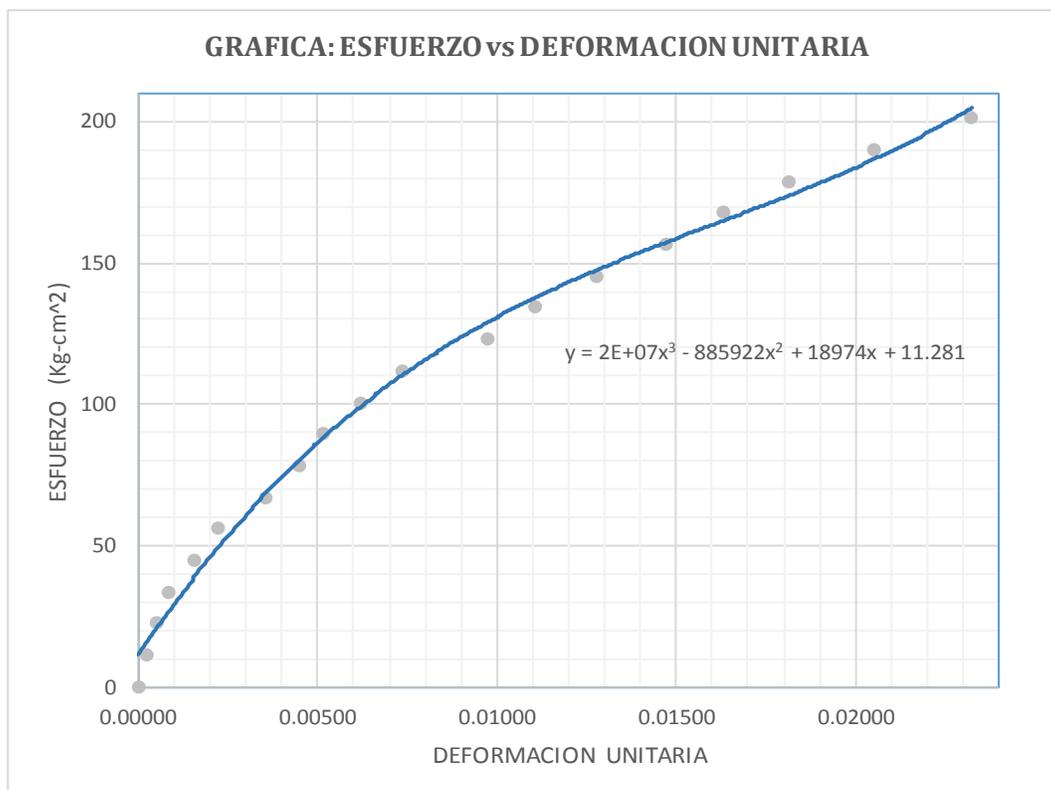
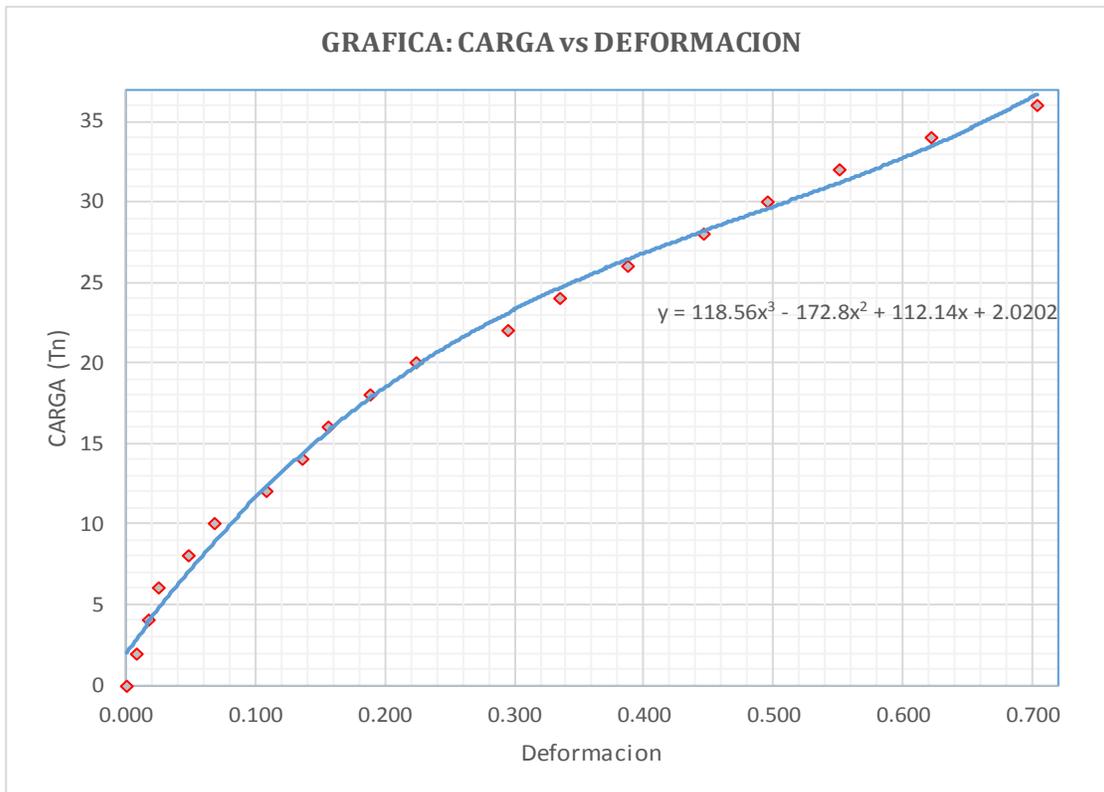


Figura 41: Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con aditivo nanosílice (II-D-AN-2), 28 días

