

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



**“DISEÑO Y APLICACIÓN DE CONCRETO ECOLÓGICO
CON FIBRAS DE POLIPROPILENO PARA PAVIMENTOS
RÍGIDOS”**

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

**PRESENTADO POR:
BACHILLER: AQUINO CUSQUISIBÁN, ROBERTO**

**ASESOR:
M. en I. HÉCTOR PÉREZ LOAYZA**

**CAJAMARCA - PERÚ
2015**

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 mis padres y hermanos 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, a la Facultad de Ingeniería Civil, por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su claustro para poder estudiar mi carrera.

Agradezco de manera muy especial a mi asesor el M. en I. Héctor Pérez Loayza, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento así como también por haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de mi trabajo de investigación, así como también agradezco a mi jurado: MCs. Ing. Jaime Raúl Valera Guerra, Ing. Lucio Sifuentes Inostroza y Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.

Finalmente, expreso mi más cordial agradecimiento a mis amigos José Estela Luna, Elmer Idrogo Salazar, Lenin Zamora terrones y Normalí Barboza Fustamante, por su apoyo y que de una u otra manera contribuyeron hacer realidad el presente trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A mis padres: Manuel y María:

Por su amor, apoyo y sacrificios en todos estos años,
gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme
en lo que soy, una persona con sueños y objetivos en la vida.

A mis hermanos: Segundo, Marleny y Edwin;

Por el aliento y apoyo incondicional para lograr el presente trabajo.

A mi abuelita Brígida:

Por sus sabios consejos para afrontar el camino de la vida y superarse cada día.

A mis amigos:

Quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus
conocimientos, alegrías y tristezas, que se convirtieron en un
gran lazo de amistad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE IMÁGENES	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
GLOSARIO	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	5
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACION.....	6
1.6. DELIMITACION Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION.....	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. ANTECEDENTES	9
2.2. BASES TEÓRICAS.....	11
2.2.1. CONCRETO ECOLOGICO	11
2.2.1.1. DEFENICION.....	11
2.2.1.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CONCRETO ECOLÓGICO	12
2.2.1.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO ECOLOGICO.....	13
2.2.1.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DE CONCRETO ECOLOGICO.....	25
2.2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO	30
2.2.3. PAVIMENTOS RÍGIDOS DE CONCRETO ECOLÓGICO	31
2.2.3.1. DEFINICIÓN.....	31
2.2.3.2. DISEÑO ESTRUCTURAL.....	32
2.2.3.3. DISEÑO HIROLOGICO	35
2.2.3.4. DISEÑO DE JUNTAS	45
2.2.3.5. PROCESOS CONSTRUCTIVOS.....	46

2.2.3.6. MANTENIMIENTO	47
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
3.0. METODOLOGÍA	49
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN	49
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACION	49
3.3. CANTERA DE ESTUDIO	50
3.4. MATERIALES UTILIZADOS EN EL ESTUDIO	51
3.5. METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DEL CONCRETO ECOLOGICO.....	54
3.5.1. ETAPA I	55
3.5.2. ETAPA II.....	63
3.6. ESPECIMENES CON DIFERENTES TIPOS DE MEZCLA.....	66
3.7. ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES PARA LOS ENSAYOS MECANICOS	67
3.8. CURADO DE ESPECIMENES.....	70
3.9. VARIABLES DE EVALUACION DEL ESTUDIO	71
3.9.1. ASENTAMIENTO DEL CONCRETO ECOLÓGICO EN ESTADO FRESCO.....	72
3.9.2. PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO.	72
3.9.3. PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO.....	73
3.9.4. RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS	74
3.9.5. RESISTENCIA A FLEXIÓN EN ESPECÍMENES PRISMÁTICOS.....	75
3.9.6. DESARROLLO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.....	75
3.9.7. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO	76
3.9.8. PERMEABILIDAD DEL CONCRETO ECOLÓGICO.....	77
3.9.9. COSTO DE LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ECOLOGICO POR M3	79
3.10. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	80
3.11. DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO.....	81
CAPITULO IV: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	82
4.0. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	83
4.1. ANÁLISIS DE LA CONSISTENCIA DE LA MEZCLA.....	83
4.2. ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	84
4.3. ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO ...	85
4.4. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A COMPRESION	86
4.5. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A FLEXION	92
4.6. ANÁLISIS DEL ANCHO Y LONGITUD DE FISURA EN ESPECÍMENES A FLEXION	96
4.7. ANÁLISIS DEL MODULO DE ELASTICIDAD	99

4.8.	ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO ECOLOGICO	101
4.9.	ANÁLISIS DE COSTOS EN FUNCION A LA RESISTENCIA DEL CONCRETO ECOLÓGICO	104
4.10.	CONSTRASTE DE HIPÓTESIS.....	107
	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
5.1.	CONCLUSIONES	110
5.2.	RECOMENDACIONES.....	111
	CAPITULO VI: BIBLIOGRAFÍA.....	113
6.1.	TESIS	114
6.2.	LIBROS Y REGLAMENTOS	115
6.3.	NORMAS	115
6.4.	PÁGINAS WEB.....	117
	CAPITULO VII: ANEXOS	118
7.1.	ANEXO I: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE LOS AGREGADOS	119
7.2.	ANEXO II: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO UTILIZADO	130
7.3.	ANEXO III: FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO UTILIZADO	131
7.4.	ANEXO IV: FICHA TÉCNICA DE LA FIBRA UTILIZADO	135
7.5.	ANEXO V: CERTIFICADO DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA	138
7.6.	ANEXO VI: DISEÑO DE MEZCLAS.....	139
7.7.	ANEXO VII: CÁLCULO DE PRECIOS UNITARIOS DE EQUIPO Y MANO DE OBRA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ECOLOGICO.....	167
7.8.	ANEXO VIII: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE CONCRETO ECOLOGICO PARA LOS DIFERENTIS TIPOS DE MEZCLAS	170
7.9.	ANEXO IX: COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA	172
7.10.	ANEXO X: CÁLCULO DE CURVA INTENSIDAD – DURACIÓN - FRECUENCIA ...	173
7.11.	ANEXO XI: DISEÑO DE PAVIMENTO ECOLÓGICO.....	181
7.12.	ANEXO XII: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS	186
7.13.	ANEXO XIII: CURVAS REPRESENTATIVAS DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA DEL ENSAYO A COMPRESIÓN.....	206
7.14.	ANEXO XIV: PANEL FOTOGRÁFICO.....	210

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1. Influencia de los Agregados en el Concreto Permeable en Estado Fresco y Endurecido	27
TABLA N° 2. Límites permisibles para el agua de mezcla y curado según la Norma NTP 339.088	28
TABLA N° 3. Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para Agregados	31
TABLA N° 4. Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para el Concreto	31
TABLA N° 5. Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para el Cemento	31
TABLA N° 6. Espesores Mínimos recomendados para el total de Pavimentos Ecológicos.....	34
TABLA N° 7. Características estructurales de los materiales que componen las capas de base y subbase	34
TABLA N° 8. Resumen de las propiedades de los agregados a ser empleados en la mezcla.....	52
TABLA N° 9. Resumen de los datos técnicos de la fibra Polipropileno SIKAFIBER® PE.....	53
TABLA N° 10. Consistencias del concreto según el ACI 211.3R-02	57
TABLA N° 11. Valor b/b_0 efectivo	58
TABLA N° 12. Resumen de diseño – inicial (Código I-IP-AG-AF-1).....	61
TABLA N° 13. Resumen de diseño - primer reajuste (Código I-IP-AG-AF-2)	62
TABLA N° 14. Resumen de diseño - segundo reajuste (Código I-IP-AG-AF-3 : Código I-D)	62
TABLA N° 15. Resumen de diseño - segundo reajuste y fibras de polipropileno (Código I-D-FPP)	63
TABLA N° 16. Resumen de diseño – inicial (Código II-IP-AG-AF-AP-1).....	64
TABLA N° 17. Resumen de diseño - primer reajuste (Código II-IP-AG-AF-AP-2).....	64
TABLA N° 18. Resumen de diseño - segundo reajuste (Código II-IP-AG-AF-AP-3 : Código I-D-AP).....	65
TABLA N° 19. Resumen de diseño - segundo reajuste con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno (Código I-D-AP-FPP).....	65
TABLA N° 20. Asentamiento del concreto según los diferentes tipos de mezclas	83
TABLA N° 21. Peso unitario del concreto en estado fresco según los diferentes tipos de mezclas.....	84
TABLA N° 22. Peso unitario del concreto en estado endurecido según los diferentes tipos de mezclas.....	85
TABLA N° 23. Promedio de ensayos a compresión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas	87
TABLA N° 24. Promedio de ensayos a flexión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas	92
TABLA N° 25. Promedio de anchos de fisura en especímenes ensayados a flexión, a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas.....	96

TABLA N° 26. Promedio de longitudes de fisura en especímenes ensayados a flexión, a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas.....	98
TABLA N° 27. Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas, método ACI 318.....	99
TABLA N°28. Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas, método ASTM C469.....	100
TABLA N° 29. Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste (I-D).....	102
TABLA N° 30. Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste adicionado con fibras de polipropileno (I-D-FPP)	102
TABLA N° 31. Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste adicionado con aditivo polifuncional (I-D-AP).....	103
TABLA N° 32. Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste adicionado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno (I-D-AP-FPP)	103
TABLA N° 33. Consolidado de los promedios de la permeabilidad real y la permeabilidad estimada	104
TABLA N° 34. Cantidad de materiales por m3 de concreto ecológico	105
TABLA N° 35. Volúmenes de materiales para 1m3 de concreto ecológico.....	105
TABLA N° 36. Volúmenes de materiales para 1m3 de concreto convencional, $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$. 105	
TABLA N° 37. Costo de la unidad cúbica de concreto en función a diferentes tipos de mezcla y su respectiva resistencia a la compresión a los 28 días	106
TABLA N° 38. Costo de la unidad cúbica de concreto convencional	107
TABLA N° 39. Resumen de las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto ecológico con las diferentes tipos de mezclas	110
TABLA N° 40. Caracterización físico – mecánicos de agregados	111
TABLA N° 41. Ensayo de Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción de Agregados Finos (ASTM C128 / NTP 400.022)	119
TABLA N° 42. Ensayo de Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción de Agregados Grueso (ASTM C127 / NTP 400.021).....	119
TABLA N° 43. Ensayo Calculo del Factor (f) para la Densidad (Peso Unitario) del Agregado Fino	120
TABLA N° 44. Ensayo de Densidad (Peso Unitario Suelto) del Agregado Fino.....	120
TABLA N° 45. Ensayo de Densidad (Peso Unitario Compactado) del Agregado Fino.....	120
TABLA N° 46. Ensayo Calculo del Factor (f) para la Densidad (Peso Unitario) del Agregado Grueso	121
TABLA N° 47. Ensayo de Densidad (Peso Unitario Suelto) del Agregado Grueso.....	121

TABLA N° 48. Ensayo de Densidad (Peso Unitario Compactado) del Agregado Grueso.....	121
TABLA N° 49. Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N° 1	122
TABLA N° 50. Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N° 2	122
TABLA N° 51. Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N° 3	123
TABLA N° 52. Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N° 1	125
TABLA N° 53. Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N° 2.....	125
TABLA N° 54. Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N° 3.....	126
TABLA N° 55. Ensayo Partículas <200 para el Agregado Fino.....	128
TABLA N° 56. Ensayo Contenido de Humedad para el Agregado Fino.....	128
TABLA N° 57. Ensayo Contenido de Humedad para el Agregado Grueso	128
TABLA N° 58. Resistencia al desgaste por abrasión.....	129
TABLA N° 59. Análisis de precios unitarios del concreto ecológico – diseño inicial reajustado (I-D)	170
TABLA N° 60. Análisis de precios unitarios del concreto ecológico – diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno (I-D-FPP)	170
TABLA N° 61. Análisis de precios unitarios del concreto ecológico – diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional (II-D-AP)	171
TABLA N° 62. Análisis de precios unitarios del concreto ecológico – diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno (II-D-AP-FPP)	171
TABLA N° 63. Análisis de precios unitarios del concreto convencional.....	172
TABLA N° 64. Coeficiente de escorrentía	172
TABLA N° 65. Intensidades Máximas	173
TABLA N° 66. Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 5 min.....	174
TABLA N° 67. Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 10 min.....	175
TABLA N° 68. Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 30min.....	176
TABLA N° 69. Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 60 min.....	177
TABLA N° 70. Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 120 min.....	178
TABLA N° 71. Ajuste de intensidad máxima y tiempo de retorno	179
TABLA N° 72. Especímenes ensayados a compresión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado	186
TABLA N° 73. Especímenes ensayados a compresión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno.....	187
TABLA N° 74. Especímenes ensayados a compresión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional.....	188
TABLA N° 75. Especímenes ensayados a compresión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno	189
TABLA N° 76. Especímenes ensayados a compresión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado	190

TABLA N° 77. Especímenes ensayados a compresión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno.....	191
TABLA N° 78. Especímenes ensayados a compresión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional.....	192
TABLA N° 79. Especímenes ensayados a compresión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno	193
TABLA N° 80. Especímenes ensayados a compresión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado	194
TABLA N° 81. Especímenes ensayados a compresión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno.....	195
TABLA N° 82. Especímenes ensayados a compresión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional.....	196
TABLA N° 83. Especímenes ensayados a compresión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno	197
TABLA N° 84. Especímenes ensayados a flexión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado	198
TABLA N° 85. Especímenes ensayados a flexión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno.....	199
TABLA N° 86. Especímenes ensayados a flexión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional.....	200
TABLA N° 87. Especímenes ensayados a flexión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno	201
TABLA N° 88. Especímenes ensayados a flexión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado	202
TABLA N° 89. Especímenes ensayados a flexión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno.....	203
TABLA N° 90. Especímenes ensayados a flexión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional.....	204
TABLA N° 91. Especímenes ensayados a flexión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno	205
TABLA N° 92. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado (I-D-2), 7 días	206
TABLA N° 93. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno (I-D-FPP-3), 7 días.....	207
TABLA N° 94. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional (II-D-AP-5), 7 días	208
TABLA N° 95. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno (II-D-AP-FPP-1)	209

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN N° 1. Fotografía satelital de la ubicación del estudio.....	50
IMAGEN N° 2. Agregado grueso utilizado en diseños de mezcla	51
IMAGEN N° 3. Cemento tipo I – Pacasmayo utilizado en diseños de mezcla.....	52
IMAGEN N° 4. Aditivo Sikament 290N utilizado en diseños de mezcla.....	53
IMAGEN N° 5. Fibra de Polipropileno utilizado en diseños de mezcla.....	54
IMAGEN N° 6. Elaboración de especímenes de concreto ecológico	70
IMAGEN N° 7. Curado inicial del concreto ecológico.....	71
IMAGEN N° 8. Curado estándar del concreto ecológico	71
IMAGEN N° 9. Ensayo de asentamiento del concreto ecológico.....	72
IMAGEN N° 10. Ensayo de densidad de masa del concreto ecológico en estado fresco	73
IMAGEN N° 11. Ensayo de densidad de masa del concreto ecológico en estado endurecido	73
IMAGEN N° 12. Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura	74
IMAGEN N° 13. Verificación del tipo de fractura en los especímenes de concreto ecológico.....	74
IMAGEN N° 14. Ensayo a flexión de especímenes de concreto ecológico.....	75
IMAGEN N° 15. Medición de las deformaciones de los especímenes de concreto ecológico	77
IMAGEN N° 16. Equipo de ensayo de permeabilidad recomendado por el ACI 522R-10	78
IMAGEN N° 17. Ensayo de permeabilidad de especímenes de concreto ecológico	79
IMAGEN N° 18. Espécimen normal de diseño (I-D) ensayado a compresión	90
IMAGEN N° 19. Espécimen normal de diseño más fibras de polipropileno (I-D-FPP) ensayado a compresión	90
IMAGEN N° 20. Espécimen normal de diseño más aditivo polifuncional (II-D-AP) ensayado a compresión	91
IMAGEN N° 21. Espécimen normal de diseño más aditivo polifuncional y fibra de polipropileno (II-D-AP-FPP) ensayado a compresión.....	91
IMAGEN N° 22. Espécimen normal de diseño (I-D) ensayado a flexión	94
IMAGEN N° 23. Espécimen normal de diseño más fibras de polipropileno (I-D-FPP) ensayado a flexión.....	95
IMAGEN N° 24. Espécimen normal de diseño más aditivo polifuncional (II-D-AP) ensayado a flexión.....	95
IMAGEN N° 25. Espécimen normal de diseño más aditivo polifuncional y fibra de polipropileno (II-D-AP-FPP) ensayado a flexión	96
IMAGEN N° 26. Punto y modo de medición del ancho de fisura en ensayos a flexión.....	97
IMAGEN N° 27. Punto y modo de medición del largo de fisura en ensayos a flexión	99
IMAGEN N° 28. Extracción de agregados de la cantera La Victoria.....	210
IMAGEN N° 29. Agregado grueso para la elaboración del concreto ecológico.....	210

IMAGEN N° 30. Agregado grueso para la elaboración del concreto ecológico.....	210
IMAGEN N° 31. Tamizado del agregado grueso luego dl ensayo de Abrasión.....	210
IMAGEN N° 32. Ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso.....	210
IMAGEN N° 33. Ensayo de peso unitario compactado del agregado fino.....	210
IMAGEN N° 34. Ensayo análisis granulométrico del agregado grueso.....	211
IMAGEN N° 35. Preparación del agregado grueso para el ensayo de peso específico.....	211
IMAGEN N° 36. Preparación del agregado fino para el ensayo de peso específico.....	211
IMAGEN N° 37. Ubicación de la cantera.....	211
IMAGEN N° 38. Ensayo de abrasión del agregado grueso en la Maquina de los Ángeles.....	211
IMAGEN N° 39. Ensayo de contenido de humedad del agregado grueso y fino.....	211
IMAGEN N° 40. Proceso de mezclado de materiales.....	212
IMAGEN N° 41. Consistencia seca del concreto ecológico.....	212
IMAGEN N° 42. Proceso para el ensayo de revenimiento.....	212
IMAGEN N° 43. Ensayo de revenimiento.....	212
IMAGEN N° 44. Elaboración de testigos cilíndricos.....	213
IMAGEN N° 45. Compactado de la mezcla en la elaboración de testigos cilíndricos.....	213
IMAGEN N° 46. Obteniendo el peso de los testigos cilíndricos.....	213
IMAGEN N° 47. Desencofrado de los especímenes cilíndricos.....	213
IMAGEN N° 48. Curado de especímenes cilíndricos y prismáticos del concreto ecológico.....	213
IMAGEN N° 49. Medición de especímenes cilíndricos con el uso de vernier.....	213
IMAGEN N° 50. Peso de especímenes cilíndricos en estado endurecido.....	214
IMAGEN N° 51. Colocación de especímenes cilíndricos en la maquina Hidráulica de compresión.	214
IMAGEN N° 52. Ensayo a compresión de especímenes cilíndricos.....	214
IMAGEN N° 53. Falla típica de especímenes cilíndricos de concreto ecológico.....	214
IMAGEN N° 54. Fractura de especímenes cilíndricos de concreto ecológico.....	214
IMAGEN N° 55. Especímenes de concreto ecológico después del ensayo a compresión.....	214
IMAGEN N° 56. Fibras de polipropileno, usadas como adición para el concreto ecológico.....	215
IMAGEN N° 57. Pesando la cantidad necesaria de las fibras de polipropileno para cada tanda..	215
IMAGEN N° 58. Adición de la fibras de polipropileno a la preparación de tanda.....	215
IMAGEN N° 59. Mezcla de concreto ecológico con adición de fibras de polipropileno.....	215
IMAGEN N° 60. Aditivo polifuncional Sikament 290N utilizado en la mezcla de concreto ecológico	215
IMAGEN N° 61. Dosificación del aditivo polifuncional Sikament 290N utilizado en la mezcla de concreto ecológico.....	215
IMAGEN N° 62. Combinado del aditivo polifuncional Sikament 290N con el agua de mezcla utilizado en la mezcla de concreto ecológico.....	216

IMAGEN N° 63. Colocación de del aditivo combinada con el agua de mezcla en la preparación de la tanda para la mezcla de concreto ecológico.	216
IMAGEN N° 64. Elaboración de Vigas prismáticas, para el ensayo a flexión	216
IMAGEN N° 65. Vigas prismáticas, para el ensayo a flexión en proceso de curado.	216
IMAGEN N° 66. Vigas prismáticas, para el ensayo a flexión	216
IMAGEN N° 67. Medición de las vigas prismáticas.	216
IMAGEN N° 68. Colocación de las vigas prismáticas en la maquina universal de ensayos, para el ensayo a flexión.....	216
IMAGEN N° 69. Ensayos a flexión de vigas prismáticas.....	216
IMAGEN N° 70. Falla típica en la parte central de las vigas prismáticas de concreto ecológico	217
IMAGEN N° 71. Fractura de viga prismática de concreto ecológico.....	217
IMAGEN N° 72. Verificando la permeabilidad del concreto ecológico en espécimen cilíndrico	217
IMAGEN N° 73. Equipo de permeámetro de carga variable para realizar el ensayo de permeabilidad del concreto ecológico.....	217
IMAGEN N° 74. Realizando los especímenes cilíndricos de 10cm x 15cm para el ensayo de permeabilidad.....	218
IMAGEN N° 75. Especímenes cilíndricos de 10cm x 15cm para ensayo de permeabilidad.....	218
IMAGEN N° 76. Inicio del ensayo de permeabilidad del concreto ecológico con el espécimen cilíndrico.....	218
IMAGEN N° 77. Final del ensayo de permeabilidad del concreto ecológico con el espécimen cilíndrico.....	218

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1. Relación Porosidad versus Porcentaje de agregado	15
GRÁFICO N° 2. Resistencia a la Compresión vs Contenido de Aire en Especímenes de Concreto Permeable.....	16
GRÁFICO N° 3. Resistencia a la Compresión versus Peso Unitario en Concreto Permeable	17
GRÁFICO N° 4. Contenido de Aire para dos Grados de Compactación versus la Relación agua/material cementante (a/mc).	18
GRÁFICO N° 5. Resistencia a la Flexión en Vigas versus Contenido de Vacíos	19
GRÁFICO N° 6. Comparación entre la Resistencia a la Flexión versus Resistencia a la Compresión.	20
GRÁFICO N° 7. Relación de la Resistencia a la Flexión versus Porcentaje de Porosidad	20
GRÁFICO N° 8. Tamaño de Poro versus Tamaño de Agregado.....	22
GRÁFICO N° 9. Tamaño de Poro versus Porcentaje de Agregado más grande.....	23
GRÁFICO N° 10. Percolación versus Contenido de Vacíos en cilindros.....	24
GRÁFICO N° 11. Coeficiente de seguridad de colmatación.....	42
GRÁFICO N° 12. ACI 211.3R-02 Apéndice 7, 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.	58
GRÁFICO N° 13. ACI 211.3R-02 Apéndice 7, 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).	59
GRÁFICO N° 14. ACI 211.3R-02 Apéndice 7, Relación entre pasta y contenido de vacíos para agregados de Tamaño N° 67 según designación de la Norma ASTM C 33.	59
GRÁFICO N° 15. Asentamiento vs Tipo de mezcla.....	83
GRÁFICO N° 16. Peso unitario del concreto en estado fresco vs Tipo de mezcla	85
GRÁFICO N° 17. Peso unitario del concreto en estado endurecido vs Tipo de mezcla	86
GRÁFICO N° 18. Promedio de ensayos a compresión a edad de 7 días y diferentes tipos de mezclas	87
GRÁFICO N° 19. Promedio de ensayos a compresión a edad de 14 días y diferentes tipos de mezclas	88
GRÁFICO N° 20. Promedio de ensayos a compresión a edad de 28 días y diferentes tipos de mezclas	88
GRÁFICO N° 21. Consolidado de los promedios de ensayos a compresión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas.....	89
GRÁFICO N° 22. Promedio de ensayos a flexión, a edad de 7 días y diferentes tipos de mezclas	92

GRÁFICO N° 23. Promedio de ensayos a flexión, a edad de 28 días y diferentes tipos de mezclas	93
GRÁFICO N° 24. Consolidado de los promedios de ensayos a compresión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas.....	93
GRÁFICO N° 25. Promedio de anchos de fisura en especímenes ensayados a flexión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas	97
GRÁFICO N° 26. Promedio de longitudes de fisura en especímenes ensayados a flexión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas	98
GRÁFICO N° 27. Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas, método ACI 318	100
GRÁFICO N° 28. Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas, método ASTM C469	101
GRÁFICO N° 29. Consolidado de los promedios de la permeabilidad real y la permeabilidad estimada.....	104
GRÁFICO N° 30. Costo de la unidad cúbica de concreto en función a diferentes tipos de mezcla y su respectiva resistencia a la compresión a los 28 días	106
GRÁFICO N° 31. Consolidado del análisis granulométrico del agregado Fino.....	124
GRÁFICO N° 32. Consolidado análisis granulométrico del agregado grueso	127
GRÁFICO N° 33. Intensidad vs Tiempo (para distintos tiempos de retorno)	179
GRÁFICO N° 34. Intensidad vs Tiempo (para 10 años tiempo de retorno).....	180
GRÁFICO N° 35. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado (I-D-2), 7 días	206
GRÁFICO N° 36. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno (I-D-FPP-3), 7 días	207
GRÁFICO N° 37. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional (II-D-AP-5), 7 días	208
GRÁFICO N° 38. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno (II-D-AP-FPP-1), 7 días.	209

GLOSARIO

ACI	American Concrete Institute.
ACI 522.1-08	Especificaciones para Pavimentos de Concreto Permeable.
ACI 522.R-10	Reporte sobre concreto permeable
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Cemento Portland	Es un cemento hidráulico que cuando se mezcla con áridos, agua y fibras de acero 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.
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile.
Nivel freático	Nivel donde la presión de agua de un acuífero es igual a la presión atmosférica.
NRMCA	Nacional Ready Mixed Concrete Association
NTP	Normas técnicas peruanas
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, cuyas medidas son 30 cm de altura, 10 cm en su base superior y 20 cm en su base de apoyo (llamado cono de Abrams).
SIKAMENT 290N	Es un aditivo polifuncional para concretos que puede ser empleado como plastificante o superplastificante según la dosificación utilizada.
SIKAFIBER ® PE	Es un refuerzo de fibra de polipropileno modificada que evita el agrietamiento de concretos y morteros.