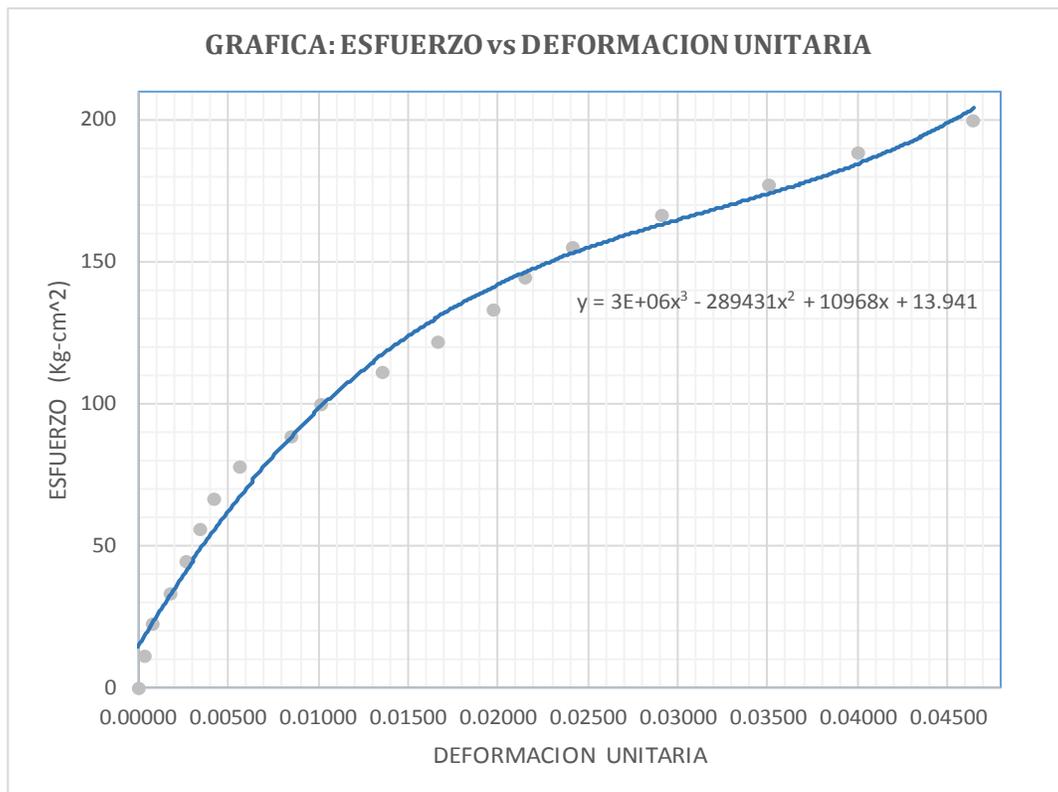
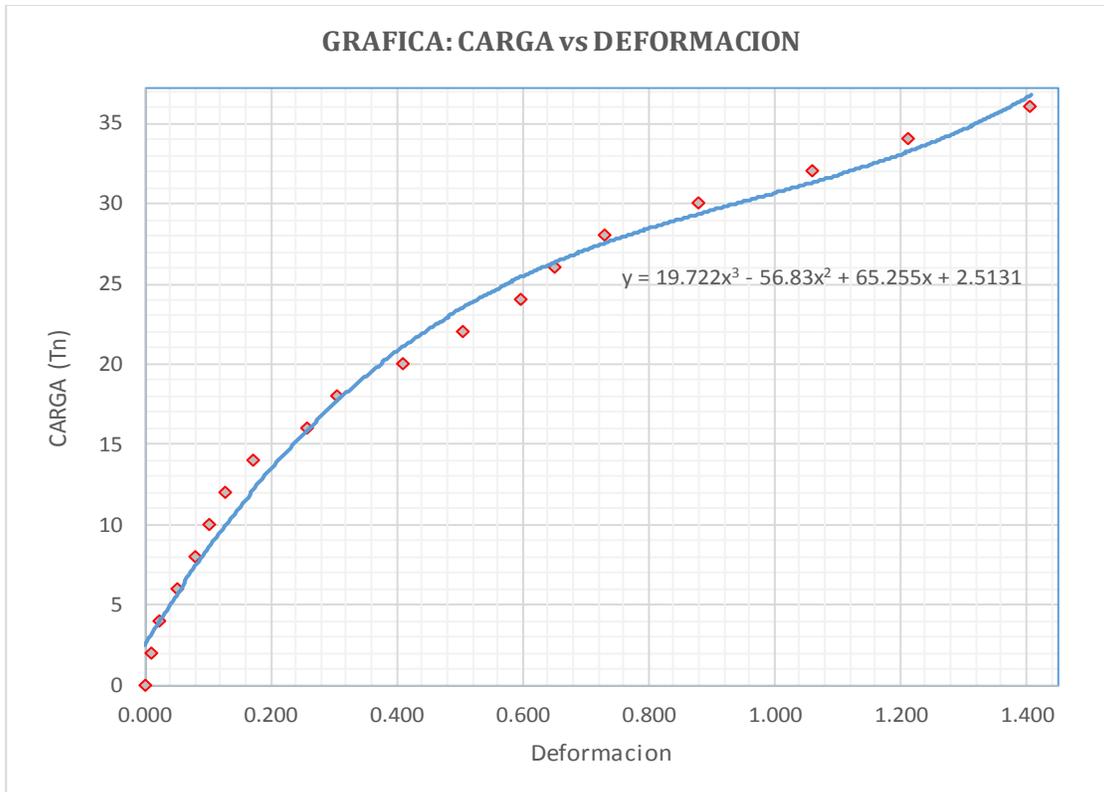
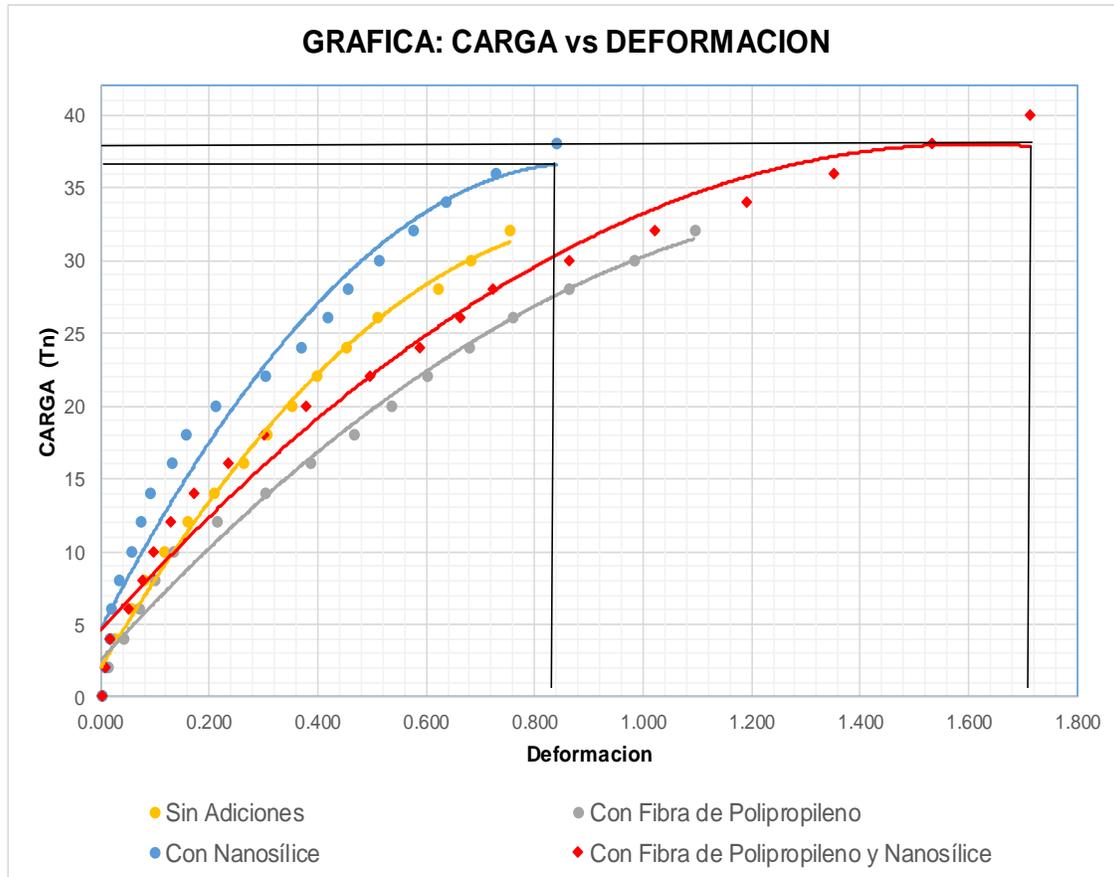