RESUMEN

Este trabajo de investigación se desarrolló con el propósito de diseñar una mezcla de concreto ecológico con fibras de polipropileno, que cumpla con las resistencias mecánicas adecuadas para el uso en pavimentos rígidos y que permita un buen drenaje en su colocación final, para ello se realizó una serie de ensayos experimentales del concreto ecológico para encontrar una dosificación óptima de diseño. Para lograr este objetivo se elaboraron 132 especímenes, divididos en cuatro grupos de acuerdo al tipo de dosificación, los cuales fueron denominados de acuerdo a sus componentes: I-D (Etapa I - diseño inicial reajustado), I-D-FPP (Etapa I - diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno), II-D-AP (Etapa II - diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional), II-D-AP-FPP (Etapa II - diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno).

El diseño de mezclas del concreto ecológico se realizó de acuerdo a los criterios de las normas ACI 211.3R - 97 y ACI 522R-10 para diseño de concretos permeables, siendo los materiales utilizados agregados de la cantera "La Victoria" con la granulometría adecuada para el diseño, cemento Portland tipo I Pacasmayo, fibra de polipropileno SIKAFIBER® PE de 19mm de longitud y aditivo polifuncional SIKAMENT® - 290N.

Los resultados experimentales en los especímenes cilíndricos y prismáticos mostraron que la dosificación óptima I-D-FPP presenta a los 28 días una resistencia a compresión de 17.67 MPa (180.18 kg/cm²), a flexión de 2.80 MPa (28.55 kg/cm²) y una permeabilidad de 21.32 mm/s, los cuales cumplen con los parámetros para ser utilizados en pavimentos tanto en los aspectos estructurales e hidráulico, pero la trabajabilidad y el manejo de dicha mezcla no es adecuado por lo que se ha utilizado el aditivo polifuncional de tal manera poder mejorar dichas características teniendo así la dosificación final (II-D-AP-FPP) cuyos resultados a los 28 días se tiene una resistencia a compresión de 18.67 MPa (190.38 kg/cm²), a flexión de 3.01 MPa (30,69 kg/cm²) y una permeabilidad de 21.53 mm/s.

Palabras claves: Concreto ecológico, aditivo polifuncional, fibras de polipropileno, permeabilidad, densidad del concreto.

ABSTRACT

The research was developed with the purpose of designing a concrete mixture ecological polypropylene fiber that meets the mechanical strength suitable for use in rigid pavements, so allowing good drainage at its disposal for this purpose a series of experimental tests of particular ecological was performed to find optimum dosage design. To achieve this goal 132 specimens divided into four groups according to the dosage rate, which were named according to their components were made: - ID-FPP (Phase I ID (initial design redesigned Stage I) - initial design redesigned with polypropene fibers), II-D-AP (Step II - initial design readjusted with polyfunctional additive), II-D-AP-FPP (Stage II - initial design readjusted with polyfunctional additive and polypropylene fibers).

The concrete mix design eco is performed according to the criteria of the standard ACI 211.3R - 97 and ACI 522R-10 for design of concrete permeable materials being used aggregates quarry "La Victoria" with the appropriate particle size for the design, Portland cement type I Pacasmayo, PE SIKAFIBER® polypropylene fiber 19mm long and multifunctional additive Sikament® - 290N.

The experimental results in cylindrical and prismatic specimens showed that the optimal dosage ID-FPP presented at 28 days compressive strength of 17.67 MPa (180.18 kg / cm²), bending of 2.80 MPa (28.55 kg / cm²) and a permeability 21.32 mm / s, which meet the parameters for use in pavements in both structural and hydraulic aspects, but workability and handling of said mixture is not suitable so that the polyfunctional additive used so power thus having these characteristics improve the final dosage (II-D-AP-FPP) the results after 28 days has a compressive strength of 18.67 MPa (190.38 kg / cm²), bending of 3.01 MPa (30.69 kg / cm²) and a permeability of 21.53 mm / s.

Keywords: Concrete organic polyfunctional additive , polypropylene fibers , permeability , density of concrete

Capítulo I



Introducción

1.0. INTRODUCCIÓN

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 aplicados 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.

En los últimos años 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 de bajo volumen de tránsito, calles, ciclovías, estacionamientos, etc.

El concreto ecológico cuya características 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, por este motivo se usara la metodología del ACI 544 para Concreto reforzado con fibras (Concreto Fibroreforzado). Para el presente trabajo se usó la fibra de polipropileno denominada SIKAFIBER® PE, cuya longitud es de 19mm y cuyas características y dosificaciones se tomara de la hoja técnica de dicho producto. Por otra parte se han realizado diversas investigaciones en los países de Colombia, México, España, San Salvador, etc., sobres las propiedades de los concretos permeables, concretos permeable ecológico, concreto poroso, cuyas características son similares. Cabe mencionar que el año 2007 se aperturó la línea de investigación con esta tecnología en nuestra Universidad Nacional de Cajamarca cuyo título es: "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POROSO CON AGREGADOS DE LA CANTERA LA VICTORIA, CEMENTO PÓRTLAND TIPO I CON ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO, Y SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS, EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA" encabezados por los bachilleres en

ingeniería civil Azañedo Medina, Wiston H. - Chávez Juanito, Helard. - Muñoz Valdivia, Richard G., y cuyas bases servirán el presente trabajo de investigación.

En la ciudad de Cajamarca cuando se presenta el periodo de invierno se produce fuertes lluvias y sus calles son inundadas, por lo que se necesitan tener como una opción de solución técnica, al uso del concreto ecológico debido al comportamiento que posee como pavimento permeable.

Este trabajo de investigación aborda el estudio y diseño del concreto ecológico para su aplicación en pavimentos rígidos, de manera que permita alcanzar una permeabilidad adecuada sin que esta comprometa su resistencia y pueda ser utilizada como una propuesta técnica para nuestra ciudad de Cajamarca.

1.1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las superficies de pavimento reciben grandes volúmenes de agua de lluvias en épocas de invierno que termina desperdiciándose al dirigirla directamente a los alcantarillados tratándola como agua residual sin ser aprovechados.

En este contexto se ha considerado el estudio de concreto ecológico con fibras de polipropileno con agregados de la zona de Cajamarca, de tal manera poder contrarrestar 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, sino 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 dicho 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), generando problemas crecidas repentinas del nivel de agua, conllevando a inundaciones repentinas en zonas aledañas y/o zonas bajas.
- 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 mantenimientos 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.

- 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 (suelos impermeables) lo que ocasiona una disminución del nivel freático de los mantos acuíferos.

De los problemas anteriormente mencionados y percibir que no existen pruebas ni estudio del concreto ecológico con fibras de polipropileno es indispensable el estudio del mismo en nuestro medio y aplicarlo, debido a que nuestra ciudad presenta fuertes lluvias en épocas del año.

1.1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

A partir de la problemática genérica, mencionada anteriormente, ha sido posible delimitar el presente problema de investigación, para lo cual se plantearon las siguientes interrogantes:

¿Cuál es la metodología para el diseño de mezcla del concreto ecológico con fibras de polipropileno?

¿Cómo se adapta la normativa vigente al diseño de mezcla del concreto ecológico con fibras de polipropileno?

¿Los agregados de la ciudad de Cajamarca cumplen con las normas técnicas para ser empleado en el diseño de mezclas para un concreto ecológico?

1.1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El planteamiento del problema de investigación y su correspondiente delimitación han permitido definir el problema de investigación, en los siguientes términos.

¿Cumple la mezcla de concreto ecológico con fibras de polipropileno con las resistencias mecánicas adecuadas para su uso en pavimentos rígidos, que permitan un buen drenaje en su colocación final?

1.2. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Hipótesis General

- La mezcla de concreto ecológico con fibras de polipropileno, cumple con las resistencias mecánicas adecuadas para su uso en pavimentos rígidos, cumpliendo con las exigencias de un buen drenaje.

Hipótesis específicas

- La mezcla de concreto ecológico con fibras de polipropileno presentan una resistencia a la compresión superior a 175 kg/cm^2 y una densidad menor que un concreto convencional ($< 2200 \text{ kg/m}^3$).

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar la mezcla de concreto ecológico con fibras de polipropileno, que cumplan con los requerimientos mecánicos, permeables y de densidad, que define a un concreto permeable según las normas técnicas vigentes para su uso en pavimentos rígidos.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la metodología apropiada para diseñar una mezcla de concreto ecológico con fibras de polipropileno.
- Caracterizar los agregados para la utilización de una mezcla de concreto ecológico con fibras de polipropileno.
- Evaluar las propiedades físico-mecánicas de las mezclas de concreto ecológico con fibras de polipropileno, por medio de ensayos de laboratorio aplicados para concretos convencionales.

Variable independiente

Las fibras de polipropileno y las propiedades de los materiales en la obtención de la mezcla de concreto ecológico.

Variable dependiente

Resistencia mecánica y los costos de elaboración de la mezcla de concreto ecológico con fibras de polipropileno.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Este concreto permite tener un pavimento eficiente y también permite 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, como una alternativa para la ejecución de pavimentos rígidos en nuestro país.

La infraestructura vial y telecomunicaciones es un problema de la ciudad de Cajamarca ya que se evidencia un atraso considerable, que le cuesta al MTC S/. 4,536 millones anuales, de las cuales S/. 2,908 millones destinados en rehabilitación y mejoramiento de carreteras y S/. 192 millones en conservación y mantenimiento periódico de vías (MTC, infraestructura vial, José Gallardo, marzo 2015). Dentro de esta problemática, las alternativas en materiales y aplicaciones, deben ser vistas como válidas para solucionar dicha problemática, y a su vez diseñar y construir obras que estén a la par con innovación y protección ambiental.

En cuanto a este último tema, la construcción de infraestructura vial con concretos ecológicos, permite que el desarrollo urbanístico esté de la mano con la sostenibilidad, la cual es modelo en las ciudades de Francia, Alemania e Inglaterra. Este modelo sostenible está siendo aplicado en la actualidad a la ingeniería vial, 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 y/o alimentaciones de agua.

1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACION

Los resultados de esta investigación está dirigida a los miembros de la comunidad científica, representantes del rubro de la construcción civil, como lo son empresas constructoras, Ingenieros Civiles, maestros de obra y demás personas afines de la ciudad de Cajamarca. Asimismo servirá como fuente bibliográfica para estudiantes que deseen continuar con la investigación a la que se avoca esta tesis.

1.6. DELIMITACION Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

1.6.1. DELIMITACION

La presente investigación se realizara utilizando agregados de la cantera “La Victoria”, ubicada a orillas del rio Chonta en la carretera Cajamarca- Jesús, Cemento Portland Tipo I Pacasmayo, fibras de polipropileno, aditivo polifuncional 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 usará fibras de polipropileno y aditivo polifuncional de la marca SIKA, todo esto con el fin de mejorar el comportamiento del concreto ecológico y encontrar una dosificación óptima.

Esta tesis se inició en agosto del 2015, por lo que la información y normativa obtenida de las NTP, Normas ASTM o recomendaciones ACI, pueden variar respecto a los siguientes años.

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

1.6.2. LIMITACIONES

En Perú, no ha sido ampliamente estudiado el concreto ecológico con fibras de polipropileno ni sus bondades y posibles aplicaciones en obras viales, es por ello que se ha realizado escasos estudios acerca de sus propiedad y usos, también se han desarrollado trabajos de investigación a nivel Pre Grado y Pos Grado en países como; Colombia, México y Centro América, sin embargo la poca información en nuestro medio se convierte en un limitante para el desarrollo de la tesis.

Otra de las limitaciones de este trabajo es que se hará únicamente el diseño de la mezcla del concreto ecológico con fibras de polipropileno y su aplicación en pavimentos rígidos, con un solo tipo de cemento, un solo tipo de aditivo y agregado grueso obtenido de una sola cantera.

En esta investigación no se estudió la durabilidad, propiedades térmicas ni químicas del concreto ecológico, ya que en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca no cuenta con equipos ni ambientes necesarios para estudiar las mencionadas propiedades.

Capítulo II



Marco Teórico

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

El concreto ecológico es una clase especial de concreto cuya característica principal es que cuenta con un alto porcentaje de porosidad en su estructura motivo por lo cual sus antecedentes se basan en estudios del concreto permeable o concreto poroso.

El primer registro de aplicación en construcción del concreto permeable (concreto sin finos o arena) data del año 1852 (ACI 522R-10, 2010) 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.

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 (Offenberg, 2008), que se caracterizaron por su eficiencia constructiva y buenas condiciones de aislamiento.

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.

Actualmente, la aplicación más común del concreto permeable es en pavimentos de bajo tráfico en calles residenciales, parqueaderos, parques, áreas para peatones y bicicletas.

2.1.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Vigil Sanchez, Marlon Ebiezer, en el año 2013, San Salvador, Republica de El Salvador, estudiaron el diseño, proceso constructivo y evaluación post construcción de un pavimento rígido de concreto permeable. Concluyeron que las propiedades mecánicas e hidráulicas fueron 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 López Alejandra, Quiroz Lasprilla Diana P., en el año 2013, Bogotá - Colombia, estudiaron los Pavimentos Porosos utilizados como sistemas alternativos al Drenaje Urbano. 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, por lo cual en nuestro medio este factor podría ser una limitante para la aplicación de este sistema de drenaje alternativo de manera generalizada y a escalas urbanas importantes.

Barahaona Aguiluz R., Martínez Guerreo M., Zelaya Zelaya S., en el año 2013, El Salvador - Centro América estudio); estudiaron 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 Díaz Brian, Martínez Llorente Omar, en el año 2014, Cartagena - Colombia, realizaron el diseño de un campo de prueba piloto de pavimentos permeables en la ciudad de Cartagena. 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.

Felipe Mour Yail, Castañeda U. Luis en el año 2014, Bogotá – Colombia, realizaron el diseño y aplicación de concreto poroso en pavimentos. Concluyeron que la relación que existe entre la porosidad y la resistencia del concreto es 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.

2.1.3. ANTECEDENTES NACIONALES

Yaneth Verónica Calderón Colca, Juan Antonio Charca Chura, Director Msc. Calixtro Yanqui Murillo, en el año 2013, Arequipa – Perú, estudiaron al concreto poroso. Concluyeron el alto coeficiente de permeabilidad, 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.

2.1.4. ANTECEDENTES LOCALES

Azañedo Medina W. H., Chávez Juanito H., Muñoz Valdivia R. G., en el año 2007 en Cajamarca – Perú, estudiaron el diseño de un concreto poroso, utilizando agregados de la cantera La Victoria, con cemento Portland tipo I con adición de tiras de plástico, con resistencias mecánicas adecuadas para el uso en pavimentos. Concluyeron que la tira óptima 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 pudo comprobar un alto grado de porosidad, menor peso unitario que el concreto normal.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CONCRETO ECOLOGICO

2.2.1.1. DEFINICION

El concreto ecológico también denominado como concreto permeable o concreto poroso.

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. (Ref. Cemex, Puerto Rico, 2010)

El término "concreto ecológico" generalmente describe un asentamiento cero, granulometría clasificado, 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 tasa 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. (Ref. American Concrete Institute ACI 522R-10, Nacional Ready Mixed Concrete Association NRMCA – Pórtland Cement Association, Revista BIT Junio 2002)

2.2.1.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CONCRETO ECOLÓGICO

VENTAJAS

Entre las ventajas del concreto permeable aplicado a pavimentos rígidos tenemos:

- Toda la superficie del pavimento es 100 % permeable.
- Se eliminan los charcos.
- 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 colorante en la mezcla, mejorando la estética urbana.

- Reduce gastos en estructuras de drenaje urbanos.

DESVENTAJAS

- Una de la grandes desventajas de concreto permeable es su costo muy elevado y su instalación también.
- El tipo de mantenimiento es por hidrolavado o aspiración de sedimentos.
- Muchos casos en la temporada de clima frío se llegan a presentar problemas tales como llegar a taparse los poros y arrastrar las cloruros de agua subterránea.
- No se considera su uso cuando el suelo llega a tener una pendiente mayor al 20%.

2.2.1.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO ECOLOGICO

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 (Ghafoori 1995; Wanielista et al. 2007).

2.2.1.2.1 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. (Ref. Tesis “Comportamiento del Concreto Permeable utilizando agregado grueso de las canteras, el Carmen, Aramuaca y La Pedrera, de la zona oriental de el salvador, Barahona Aguiluz, Rene Alexis, Martínez Guerrero, Marlon Vladimir y Zelaya Zelaya, Steven Eduardo, San Miguel, El Salvador, Centro América, 2013”)

B. Contenido de Vacíos y Peso Unitario

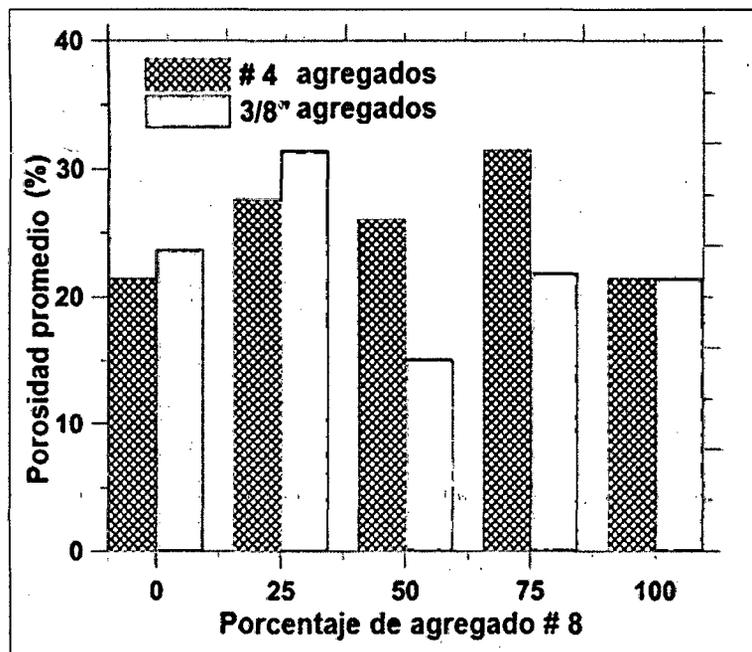
El peso unitario (densidad) del concreto varia, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. En el 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/m³ y 1920kg/m³, la cual es ideal para aplicar en pavimentos de baja intensidad.

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. (Ref. Tesis "Desarrollo y uso de bloques de concreto permeable en senderos ecológicos, Natalia Ixchel Rodas Ralda, Guatemala, 2012)

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

La influencia de la graduación del agregado en la porosidad de las muestras de concreto permeable preparadas en laboratorio se muestra en el GRÁFICO N° 1. Una gama de porosidad se puede obtener mediante la mezcla de agregados de dos tamaños diferentes (Neithalath 2004). 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.



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

GRÁFICO N° 1. Relación Porosidad versus Porcentaje de agregado

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 (Meininger 1988), 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). El GRÁFICO N° 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 et al. 2006).

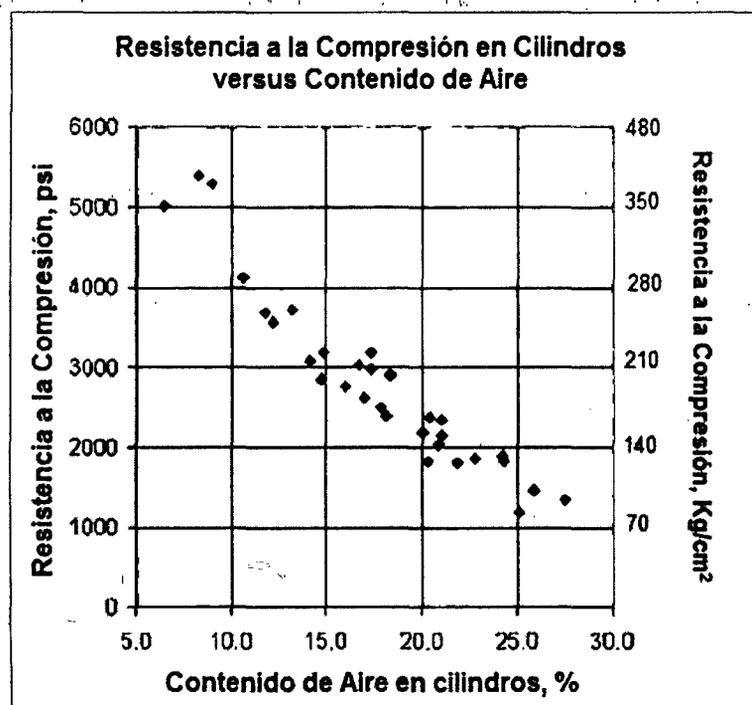
C. Elaboración de cilindros

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 4 x 2 pulgadas en dos capas, consolidándolos por medio de 20 golpes por capa con el martillo de Proctor Estándar (5 libras).

2.2.1.2.2 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. El GRÁFICO N° 2 muestra la relación entre la resistencia a la compresión y el contenido de vacíos en cilindros de concreto permeable (Meininger, 1988) 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.

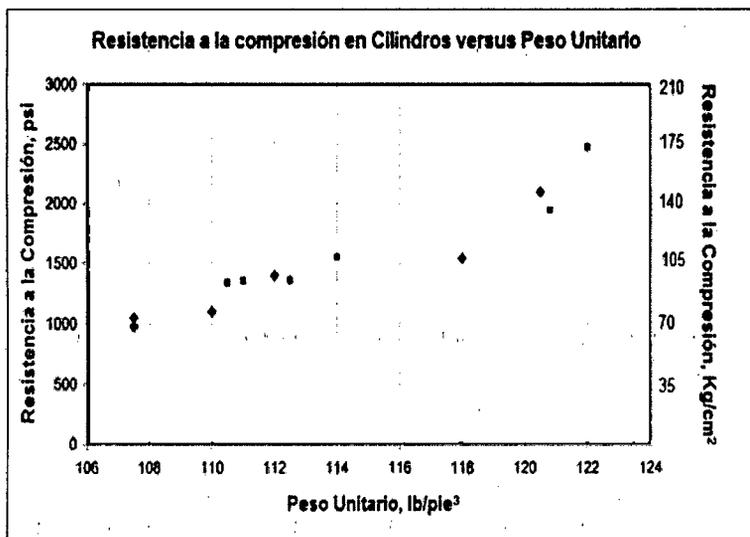


Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

GRÁFICO N° 2. Resistencia a la Compresión vs Contenido de Aire en Especímenes de Concreto Permeable.

El GRÁFICO N° 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 et al. 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 y Guoliang 2003). Crouch (2006) reporta que un incremento en el módulo de finura del agregado reduce la resistencia a la compresión. Mahboub (2008) previene que la resistencia a la compresión de los núcleos extraídos en campo puede ser significativamente diferente a los cilindros moldeados para ensayo.