Figura 42: Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con aditivo nanosilíce y fibras de polipropileno (II-D-AN-FPM-6), 28 días



Apéndice XII: Panel Fotográfico

Figura 44: Botadero de bloques de concreto ubicado en Shudal, de donde se extrajo el agregado grueso



Figura 45: Carguío de los bloques de concreto reciclado



Figura 46: Carguío de los bloques de concreto reciclado al volquete



Figura 47: Traslado de los bloques de concreto reciclado a la chancadora acosta (Baños del Inca)



Figura 48: Rotura de bloques de concreto reciclado en bloques más pequeños



Figura 49: Proceso de chancado de los bloques de concreto reciclado



Figura 50: Obtención del agregado grueso proveniente del chancado previo



Figura 51: Traslado del agregado grueso de la chancadora al laboratorio de materiales de la UNC



Figura 52: Ensayos para las características físicas de los agregados



Figura 53: Ensayos para las características físicas de los agregados



Figura 54: Fibras de polipropileno macro sintéticas estructurales usadas



Figura 55: Ensayo de granulometría del agregado



Figura 56: Visita a la empresa Ulmen en la ciudad de Lima – Villa el Salvador, para la entrega del nanosílice



Figura 57: Aditivo Nanosílice usado



Figura 58: Preparación de materiales para pruebas patrones



Figura 59: Pruebas patrones de las 4 dosificaciones a realizadas (sin adiciones, con fibra, con nanosilíce y con la combinación de ambas)



Figura 60: Probetas de las pruebas patrones de la 4 dosificaciones



Figura 61: Desencofrado de los especímenes para su curado



Figura 62: Rotura de los especímenes patrones para verificar su resistencia a 7 días



Figura 63: Visita al taller para la construcción de moldes metálicos de forma prismática



Figura 64: Preparación del equipo y materiales para la ejecución de las tandas



Figura 65: Preparación de la mezcla y colocado en los moldes metálicos



Figura 66: Colocado y compactado de la mezcla en el molde metálico de especímenes prismáticos



Figura 67: Consistencia de la mezcla de concreto sin adiciones



Figura 68: Culminado de la colocación de la mezcla de concreto en el molde de especímenes prismáticos



Figura 69: Consistencia de la mezcla de concreto con fibra de polipropileno



Figura 70: Compactación de la mezcla con el martillo de proctor modificado



Figura 71: Desencofrado de los especímenes prismáticos



Figura 72: Especímenes elaborados para pruebas de permeabilidad



Figura 73: Codificación de las muestras prismáticas



Figura 74: Codificación a las muestras cilíndricas



Figura 75: Especímenes para pruebas de permeabilidad



Figura 76: Consistencia de la mezcla de concreto con nanosílice



Figura 77: Culminado de especímenes prismáticos con adición de nanosílice



Figura 78: Consistencia de la mezcla de concreto con nanosílice y fibras de polipropileno



Figura 79: Ensayo de revenimiento para medir el Slump de la mezcla de concreto



Figura 80: Verificación de Slump 0" de la mezcla de concreto



Figura 81: Especímenes prismáticos elaborados con la adición de nanosílice



Figura 82: Tanda de especímenes cilíndricos elaborados con la adición de nanosílice y fibras de polipropileno



Figura 83: Especímenes prismáticos elaborados con la adición de nanosílice y fibras de polipropileno



Figura 84: Espécimen prismático con la adición de nanosilice trasladado a la poza para su curado



Figura 85: Especímenes cilíndricos con la adición de nanosilice y fibra de polipropileno trasladados a la poza para su curado



Figura 86: Especímenes prismático con la adición de nanosilice y fibras trasladado a la poza para su curado