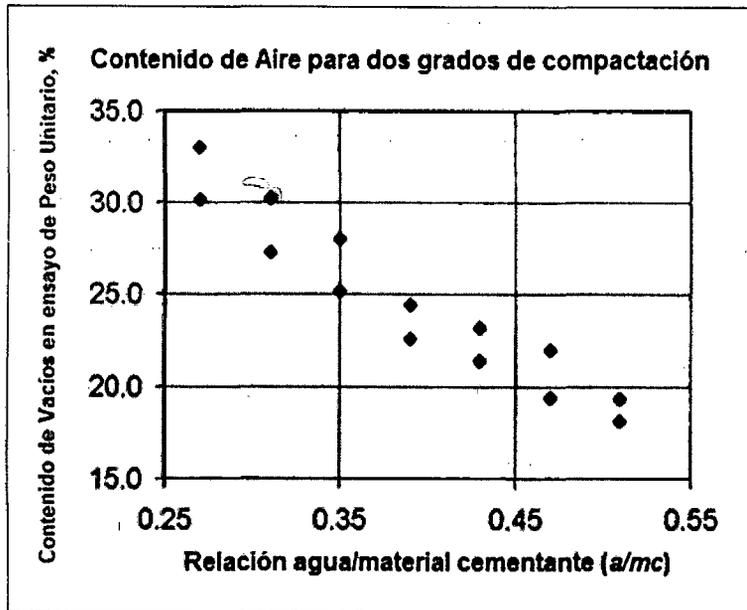


Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

GRÁFICO N° 3. Resistencia a la Compresión versus Peso Unitario en Concreto Permeable

En el GRÁFICO N° 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/mc 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/mc no aplica a las propiedades del concreto permeable. Una relación alta de a/mc puede causar que la pasta fluya en el agregado, llenando la estructura de vacíos. Una baja relación a/mc puede causar una adherencia pobre entre las partículas del agregado y por ende problemas en la colocación del concreto permeable.



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

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

El GRÁFICO N° 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).

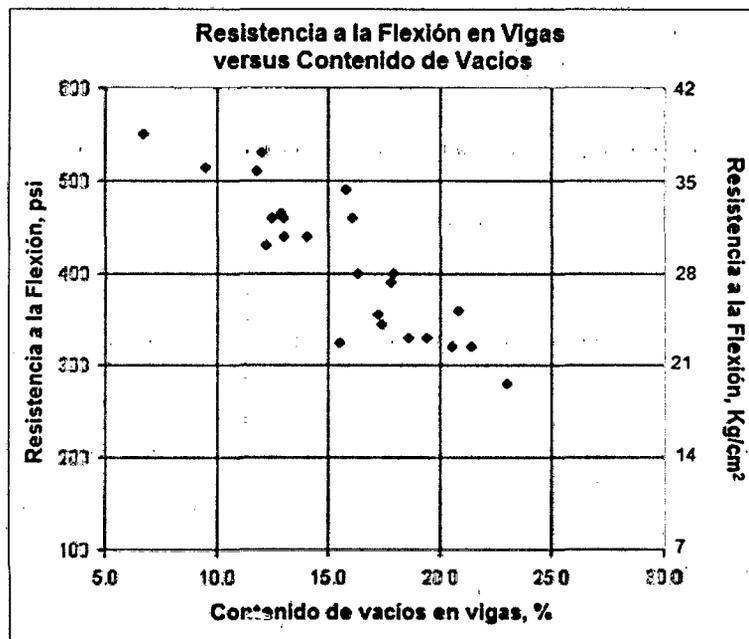
El total del contenido de material cementante de una mezcla de concreto permeable es importante para el desarrollo de la resistencia a la compresión y contenido de vacíos. Un contenido de pasta excesiva puede resultar con sellos en la estructura de vacíos, y así reducir la porosidad. Un contenido insuficiente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

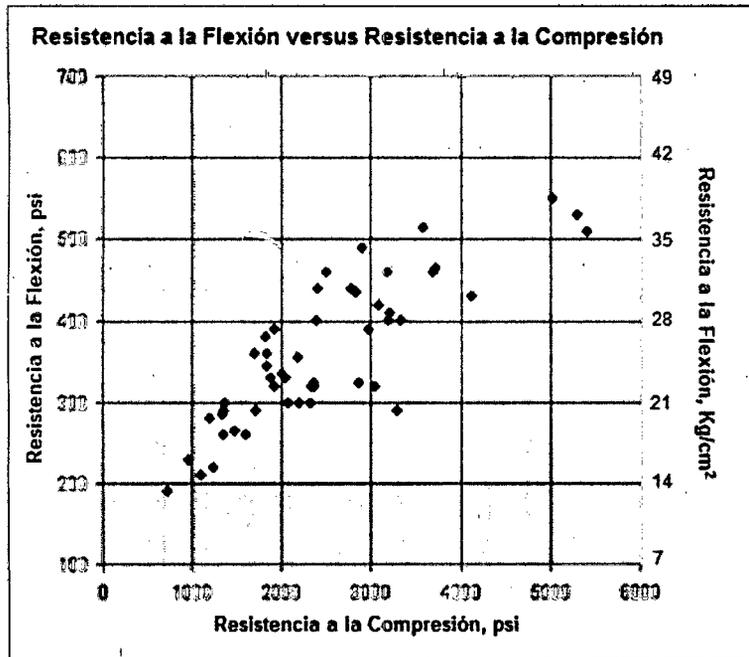
El GRÁFICO N° 5 (Meininger, 1988) muestra la relación entre la resistencia a flexión del concreto permeable y contenido de vacío basado en vigas ensayadas en la misma serie de ensayos de laboratorios. Aunque estos resultados están basados en un número limitado de especímenes, comparando los datos de las GRÁFICO N° 2 y GRÁFICO N° 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.



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

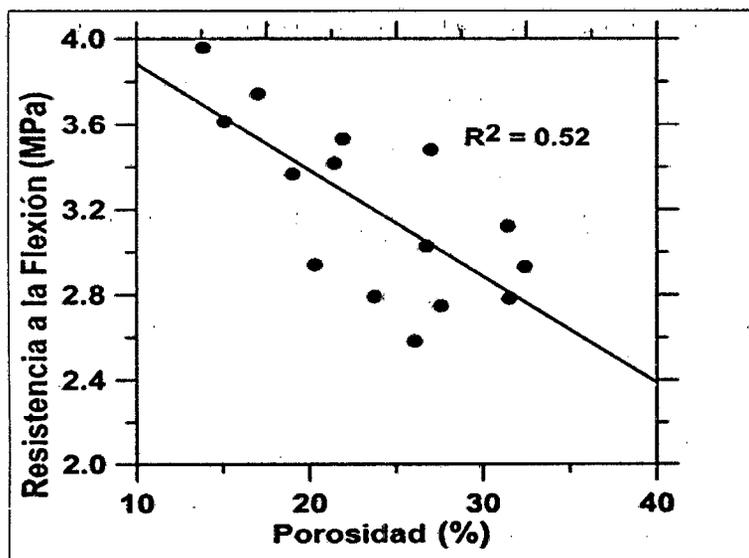
GRÁFICO N° 5. Resistencia a la Flexión en Vigas versus Contenido de Vacíos

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



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

GRÁFICO N° 6. Comparación entre la Resistencia a la Flexión versus Resistencia a la Compresión.



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

GRÁFICO N° 7. Relación de la Resistencia a la Flexión versus Porcentaje de Porosidad

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 ¼ a 3/8 de pulgada (6 a 10 mm) y teniendo una porosidad del 25% (Nissoux, 1993; Brite, Reporte Euram 1994). Crouch investigó 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 y Shah (1985) para prefabricados de concreto.

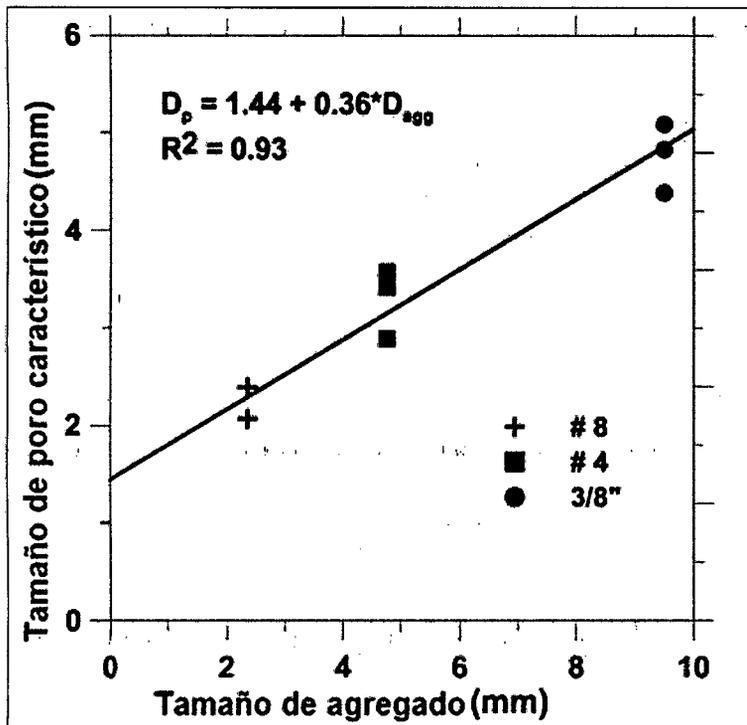
$$fr = 0.083 f'c^{2/3} \text{ (Sistema Inglés)}$$

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

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; Neithalath et al 2006). 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 y Phillips, 1994). El GRÁFICO N° 8 y GRÁFICO N° 9 muestran 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. Sustituyendo los agregados de menor diámetro con un porcentaje creciente de mayor diámetro de agregado grueso aumenta el tamaño de los poros. Esto es porque el grueso de partículas introducidas puede no ser capaz de encajar en el vacío dejado por las partículas más finas (Neithalath 2004; Neithalath et al 2003).

La estructura de los poros del concreto permeable es fundamental en todos los 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.

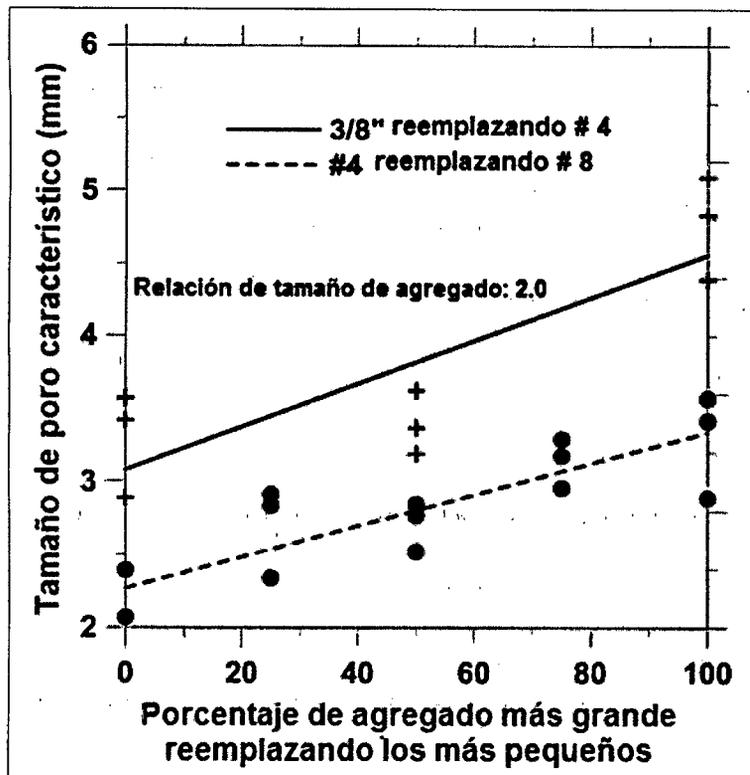


Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

GRÁFICO N° 8. Tamaño de Poro versus Tamaño de Agregado

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.



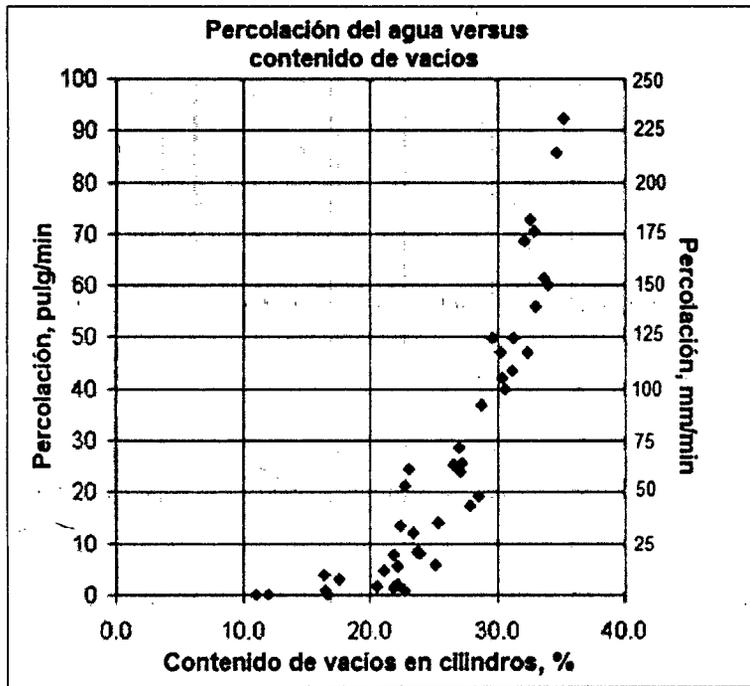
Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

GRÁFICO N° 9. Tamaño de Poro versus Porcentaje de Agregado más grande

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/Informe Euram 1994). En otro estudio (Nissoux et al. 1993) se informa de una permeabilidad de 36 L/m²/s (0,88gal./pie²/s).

El GRÁFICO N° 10 (Meininger 1988) 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.



Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

GRÁFICO N° 10. Percolación versus Contenido de Vacíos en cilindros

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 utilizaran 40 libras de agua para la prueba definitiva, de otra manera se utilizara 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 ECOLOGICO

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 y ASTM D448-07. 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 $\frac{3}{4}$ a $\frac{3}{8}$ 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).

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:

TABLA N° 1. Influencia de los Agregados en el Concreto Permeable en Estado Fresco y Endurecido

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 Especifica)	<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">▪ Pérdida 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

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

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, ASTM C 595 / NTP 334.090 y ASTM C 1157 / NTP 334.090.

La cantidad de material cementante que se le agregue al concreto permeable afectara 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, debe ser potable, y por lo tanto, estar libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasas, materia orgánica, etc., y además cuyas propiedades y contenidos de sustancias disueltas estén comprendidas dentro de los siguientes límites.

TABLA N° 2. Límites permisibles para el agua de mezcla y curado según la 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 (ión SO ₄)	600 ppm	Máximo
Cloruros (ión 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 usa un aditivo polifuncional para concreto **Sikament® - 290N**, de **Building Trust SIKA**.

Aditivo Polifuncional para concreto Sikament® - 290N

Sikament®-290N es un aditivo polifuncional para concretos que puede ser empleado como plastificante o superplastificante según la dosificación utilizada.

Características / Ventajas

- Aumento de las resistencias mecánicas.
- Terminación superficial de alta calidad.
- Mayor adherencia a las armaduras.
- Permite obtener mayores tiempos de manejabilidad de la mezcla a cualquier temperatura.
- Permite reducir hasta el 25% del agua de la mezcla.
- Aumenta considerablemente la impermeabilidad y durabilidad del concreto.
- Facilita el bombeo del concreto a mayores distancias y alturas.

2.2.1.4.5. FIBRAS SINTETICAS

En la presente investigación se usara 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.

La fibra a utilizar son de polipropileno denominada **SIKAFIBER® PE**, de **Building Trust SIKA**.

Fibra de Polipropileno SIKAFIBER®

Sikafiber® PE, es un refuerzo de fibra de polipropileno modificada que evita el agrietamiento de concretos y morteros, está compuesto por una mezcla de monofilamentos reticulados y

enrollados. Durante la mezcla Sikafiber® PE se distribuye aleatoriamente dentro de la masa de concreto o mortero formando una red tridimensional muy uniforme.

Características / Ventajas

La adición de Sikafiber® PE, sustituye a la armadura destinada a absorber las tensiones que se producen durante el fraguado y endurecimiento del concreto, aportando las siguientes ventajas:

- Reducción de la fisuración por retracción e impidiendo su propagación.
- Aumento importante del índice de tenacidad del concreto.
- Mejora la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad.
- En mayor cuantía mejora la resistencia a la tracción y a la compresión.
- La acción del Sikafiber PE es de tipo físico y no afecta el proceso de
- hidratación del cemento.

2.2.1.4.6. OTROS MATERIALES

Dentro de otros materiales que se le puede adicionar al concreto ecológico son las Cenizas volantes, escoria de altos hornos y humo de sílice los cuales deben cumplir con los requerimientos de las normas ASTM C 618, ASTM C 989 y ASTM C 1240 respectivamente. Las adiciones con base en microsílica (humo de sílice) es del orden del 5 al 10 % del peso del cemento para lograr una alta adherencia pasta-agregado y una adecuada consistencia y tixotropía de la pasta para evitar la segregación del material y el máximo porcentaje de sustitución de cemento con éste material será del 20% a menos que pueda demostrarse mediante ensayos de laboratorio que una mayor inclusión de éste material no disminuye la calidad final del concreto permeable en términos de resistencia y durabilidad.

2.2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

Para un 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 encuentra se presentan las normas técnicas para los ensayos de laboratorio, para la elaboración de concreto ecológico.

TABLA N° 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

Fuente: Tesista

TABLA N° 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 1688	----
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	---

Fuente: Tesista

TABLA N° 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

Fuente: Tesista

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) (“INVESTIGACIÓN EN CONCRETO POROSO”, Yaneth Verónica Calderón Colca, Juan Antonio Charca Chura, Director Msc. Calixtro Yanqui Murillo, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú, 2013)

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 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 y 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 y Reese (1995) recomiendan los espesores totales de pavimentos permeables los cuales se usaran 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 N° 6. Espesores Mínimos recomendados para el total de Pavimentos Ecológicos (Debo y Reese, 1995)

GBR/Subrasante	Espesor mín. (cm)
Menos de 6	No usar pavimento ecológico
6 a 9	22.5
10 a 14	17.5
15 ó más	12.5

Fuente: Espesores Mínimos recomendados para el total de Pavimentos Ecológicos, 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 N° 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: Características estructurales de los materiales que componen las capas de base y subbase, 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 cales 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 diseñara 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 HIDRÓLOGICO

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, 2008).

El MINVU propone dos periodos de retorno para la selección de la lluvia de diseño (MINVU, 1996):

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)

El cálculo del volumen del agua que escurre de las zonas aledañas hacia el sistema, se puede realizar obteniendo la escorrentía de la zona aportante (E_s) mediante el método de la curva CN del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los EEUU, o calculando el caudal de la zona adyacente (Q_c) través del Método Racional, a continuación se muestran las ecuaciones y tablas utilizadas para cada método (Interpave, 2008).

a. Método de la curva CN:

$$E_s = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + 0.8 S}$$

Ecuación 1. Escorrentía zonas adyacentes (Fuente: Hidrología En La Ingeniería: Monsalve, 1999).

Donde:

P = Precipitación de diseño

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Ecuación 2. Retención potencial máxima S (Fuente: Hidrología En La Ingeniería: Monsalve, 1999).

Donde:

CN = número que varía en el rango de 1 a 100 que se le asigna a un tipo de superficie según sus características para permitir o no la infiltración en el terreno.

En las siguientes tablas se puede encontrar el número de CN para cada tipo de superficie con una condición de humedad antecedente **AMC II** (precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración dentro del rango de 3.6 cm a 5.3 cm), para esto es necesario primero clasificar el suelo (A, B, C, D).

Clasificación hidrológica del suelo:

- A. Bajo potencial de escorrentía.
- B. Moderadamente bajo potencial de escorrentía.
- C. Moderadamente alto potencial de escorrentía.
- D. Alto potencial de escorrentía.

Tipo de cobertura y condición hidrológica	% Promedio áreas impermeables ²	Número de curvas para grupos de suelos hidrológicos			
		A	B	C	D
<i>Áreas urbanas totalmente desarrolladas (vegetación ya establecida)</i>					
<i>Espacios abiertos (prados, parques, campos de golf, cementerios, etc)³:</i>					
Condición pobre (menos del 50% cubierto de pasto)		68	79	86	89
Condición regular (del 50% al 75% cubierto de pasto)		49	69	79	84
Condición buena (más del 75% cubierto de pasto)		39	61	74	80
<i>Áreas impermeables:</i>					
Parqueaderos pavimentados, techos, autopistas, etc. (excluyendo derecho de vía)		98	98	98	98
Calles y caminos:					
Pavimentados		98	98	98	98
Pavimentadas; zanjas abiertas (incluyendo derecho de vía)		83	89	92	93
Grava (incluyendo derecho de vía)		76	85	89	91
Tierra (incluyendo derecho de vía)		72	82	87	89
<i>Áreas desiertas urbanas occidentales:</i>					
Paisajes desérticos naturales (solamente áreas permeables) ⁴		63	77	85	88
Paisajes desérticos artificiales (barrera impermeable de maleza, arbustos de desierto con 1 a 2 pulg de diámetro; cubierta de arena ó grava y orillas de áreas húmedas)		96	96	96	96
<i>Áreas urbanas:</i>					
Comercial y de negocios	85	81	88	91	93
Industrial	72				
<i>Áreas residenciales por promedio del tamaño del lote:</i>					
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
2 acre	12	46	65	77	82
<i>Áreas urbanas desarrolladas</i>					
Áreas recientemente conformadas (solamente áreas permeables, sin vegetación)		77	86	91	94

Numero de curva de escorrentía de otras tierras agrícolas (Fuente: Hidrología En La Ingeniería: Monsalve, 1999).

Uso de la Tierra	COBERTURA		GRUPO DE SUELOS			
	Tratamiento o Práctica	Condición Hidrológica	A	B	C	D
Rastrojo	Hileras rectas	---	77	86	91	94
Cultivos en hileras	Hileras rectas	Mala	71	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
Cultivos en hileras estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
Leguminosas en ¹ hileras estrechas o forraje en rotación	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80
Pastos de pastoreo		Mala	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	Mala	47	67	81	88
		Regular	25	59	75	83
		Buena	6	35	70	79
Pastos de corte		Buena	30	58	71	78
Bosque		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Patios		---	59	74	82	86
Camino de tierra ²		---	72	82	87	89
Pavimentos		---	74	84	90	92

Numero de curva de escorrentía de otras tierras agrícolas (Fuente: Hidrología En La Ingeniería: Monsalve, 1999).

Descripción y tipo de cobertura	Condición hidrológica	Número de curva para grupos de suelos hidrológicos			
		A	B	C	D
Pastos, forraje para pastoreo ²	Mala	68	79	86	89
	Regular	49	69	79	84
	Buena	39	61	74	80
Prados continuos, protegidos de pastoreo, y generalmente segado para heno.	---	30	58	71	78
Maleza mezclada con pasto de semilla, con la maleza como principal elemento ³	Mala	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Buena	30 ⁴	48	65	73
Combinación de bosques y pastos (huertas o granjas con árboles) ⁵	Mala	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	82
	Buena	32	58	72	79
Bosques ⁶	Mala	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Buena	30	55	70	77
Predios de granjas, construcciones, veredas, caminos y lotes circundantes	---	59	74	82	86

Numero de curva de escorrentía de otras tierras agrícolas (Fuente: Hidrología En La Ingeniería: Monsalve, 1999).

Condición de humedad antecedente:

En caso de tener un rango diferente de humedad antecedente los datos arrojados por las tablas se pueden acoplar a diferentes rangos de humedad, **AMC I** (precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración dentro del rango de 0 cm a 3.6 cm) y **AMC III** (precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración dentro del rango de más de 5.3 cm), mediante las siguientes ecuaciones:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013 CN_{II}}$$

Ecuación 3. Relaciona la curva CNII con la humedad antecedente AMC I

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057 CN_{II}}$$

Ecuación 4. Relaciona la curva CNII con la humedad antecedente AMCIII y obtiene CNIII (Fuente: Hidrología En La Ingeniería: Monsalve, 1999).

Se reemplaza CN para hallar la retención potencial máxima (S), con S conocida se puede encontrar la escorrentía (Es), si esta se multiplica por el área adyacente que aporta se obtiene el volumen aportante al sistema (Monsalve, 1999).

b. El Método racional:

Para la implementación del método racional es necesario conocer las curvas IDF correspondientes a la zona (MINVU, 1996).

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

Ecuación 5. 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:

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 (MINVU, 1996).

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

Ecuación 6. 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.

Ae = Área del pavimento permeable, en m².

t = Duración, en horas.

Cs = 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.

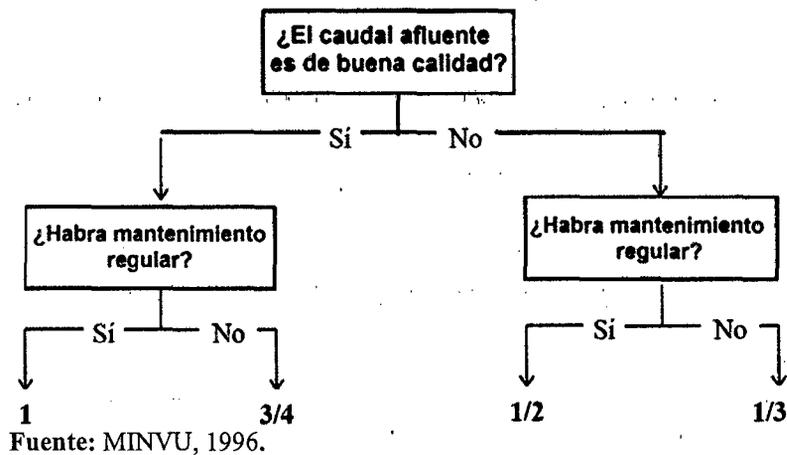


GRÁFICO N° 11. Coeficiente de seguridad de colmatación

Teniendo ya la entrada y la salida se tiene:

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

Ecuación 7. 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 8. 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.