Figura 87: Curado de los especímenes en la poza



Figura 88: Supervisión del Ing. Marco Silva de los ensayos

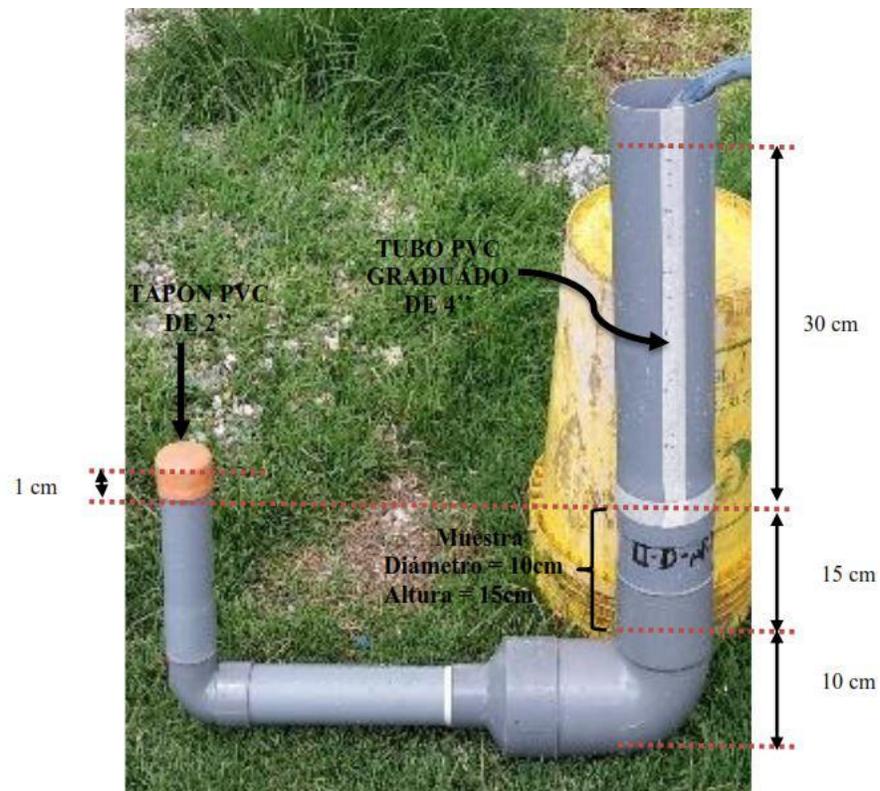


Figura 89: Toma de medidas al permeámetro para el ensayo de permeabilidad de los especímenes de concreto



Figura 90: Ensayo de densidad de masa del concreto ecológico en estado endurecido



Figura 91: Verificación del tipo de fractura en los especímenes cilíndricos de concreto ecológico de las 4 dosificaciones a diferentes edades

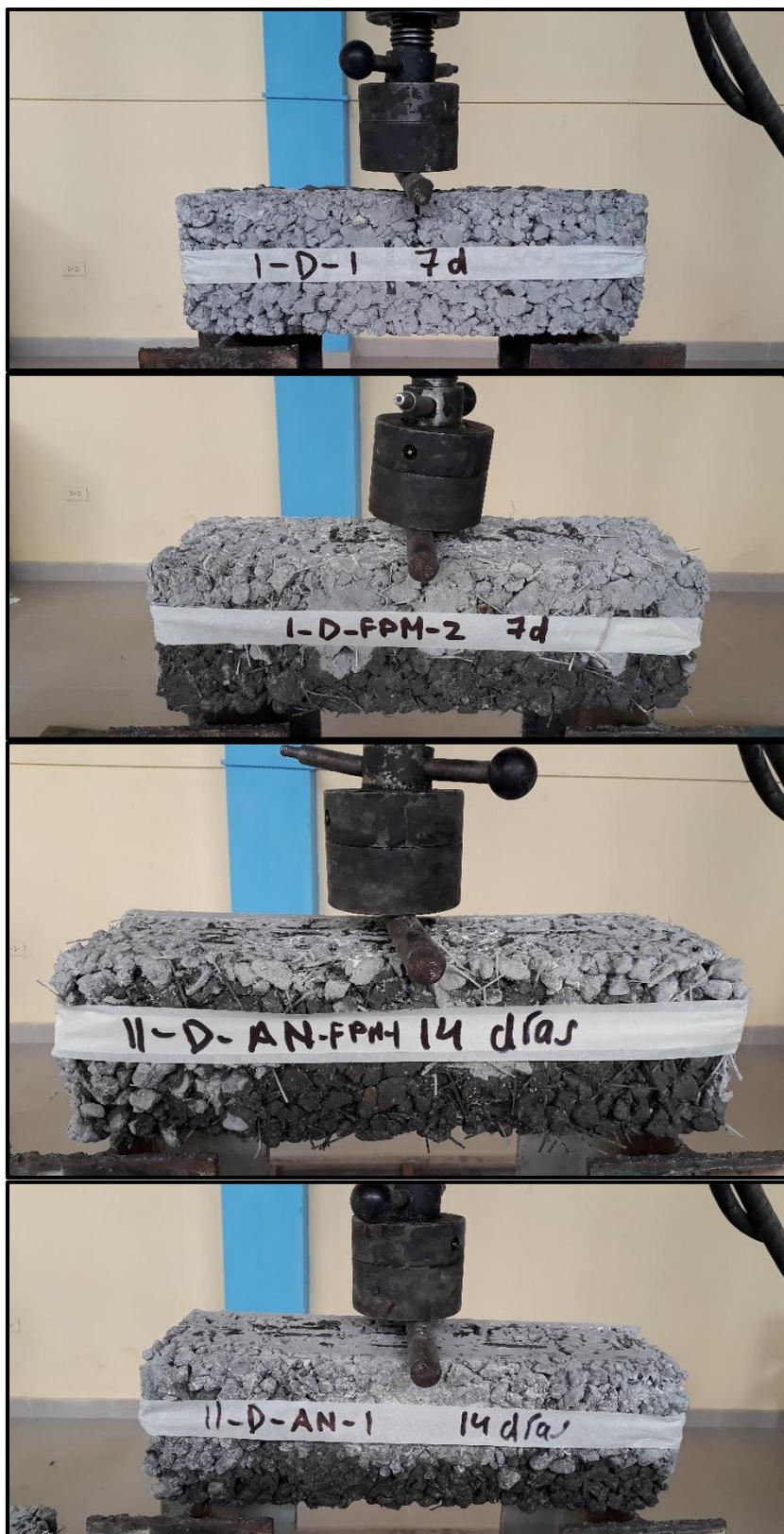


Figura 92: Ensayo a flexión de especímenes de concreto ecológico de las 4 dosificaciones a diferentes edades



Figura 93: Especímenes retirados de la poza para someterlos a los ensayos



Figura 94: Ensayos a flexión con apoyo del técnico del laboratorio



Figura 95: Medición de las deformaciones de los especímenes de concreto ecológico



Figura 96: Especímenes de concreto ecológico con fibra de polipropileno después del ensayo a flexión



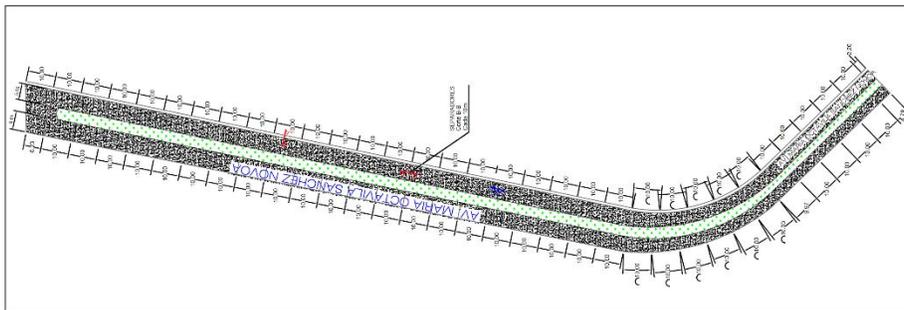
Figura 97: Ensayo de permeabilidad de especímenes de concreto



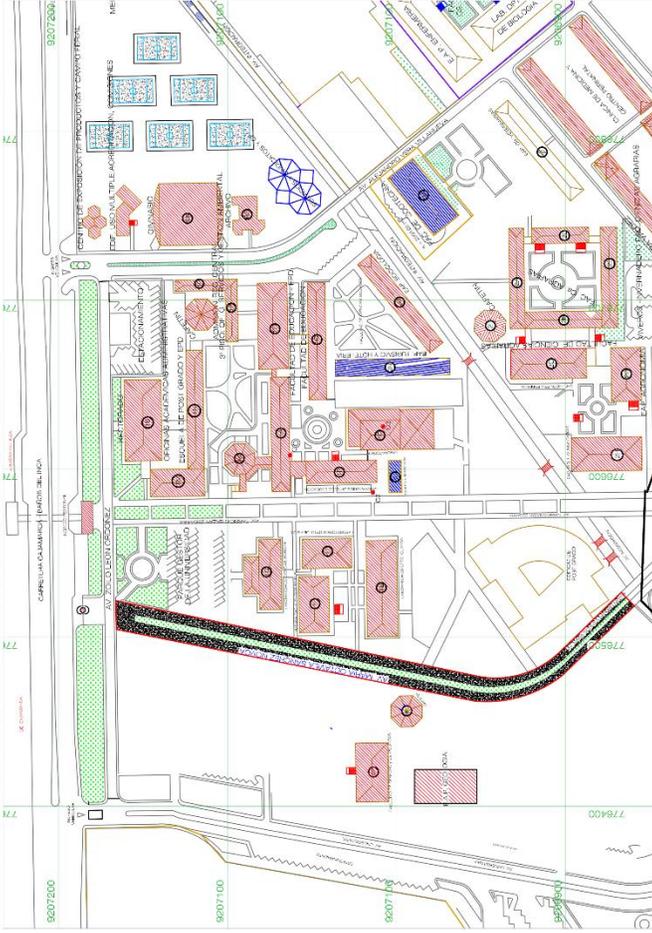
Figura 98: Codificación de muestras para ensayar

Apéndice XIII: Plano de prototipo de pavimentación con concreto ecológico

VISTA EN PLANTA DEL PAVIMENTO DE CONCRETO ECOLÓGICO
ESCALA 1:500



PLANO EN PLANTA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCALA 1:2500

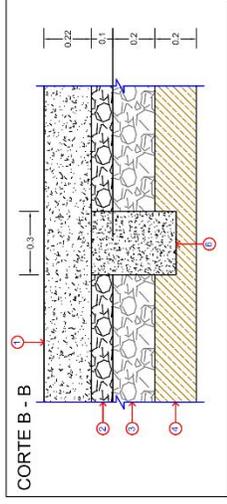


- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**
- 1.- Carpeta de Rodadura, Concreto Ecológico
 - 2.- 28.86 mm's permeabilidad, 1ccz 10 kg/cm²
 - 3.- Substrato de Grava y Arena compactado con rodillos
 - 4.- Substrato de Grava y Arena compactado con rodillos en capas y compactado con rodillo
 - 5.- Substrato de Grava y Arena compactado con rodillo
 - 6.- Separante Suelos Natural no removido, limpio de material fino no suelo, con CBR mayor a 6
 - 7.- Concreto de veredas
 - 8.- Zanja o Separador de concreto convencional.

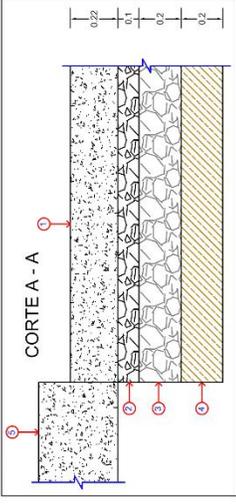
DISEÑO DEL PAVIMENTO, CON INFILTRACIÓN EN EL TERRENO

CARACTERÍSTICAS LOCALES
 DEPARTAMENTO: CAJAMARCA
 CIUDAD: CAJAMARCA
 URBANIZACIÓN: UNC
 ÁREA SERVIDA: 4734.46 m²
 ÁREA DE PAVIMENTO: 4138.86 m²
 LLUVIA DE DISEÑO: 10 años

ESCALA 1:20



ESCALA 1:20



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
PROGRAMA DE MAESTRIA

TESS:
 Optimización de la permeabilidad de concreto compactado con nodulos ecologico y diseño de un sistema para pavimentos ecologicos utilizando separadores de anillos huecos.

PLANO: PAVIMENTO DE CONCRETO ECOLOGICO

MAESTRISTA: Angel Johan Perez Trindad

ASESOR: M.C. Marco Silva Shiro

ESCALA: INDICADAS FECHA: Marzo 2019 REVISADO: M.S.S

Av. Maria Octavila Sánchez Novoa de la Villa Universitaria de la UNC

ANEXOS

Anexo I: Ficha técnica del cemento utilizado

 Pacasmayo Control de Calidad	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA CEMENTO TIPO I	P-CC-EST-08 Versión 19 / 03 de setiembre de 2018 Página 1/1

Descripción: El Cemento Pórtland TIPO I es un producto que se obtiene mediante la pulverización conjunta de clinker, yeso y en ocasiones caliza en pequeñas proporciones. El clinker es un mineral artificial y esta compuesto esencialmente de silicatos de calcio producidos a partir de materiales calcáreos y correctores de sílice, alúmina y hierro en un proceso efectuado a temperaturas cercanas a los 1450°C. Este tipo de cemento sigue los requisitos de la Norma Técnica Peruana 334.009 y de la ASTM C 150. Es un cemento de uso general, para proyectos que no requieran propiedades especiales.