Ae = 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 9. 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.

b. Método Smith, 2006:

El volumen de almacenamiento se calcula suponiendo una superficie de rodadura 100% permeable y se presume que durante el evento de lluvia no hay salida recreando así el peor de los casos.

El volumen de agua almacenada (V_w) se define como las entradas al sistema (volumen de lluvia que cae en las zonas adyacentes, más, volumen de lluvia que cae directamente sobre el sistema) menos la salida (volumen infiltrado) mediante la ecuación:

$$V_w = \Delta Q_c A_c + PA_p - fTA_p$$

Ecuación 10. Volumen de almacenamiento (Fuente: Permeable Interlocking Concrete Pavements: Smith, 2006).

Donde:

$\Delta Q_c A_c$ = Volumen de lluvia que cae en las zonas adyacentes al sistema.

PA_p = Volumen de lluvia que cae directamente sobre el sistema.

fTA_p = Volumen que se infiltra en el terreno (percolación).

f = percolación, valor que depende del material de la base.

T = tiempo de desagüe del sistema.

El volumen de material pétreo en la Sub-base permeable (V_p) se define como:

$$V_p = \frac{V_w}{V_r} = d_p A_p$$

Ecuación 11. Volumen del material pétreo (Fuente: Permeable Interlocking Concrete Pavements: Smith, 2006).

Donde:

d_p = Profundidad de la sub-base permeable más la capa de transición.

A_p = Área del pavimento permeable.

V_r = Relación de vacíos en la sub-base permeable y la capa de transición (usualmente 0.4).

Al igualar las dos ecuaciones se obtiene:

$$d_p A_p V_r = \Delta Q_c A_c + P A_p - f T A_p$$

Ecuación 12. Son las ecuaciones 11 y 12 igualadas (Fuente: Permeable Interlocking Concrete Pavements: Smith, 2006).

El área superficial del pavimento permeable (A_p) y la profundidad de la capa de almacenamiento (d_p) pueden definirse así:

$$A_p = \frac{\Delta Q_c A_c}{V_r d_p - P + f T}$$

Ecuación 13. Área superficial del pavimento permeable (Fuente: Permeable Interlocking Concrete Pavements: Smith, 2006).

$$d_p = \frac{\Delta Q_c R + P - f T}{V_r}$$

Ecuación 14. Profundidad capa de almacenamiento (Fuente: Permeable Interlocking Concrete Pavements: Smith, 2006).

Donde R es la relación entre el área adyacente que contribuye sobre el área del pavimento permeable (A_c/A_p).

Generalmente esta ecuación es la más usada pues casi en todos los casos la incógnita es la profundidad y los demás términos son conocidos o asignados.

La profundidad de la zona de almacenamiento tiene un rango máximo en el cual se cumplen los criterios y ecuaciones de diseño, y es estipulado por la ecuación:

$$d_{max} = \frac{fT_s}{V_r}$$

Ecuación 15. Profundidad máxima zona de almacenamiento (Fuente: Permeable Interlocking Concrete Pavements: Smith, 2006).

Además de lo anterior también debe estar como mínimo 0.6 m por encima del nivel freático, de no ser así se deberá alterar alguno de los otros términos en la ecuación (dp) tales como el área del pavimento permeable (Ap) o la precipitación de diseño (P).

En caso de infiltración parcial y de infiltración cero:

A las ecuaciones de volumen de almacenamiento, tanto del MINVU como de Smith, se les agregara el volumen de la tubería perforada como una salida más en el caso de la infiltración parcial, o como la única salida en caso de infiltración 0 (Galarza, 2011).

El caudal a través de la tubería perforada se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = V \times A$$

Ecuación 16. Caudal de la tubería perforada

Donde:

V = la velocidad del agua, en m/s.

A = área de la tubería, en m².

A su vez la velocidad a través de la tubería se calcula por medio de Manning:

$$V = \frac{R_h^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n}$$

Donde:

n = El coeficiente de rugosidad de la tubería.

S = La pendiente del tubo en porcentaje.

Rh = Radio hidráulico en m. El radio hidráulico es la relación entre el área mojada y el perímetro mojado de la tubería (A/P).

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

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 (MINVU, 1996).

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 traslape 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

Se recomienda un geotextil no tejido en material sintético con una permeabilidad de 10 veces la permeabilidad de la subrasante (MINVU, 1996), se establece un traslape mínimo de 30 cm (Interpave, 2008).

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, 2008).

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).

Capítulo III



Materiales y Métodos

3.0. METODOLOGÍA

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación fue realizada 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 meses (05) meses consecutivos durante los meses de Agosto a Diciembre del 2015.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

El tipo de investigación de esta tesis, es una investigación tecnológica porque valiéndonos de la metodología científica y aplicando los resultados de investigaciones anteriores en otras realidades y en nuestro país se desea diseñar una mezcla de concreto ecológico aplicado a pavimentos rígidos para la ciudad de Cajamarca.

De acuerdo a la naturaleza y objetivos que se plantean en el presente trabajo de investigación, se ha seleccionado un estudio descriptivo con diseño experimental y enfoque cuantitativo, tomando en cuenta que el diseño óptimo de un concreto ecológico requiere especificar propiedades, características, relación y comparación entre variables (Causa - Efecto), toma de datos para probar nuestra hipótesis con base a la medición numérica para las diferentes dosificaciones a fin de obtener el diseño óptimo.

Población de estudio

La población de estudio será el conjunto de especímenes de concreto ecológicos con fibras de polipropileno.

Muestra

La muestra fue intencional por conveniencia en un total de 132 especímenes: 72 especímenes cilíndricos para los ensayos a compresión, 48 especímenes prismáticos para los ensayos a flexión y 12 especímenes cilíndricos para los ensayos de permeabilidad.

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”.

3.3. CANTERA DE ESTUDIO

Para el presente trabajo de investigación, se ha utilizado agregados de la cantera “La Victoria”, ya que es una de las canteras principales con la cual se abastece la ciudad de Cajamarca para la ejecución de obras.

3.3.1. UBICACIÓN

La Cantera “La Victoria” se encuentra ubicada en el Km 4+300 de la carretera Cajamarca – Jesús, a la altura del Fundo La Victoria de la Universidad Nacional de Cajamarca. Geográficamente se encuentra entre los paralelos 7°11’04” y 7°11’07” de latitud sur y los meridianos 78°27’53” y 78°27’59” de longitud oeste, y con coordenadas UTM; E 779854.37, N 9205018.09

A continuación se presenta el plano de ubicación de la cantera “La Victoria”.



IMAGEN N° 1. Fotografía satelital de la ubicación del estudio
Fuente: Google Earth, 2015

3.3.2. GEOLOGÍA

La zona de la cantera “La Victoria” es de depósitos aluviales, según la carta geológica nacional, caracterizada por acumulaciones de material no consolidado, producto de la desintegración de basamento rocoso en zonas alejadas, con diferentes grados de transporte, que se han depositado en el lecho del río.

Los materiales aluviales localizados en el Río Cajamarquino en la cual se ubica la cantera La Victoria, están constituidos por clastos subangulosos a redondeados de diferente litología (cuarcitas, areniscas, calizas), así como la matriz arenosa suelta y que constituyen fuentes de extracción de materiales agregados usados en la industria de la construcción.

3.4. MATERIALES UTILIZADOS EN EL ESTUDIO

A continuación se describen los materiales utilizados para los diseños de mezcla del concreto ecológico, teniendo en cuenta las mismas especificaciones del concreto permeable descritas en el reporte ACI 522 R-10.

3.4.1. AGREGADOS

3.4.1.1. AGREGADO GRUESO

Se utilizó un agregado grueso con tamaño nominal de 3/4 de pulgada y se encuentra dentro del uso granulométrico N° 67. El agregado grueso utilizado para la mezcla presentó un peso específico de 2.556 y un peso unitario compactado de 1553.50 Kg/m³, valores que se encuentran dentro de los rangos normales que presentan los agregados utilizados en el concreto.

Se debe tener en cuenta que mientras más amplia sea la diversidad de tamaños de granos, el concreto permeable se encuentra propenso a perder espacios vacíos.

3.4.1.2. AGREGADO FINO

El agregado fino que se utilizó presenta valores que pueden utilizarse en la elaboración de concretos, cuenta con un peso específico de 2.590 y peso unitario compactado de 1675.82 Kg/m³.



IMAGEN N° 2. Agregado grueso utilizado en diseños de mezcla

Fuente: Foto en los interiores del laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UNC, setiembre 2015.

TABLA N° 8. Resumen de las propiedades de los agregados a ser empleados en la mezcla

CARACTERISTICA DEL AGREGADO	FINO	GRUESO	UNIDAD
Peso Específico de Masa	2.590	2.556	gr/cm ³
Peso Específico de Masa Saturada con Superficie Seca	2.622	2.585	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto Seco	1514.16	1432.60	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado Seco	1675.820	1553.50	Kg/m ³
Contenido de Humedad	2.73	0.49	%
Absorción	1.24	1.14	%
Módulo de Finura	2.73	6.78	
Tamaño Máximo Nominal	3/4		
Partículas < Tamiz N° 200	4.76	0.65	

Fuente: Tesista

3.4.2. CEMENTO

Basado en el reporte ACI 522 R-10, se optó por utilizar un Cemento Pacasmayo tipo 1, este es un cemento de uso general que cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150, y posee un peso específico 3.12 gr/cm³

Una de sus propiedades principales es que presenta mayor resistencia inicial debida a su óptima formulación. El cemento Tipo I desarrolla mayor resistencia a edades tempranas y menores tiempos de fraguado. Sus aplicaciones son de uso tradicional en la construcción, para emplearse en obras que no requieran propiedades especiales de ningún tipo: Obras de concreto y de concreto armado en general, para estructuras que requieren rápido desencofrado concreto en clima frío, prefabricados, pavimentos y cimentaciones.

En el Anexo II se presenta la ficha técnica del Cemento portland tipo I de Cementos Pacasmayo S.A.A.

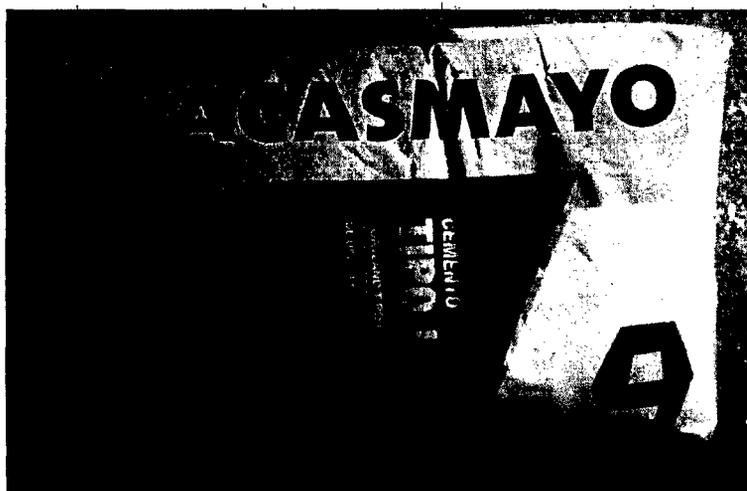


IMAGEN N° 3. Cemento tipo I – Pacasmayo utilizado en diseños de mezcla

Fuente: Foto en los interiores del laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UNC, setiembre 2015.

3.4.3. AGUA

El agua utilizada para la elaboración de la mezcla del concreto permeable, es agua potable de la Universidad Nacional de Cajamarca, las cuales cumplen con la norma ASTM D-1293 / NTP 339.088.

3.4.4. ADITIVOS

Se usara un aditivo polifuncional para concretos denominado **Sikament® - 290N**, que se utilizara como plastificante, de tal manera poder tener una trabajabilidad adecuada y una fácil colocación. Posee un peso específico 1.20 n+/- 0.02 kg/L y cumple con la Norma ASTM C 494.