Ensayos	Requisitos			Normas de Referencia	Normas de Ensayo
REQUERIMIENTOS QUIMICOS					
MgO	Máximo	6.0	%	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C114 NTP 334.086
SO₃	Máximo	3.0	%	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C114 NTP 334.086
Pérdida por Ignición	Máximo	3.5	%	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C114 NTP 334.086
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C114 NTP 334.086
REQUERIMIENTOS FISICOS					
Contenido de Aire	Máximo	12	%	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C185 NTP 334.048
Finura, Superficie Especifica	Mínimo	2,600	cm ² /g	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C 204 NTP 334.002
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C 151 NTP 334.004
Resistencia a la Compresión					
a) Resistencia compresión a 1 día (*)	Mínimo	12.0 (1,740)	MPa (psi)	n / a	ASTM C 109 NTP 334.051
b) Resistencia compresión a 3 días	Mínimo	12.0 (1,740)	MPa (psi)	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C 109 NTP 334.051
c) Resistencia compresión a 7 días	Mínimo	19.0 (2,760)	MPa (psi)	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C 109 NTP 334.051
d) Resistencia compresión a 28 días	Mínimo	28.0 (4,060)	MPa (psi)	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C 109 NTP 334.051
Tiempo de Fraguado Vicat					
a) Fraguado Inicial	Mínimo	45	minutos	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C 191 NTP 334.006
b) Fraguado Final	Máximo	375	minutos	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C 191 NTP 334.006
REQUERIMIENTOS DE PESOS NETOS					
Peso unitario (Neto)	Mínimo	41.65	kg	ASTM C 150 NTP 334.009	n / a
Peso promedio por lotes ≥ 50 bolsas (Neto)	Mínimo	42.50	kg	ASTM C 150 NTP 334.009	n / a

Generado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Ing. Víctor Milla Analista de Aseguramiento de la Calidad	Ing. Gabriel Mansilla Superintendente de Aseguramiento de la Calidad e Investigación y Desarrollo	Ing. Hugo Villanueva Castillo Gerente Central de Operaciones

(*) Requisito interno impuesto por la compañía.

Anexo II: Ficha técnica y Certificado de calidad del aditivo utilizado

FICHA TECNICA

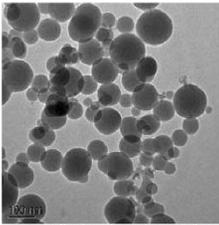
GAIA Nanosilice

Nano aditivo Superplastificante



Ficha Técnica
Edición nº 1 11-2008
Identificación nº 1.001
Versión - 01
GAIA Nanosilice

Descripción



Fotografía electrónica de nanosilice a 100 nm.

GAIA Nanosilice es un nano aditivo en estado líquido, a base de sílice con partículas de tamaño manométrico. Gran reductor de agua, de alta actividad. Pertenece a la línea **GAIA NANOSILICE**, donde las reacciones químicas en el hormigón convierten las **nano partículas** de sílice en nano partículas de cemento.

Cumple con todos los requerimientos de la norma ASTM C-494. Tipos A y F.

Aplicaciones

GAIA Nanosilice por su elevado poder de fluidificación y sumado a la capacidad de favorecer la evolución de resistencias, sobre todo a edades muy tempranas, lo hace ideal para:

- ❖ Industria del hormigón prefabricado, pretensado, armado y pos tensado.
- ❖ Hormigón Fast Track.
- ❖ Hormigón de Altas Prestaciones (AHR).
- ❖ Hormigón ligero de baja densidad.
- ❖ Y todas las aplicaciones tradicionales de microsíllice.

Propiedades

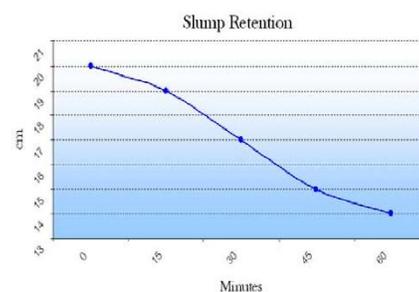
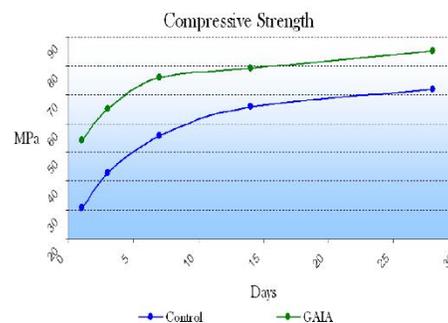
- ❖ Gran poder plastificante y reductor de agua.
- ❖ Incremento del desarrollo de alta resistencia inicial y final.
- ❖ Permeabilidad nula o casi nula por lo que aumenta la durabilidad del hormigón.
- ❖ No produce retrasos de fraguado.
- ❖ Ideal para Hormigón Fast Track.
- ❖ Evita la segregación y la excesiva exudación.
- ❖ Mejora el acabado y la textura de la superficie del hormigón.
- ❖ Evita la formación de coqueas y nidos de grava.



Características Técnicas

Al eliminar el total de la sílice en polvo en cualesquiera de sus alternativas y por su alta absorción de agua, nos permite eliminar superplastificantes y reducir al mínimo los reductores plastificantes.

- ❖ No contiene cloruros, ni ningún ingrediente promotor de la corrosión. Es utilizado sin problemas en hormigón armado y pretensado.
- ❖ Ideal para hormigones tipo "Fast Track", a usar dentro de las 24 horas posteriores, con adecuadas dosificaciones.
- ❖ Hormigones de altas prestaciones: 70 MPa R28.
- ❖ Cono de 78 a 50 cm. en 2 horas con R1 de 44 MPa y 80 MPa a R 28.
- ❖ Aumenta en más del 50% la resistencia a la flexotracción.
- ❖ Evita en gran medida las eflorescencias.



Normas

Cumple con los requisitos y especificaciones para superplastificantes de la norma SIA 162 (1989) y EN 942-2.

Método de aplicación

- ❖ **GAIA Nanosilice** se utiliza en dosis del 1 al 3% sobre el peso del cemento. Lo ideal es contactar el servicio técnico ULMEN para optimizar su uso. Vía e-mail es suficiente.
- ❖ **GAIA Nanosilice** debe agregarse una vez tengamos mezclados los áridos con el cemento y después de haber echado el agua correspondiente. Dejar amasar sobre 10 a 12 minutos. **No adicionar el producto sobre la masa seca de cemento y áridos.**
- ❖ **GAIA Nanosilice** puede ser utilizado en conjunto con otros aditivos de Ulmen, por lo que se recomienda realizar ensayos previos con la combinación deseada.
- ❖ **En la producción, colocación y curado del hormigón se deben seguir las reglas de buena práctica habitualmente usadas.**

<i>Propiedades Físicas y Químicas de GAIA Nanosilice</i>	
Aspecto Físico	Líquido turbio ligeramente viscoso
Color	Cafe claro.
pH, 20° C	5,00 ± 1
Densidad, 20° C	1.030 ± 0.02 gr/ml.
Viscosidad 20° C	13 ± 2 sec. (C. Ford No. 4)
Contenido en cloruros	< 0,01%
Almacenamiento	Puede almacenarse durante 6 meses en su envase original cerrado, en lugar y protegido del sol, a temperaturas entre 5º y 35º.
Presentación	Bidón Plástico de 200 Kgs. Contenedor pallet de 1.000 Kg.
En caso de congelamiento del GAIA Nanosilice puede ser utilizado si se descongela lentamente a temperatura de 20º C y se agita de forma intensa.	

Reducción de costo

A consecuencia de la menor actividad operacional, menor flujo de material con la consiguiente reducción de inventario.

Y - - - es líquido, amigable con el medio ambiente y la salud de los trabajadores, http://ec.europa.eu/employment_social

La sílice en polvo es identificada como UN 1346, clase 4,1, grupo F III <http://www.unece.org/trans/danger>

NOTA: La información y, en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Ulmen son proporcionadas de buena fe, basados en el conocimiento y experiencia actuales de Ulmen. La presente ficha técnica sirve, al igual que todas las demás recomendaciones e información técnica, únicamente para la descripción de las características del producto, forma de empleo y sus aplicaciones. Los datos e informaciones reproducidos, se basan en nuestros conocimientos técnicos obtenidos en la bibliografía, en ensayos de laboratorio y en la práctica. Los datos sobre consumo y dosificación que figuran en esta ficha técnica, se basan en nuestra propia experiencia, por lo que estos son susceptibles de variaciones debido a las diferentes condiciones de las obras. Los consumos y dosificaciones reales, deberán determinarse en la obra, mediante ensayos previos y son responsabilidad del cliente. Para un asesoramiento adicional, nuestro Servicio Técnico, está a su disposición. Industrias ULMEN Europa, S. L. se reserva el derecho de modificar la composición de los productos, siempre y cuando éstos continúen cumpliendo las características descritas en la ficha técnica. Otras aplicaciones del producto que no se ajusten a las indicadas, no serán de nuestra responsabilidad. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra son tan particulares que de ésta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede deducir garantía alguna respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como responsabilidad alguna que surja de cualquier relación legal. Otorgamos garantía en caso de defectos en la calidad de fabricación de nuestros productos, quedando excluidas las reclamaciones adicionales, siendo de nuestra responsabilidad tan solo la de reingresar el valor de la mercancía suministrada. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Ficha Técnica local, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.

INDUSTRIAS ULMEN EUROPA, S. L.

Oficinas: Calle Zaragoza, nº 15 – 3º - Puerta 6 (P. O. BOX 504) 12540 Vila-real (CASTELLON) SPAIN

Telf. - +34 964 538 238 - Fax – +34 964 782 261

Fabrica: P.I. El Palmeral, Sector Sur 6, Parc.17, Nave 1 12200 Onda (Castellón) SPAIN

www.ulmen.es - info@ulmen.es



Fabricación y Comercialización de Aditivos para Concretos

CERTIFICADO DE CALIDAD

El departamento de Control de Calidad de Industrias ULMEN S.A., certifica que el producto identificado a continuación cumple los requisitos de uniformidad indicados en la tabla 7 de la norma NCh 2182 of 95 fact/ ASTM C494. y con nuestros estándares de calidad.

Producto : GAIA
 Lote : 14951218
 Fabricado : 13/12/2018
 Vence : 13/06/2019

Los parámetros controlados se muestran a continuación

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
Densidad	1,032 ± 0,02 (g/mL)	1,031
Viscosidad	13 ± 1 (segundos)	13,69
pH	5 ± 1	5,1

El presente aditivo tiene una vida útil de 6 meses almacenados en lugar fresco y protegido del sol, según recomendaciones por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001

Encargado control de Calidad
 Industrias Ulmen S.A.

www.ulmen.cl

ulmen@ulmen.cl

Anexo III: Ficha técnica de la fibra utilizada



HOJA TÉCNICA

Sika® Fiber Force PP-48

Fibra de polipropileno macro sintética estructural

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® Fiber Force PP 48, es una fibra de polipropileno macro sintética estructural, diseñada y usada como el refuerzo secundario de concreto, es fabricada a partir de polímeros de polyolefina de alto desempeño y deformadas mecánicamente en todo el cuerpo para maximizar el anclaje en el concreto y evitar la pérdida excesiva cuando se proyecta (Shotcrete), altamente orientada a conseguir la mayor superficie de contacto dentro del concreto, lo que resulta en una mayor unión interfacial y eficiencia de la resistencia de la flexión y absorción de energía. Sika® Fiber Force PP-48 esta específicamente diseñada y fabricada en una instalación certificada bajo la norma ISO 9001:2000, para ser usada como refuerzo secundario de concreto a una tasa de adición mínima de 2 kg por metro cúbico. Cumple con la norma ASTM C 1116/C 1116 M, concreto Tipo III reforzado con fibra, JSCE-S14 y con la norma Europea EN-14889-2 como clase II.

USOS

- Losas industriales sobre el piso, tráfico ligero, medio o pesado.
- Áreas para estacionamiento.
- Elementos Pre-fabricados.
- Pavimentos de concreto tráfico ligero, medio o pesado.
- Plataformas compuestas de metal y concreto.
- Aceras y entradas de automóviles.
- Capas superpuestas y coberturas.
- Aplicaciones no magnéticas.
- Shotcrete vía húmeda o vía seca, ya sea definitivo o temporal.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Incrementa la resistencia a la tenacidad, absorción de energía e impacto del concreto, así como la resistencia residual y ductilidad.
- No afecta notoriamente la fluidez (Slump) de la mezcla como otras fibras multifilamento.
- Disminuye la tendencia al agrietamiento en estado fresco como endurecido del concreto.
- Máxima resistencia al arrancamiento dentro de la matriz del concreto.
- Reduce el desgaste en bombas y tuberías cuando la mezcla es bombeada.
- Alta resistencia a los ataques químicos y a los álcalis.
- Es segura y más fácil de usar que el refuerzo tradicional.
- No se corroe con las aguas agresivas.
- Ahorra tiempo y molestias durante la aplicación y el proceso de concentrado del mineral.

DATOS BÁSICOS

FORMA	ASPECTO Fibra monofilamento deformada mecánicamente. COLORES Blanco PRESENTACIÓN Caja x 5 kg
ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL Indefinido en un lugar seco y bajo techo, en su envase original.
NORMAS	Siempre se coloca uniformemente en el concreto y cumplimiento con los códigos vigentes y normas siguientes: <ul style="list-style-type: none"> ▪ ASTM C 94/C 94M Especificación estándar para concreto premezclado. ▪ ASTM C 1116/C 1116M Especificación estándar para concreto reforzado con fibras. ▪ ASTM C 1399 Método de prueba estándar para obtener la resistencia residual promedio del concreto reforzado con fibras. ▪ ASTM C 1436 Especificación estándar de materiales para Shotcrete. ▪ ASTM C 1609/C 1609M Método de prueba estándar para obtener el rendimiento de la flexión del concreto reforzado con fibras (Usando una viga con carga de tres puntos). Reemplaza la norma ASTM C 1018. ▪ ASTM C 1550 Método de prueba estándar para la resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibras (Usando un panel Redondo con carga central.) ▪ JCI-SF4 para la resistencia a la flexión y para la resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibras y JSCE-S14. ▪ EFNARC panel cuadrado-2005 ▪ ACI 304 Guía para la medición, mezcla, transporte y distribución del concreto. ▪ ACI 506 Guía para Shotcrete. ▪ EN 14889-2 Definiciones, especificaciones y conformidad de fibras poliméricas.
DATOS TÉCNICOS	ABSORCIÓN DE AGUA 0% GRAVEDAD ESPECÍFICA 0.92 LARGO DE LA FIBRA 48 mm ANCHO DE LA FIBRA 1.2855 mm ESPESOR DE LA FIBRA 0.3325 mm RESISTENCIA A LA TRACCIÓN 620 Mpa CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Baja FIBRAS POR KILO 32,760 unidades +/- 3% PUNTO DE FUSIÓN 440 °C PUNTO DE ABLANDAMIENTO 170 °C RESISTENCIA A ÁLCALIS, SALES Y ÁCIDOS Alta.

	<p>COMPATIBILIDAD Sika® Fiber Force PP-48 es compatible con todos los aditivos para concreto Sika® y las sustancias químicas que aumentan el rendimiento del concreto. No se debe usar las fibras macrosintéticas Sika® Fiber Force PP-48 para reemplazar refuerzos estructurales.</p> <p>PRECAUCIONES No se debe usar las fibras macrosintéticas Sika® Fiber Force PP-48 como un medio para usar secciones de menor espesor que el diseño original. Para el espaciado de las juntas, siga las directrices estándar de la industria sugeridas por PCA y ACI.</p>
INFORMACIÓN DEL SISTEMA	
DETALLES DE APLICACIÓN	<p>CONSUMO / DOSIS La dosis de aplicación para la fibra macro sintética estructural Sika® Fiber Force PP 48 es de 2 a 9 kg/m³ de concreto o Shotcrete, dependiendo de la ductilidad, resistencia residual, tenacidad ó absorción de energía requerido. En las pruebas para determinar la cantidad exacta de fibra a usar, si el concreto es lanzado (Shotcrete vía húmeda o seca) las muestras (paneles cuadrados EFNARC o circulares ASTM C-1550) tienen que ser obtenidas en campo, lanzado con el equipo a usar, ya que por su naturaleza las fibras sintéticas durante el lanzamiento ó proyección una parte de ellas se pierde. No se recomienda obtener los paneles en laboratorio ya que los resultados difieren apreciablemente.</p>
MÉTODO DE APLICACIÓN	<p>DISEÑOS DE MEZCLAS Y PROCEDIMIENTOS</p> <p>El refuerzo con Sika® Fiber Force PP-48 es un proceso mecánico, no químico. Debido a la eficiencia de la fibra no se necesita modificación del diseño de mezcla ya que no afecta notoriamente la fluidez de la mezcla. Consulte con un asesor técnico de Sika Perú S.A. para recomendaciones adicionales. La fibra macrosintética Sika® Fiber Force PP-48 se agrega a la mezcladora antes, durante o después de hacer mezclas con los otros materiales del concreto. Se requiere un tiempo de mezclado de por lo menos de 3 a 5 minutos por metro cúbico como se especifica en la norma ASTM C-94.</p> <p>ACABADO Se puede dar un acabado al concreto reforzado con Sika® Fiber Force PP-48 usando las técnicas de acabado de acuerdo a ACI 304, Sección C3.</p>
BASES	Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.
RESTRICCIONES LOCALES	Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.
INFORMACIÓN DE SEGURIDAD E HIGIENE	Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.
NOTAS LEGALES	La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en

condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe.

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sika® Fiber Force PP-48 :

1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.
Concrete
Centro Industrial "Las Praderas
de Lurín S/N - Mz "B" Lote 5 y
6, Lurín
Lima
Perú
www.sika.com.pe

Hoja Técnica
Sika® Fiber Force PP-48
29.10.15, Edición 1

Versión elaborada por: Sika Perú S.A.
CG, Departamento Técnico
Telf: 618-6060
Fax: 618-6070
Mail: informacion@pe.sika.com



© 2014 Sika Perú S.A.

Anexo IV: Coeficientes de Escorrentía

Tabla 89: Coeficientes de Escorrentía

Tipo de superficie	Coefficiente
Áreas comerciales	
céntricas	0.70 - 0.95
suburbios	0.50 - 0.70
Áreas residenciales	
casas aisladas	0.30 - 0.50
condominios aislados	0.40 - 0.60
condominios pareados	0.60 - 0.75
suburbios	0.25 - 0.40
departamentos	0.50 - 0.70
Áreas industriales	
grandes industrias	0.50 - 0.80
pequeñas	0.60 - 0.90
parques y jardines	0.10 - 0.25
Calles	
asfalto	0.70 - 0.95
concreto	0.80 - 0.95
adoquín	0.50 - 0.70
ladrillo	0.70 - 0.85
pasajes y paseos peatonales	0.75 - 0.85
techos	0.75 - 0.95
Prados: suelo arenoso	
plano (2%)	0.05 - 0.10
pendiente media (2% - 7%)	0.10 - 0.15
pendiente fuerte (>7%)	0.15 - 0.20
Prados: suelos arcillosos	
plano (<2%)	0.13 - 0.17
pendiente media (2% - 7%)	0.18 - 0.22
pendiente fuerte (>7%)	0.25 - 0.35

Fuente: ASCE (1972), Viessman et al. (1997), Manual de Carreteras (1982)

Anexo V: Certificado de laboratorio de ensayos de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca



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



EL JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA:

CONSTANCIA

Que el Sr. PÉREZ TIRADO ANGEL JOHAN, Ex alumno de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca de la Maestría en Ciencias, Mención en Ingeniería y Gerencia de la Construcción; que ha realizado trabajos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales "Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz" de la Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, para la Tesis Titulada: "OPTIMIZACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO ECOLÓGICO CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE Y FIBRA DE POLIPROPILENO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, UTILIZANDO AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO". Dichos ensayos se realizaron del 07 de enero al 11 de marzo del 2019, en dicha institución.

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

Cajamarca, 15 de Marzo de 2019.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA

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