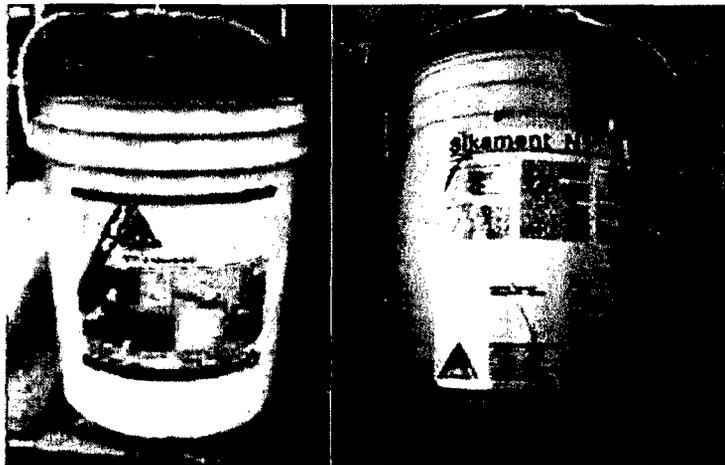


IMAGEN N° 4. Aditivo Sikament 290N utilizado en diseños de mezcla

Fuente: Foto en los interiores del laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UNC, setiembre 2015.

3.4.5. FIBRAS SINTENTICAS

Con el propósito de aumentar las resistencias mecánicas, en este trabajo de investigación se usara fibras de Polipropileno, denominada **SIKAFIBER® PE**, de **Building Trust SIKA**.

TABLA N° 9. Resumen de los datos técnicos de la fibra Polipropileno SIKAFIBER® PE

DATOS TÉCNICOS	VALOR	UNIDAD
Densidad real aprox.	0.91	kg/L
Módulo de elasticidad	15,000	kg/cm ²
Alargamiento de rotura	20-30	%
Resistencia a tracción	300 - 350	kg/cm ²
Longitud	19	mm
Durabilidad	Indefinida	

Fuente: Hoja técnica de la fibra de polipropileno SIKAFIBER® PE, de Building Trust SIKA



IMAGEN N° 5. Fibra de Polipropileno utilizado en diseños de mezcla

Fuente: Foto en los interiores del laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UNC, setiembre 2015.

3.5. METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DEL CONCRETO ECOLOGICO

Los datos recolectados en el laboratorio en el presente trabajo de investigación, han sido analizados y con su interpretación se formularan las conclusiones, de acuerdo a las normas Técnicas Peruanas, Normas del ACI, Normas ASTM, Pervious Pavement Organization, National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), Portland Cement Pervious Concrete Paviments.

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

Etapas I

- Estudios de las propiedades de los agregados de la cantera “La Victoria” según las normas ASTM y NTP.
- Diseño Iniciales
- Al diseño inicial se le adicionara las fibras de polipropileno SIKAFIBER® PE, de Building Trust SIKA, teniendo en cuenta la cantidad agregada según la hoja técnica de dicho producto.

Etapas II

- Al diseño inicial se le adicionara el aditivo polifuncional Sikament® - 290N, de Building Trust SIKA, teniendo en cuenta la cantidad agregada según la hoja técnica de dicho producto.
- Al diseño inicial se le adicionara el aditivo polifuncional Sikament® - 290N y las fibras de polipropileno SIKAFIBER® PE, teniendo en cuenta la cantidad agregada según la hoja técnica de dichos productos.
- Diseño de pavimento rígido con concreto ecológico.

3.5.1. ETAPA I

3.5.1.1. ESTUDIOS DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS DE LA CANTERA “LA VICTORIA” 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

3.5.1.2. DISEÑOS INICIALES

Se Diseñó una mezcla de concreto ecológico, depende de las características hidráulicas y mecánicas que queremos que posea, las cuales están en función del uso del concreto ecológico en obra.

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 generara un concreto ecológico más resistente pero disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo así su capacidad de infiltración.

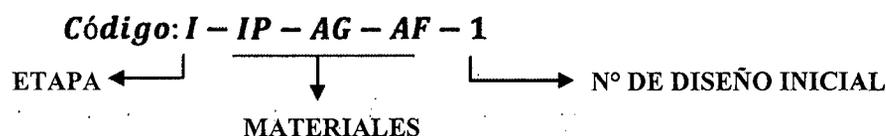
Una cantidad insuficiente de agua resultara una mezcla sin consistencia y con baja resistencia, en cambio una excesiva cantidad de agua, generara una pasta que sellara los vacíos de mezcla y que además lavara el cemento de la superficie del agregado.

Para que una mezcla será considerada ecológico 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 fresco (resistencia).

Para el método de dosificación del diseño se tomó 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 podemos 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 tomaran las siguientes nomenclaturas:



Donde:

ETAPA: I, II

MATERIALES:

IP – CEMENTO TIPO I PACASMAYO

AG – AGREGADO GRUESO

AF – AGREGADO FINO

FPP – FIBRAS DE POLIPROPILENO

AP – ADITIVO POLIFUNCIONAL

Nº DE DISEÑO INICIAL: 1, 2, 3

El diseño de las mezclas está basadas 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 procedimiento para producir las tandas de prueba iniciales para concreto ecológico se tomara el mismo procedimiento para concretos permeable 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 tomara una resistencia promedio superior, especificada por el ingeniero proyectista.

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

Ecuación 17. Sexto criterio-Según la condición de la Ejecución de la obra, Tecnología del Concreto, Ing. José L. Lezama Leiva., 1996

Paso 2. Asentamiento

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

TABLA N° 10. Consistencias del concreto según el ACI 211.3R-02

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

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 (¾'' a N°4), N° 7 (1/2'' a N°16), N° 8 (3/8'' a N°8), N° 89 (3/8'' a N°16), para el presente trabajo de investigación se ha escogido un tamaño máximo nominal de ¾'' a N°4 que pertenece al uso granulométrico 67.

Paso 4. Relación agua / material cementante

Según el ACI 211.3R-02 Apéndice 7 y el ACI 522-10 (Pervious Pavement Organization) recomienda una relación agua / material cementante entre 0.26 – 0.45, para proporcionar al agregado mejor recubrimiento y estabilidad en la mezcla.

Para el presente trabajo de investigación de tomo el valor constante de 0.30 para la relación / material cementante. (Ref. Diseño de mezcla de concreto poroso, Azañedo Medina Wiston H. - Chávez Juanito Helard. - Muñoz Valdivia Richard G., Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, 2007)

Paso 5. Determinación del Agregado Grueso

Para obtener la cantidad de agregado grueso nos basamos en el método del ACI 211.3R-02 Apéndice 7, 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 N°11. Valor b/b_0 efectivo

% 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

Fuente: Norma ACI 211.3R-02, Apéndice 7, tabla A.7.6

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

Ecuación 18. Norma ACI 211.3R-02, Apéndice 7, tabla A.7.6

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 Apéndice 7, 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.

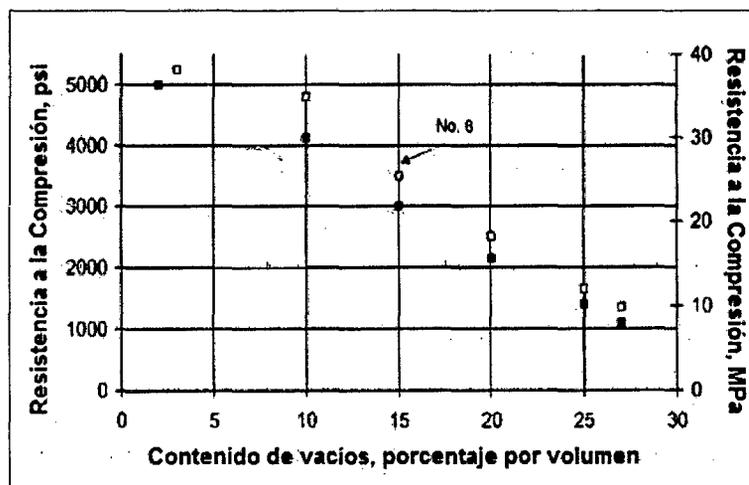


GRÁFICO N° 12. ACI 211.3R-02 Apéndice 7, Relación entre el Contenido de Vacíos y Resistencia a la Compresión a los 28 días para Agregados de Tamaño No. 67 y No. 8 de la Norma ASTM C 33.

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

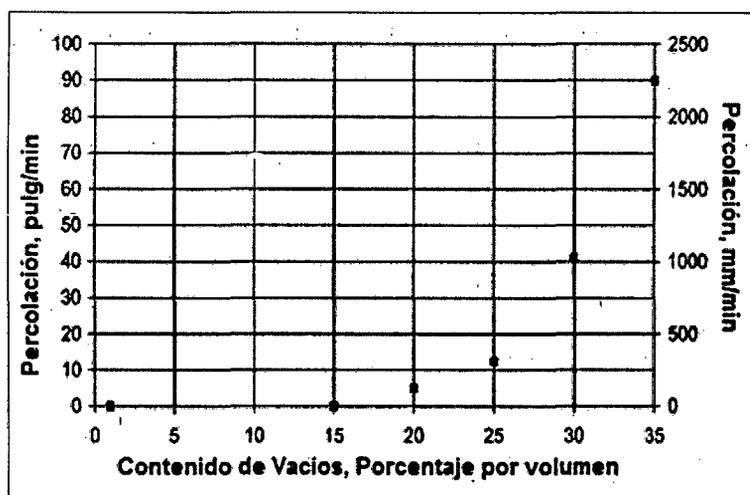


GRÁFICO N° 13. ACI 211.3R-02 Apéndice 7, Contenido de Vacíos Mínimo para la percolación basada en pruebas y Métodos de Ensayo de la NAA-NRMCA (National Aggegates Association- National Ready Mixed Concrete Association).

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

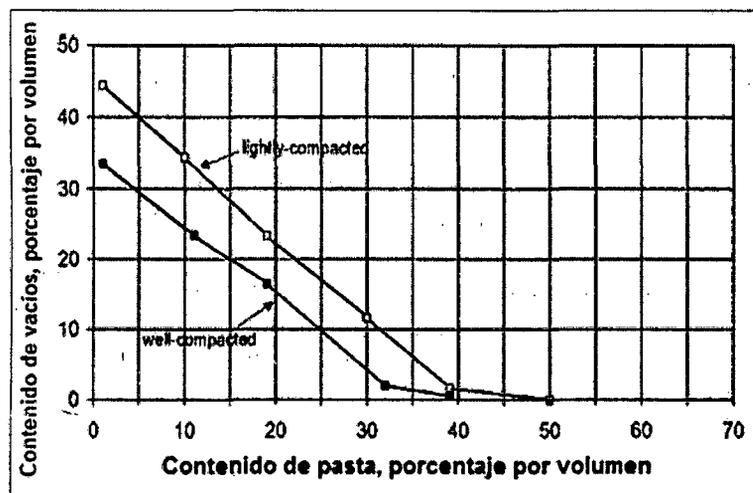


GRÁFICO N° 14. ACI 211.3R-02 Apéndice 7, Relación entre pasta y contenido de vacíos para agregados de Tamaño N° 67 según designación de la Norma ASTM C 33.

Si se sabe que:

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

Ecuación 19. Volumen de pasta

Además

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

Ecuación 20. 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 21. 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 22. 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.

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

Ecuación 23. Peso del agregado grueso húmedo

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

Ecuación 24. 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 25. 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 26. Cantidad de agua en el agregado fino

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua en el agregado grueso} + \text{Agua en el agregado fino}$$

Ecuación 27. 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 28. Proporción de diseño y de obra

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

Ecuación 29. Relación a/c de diseño

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

Ecuación 30. Relación a/c efectiva

El procedimiento para las mezclas de los diseños iniciales se encuentra el anexo VI:

Los resultados que se obtuvieron de los diseños iniciales en la etapa I, a los 7 días se muestran en los siguientes cuadros:

TABLA N° 12. Resumen de diseño – inicial (Código I-IP-AG-AF-1)

Número de diseño	Etapa	Tipología	Cemento (kg)	Agregado Fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Agua (kg)	Relación a/c	Relación a/c efectiva
I-IP-AG-AF-1-1	3/4 - N° 67	IP	322.31	178.01	1483.06	103.7	0.3	45.63
I-IP-AG-AF-1-2								37.58
I-IP-AG-AF-1-3								40.27

Fuente: Tesista

Esfuerzo promedio: 41.16 kg/cm²

En la TABLA N° 12 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 (31.26%) por método de volúmenes absolutos, por lo se realizan reajustes a la mezcla hasta alcanzar la resistencia requerida tratando de conservar el contenido de vacíos para la permeabilidad.

TABLA N° 13. Resumen de diseño - primer reajuste (Código I-IP-AG-AF-2)

Código	Grado de Agregado	Tipología	Resistencia (kg/cm ²)					
I-IP-AG-AF-2-1	3/4 - N° 67	IP	339.73	278.626	1358.168	106.66	0.3	86.20
I-IP-AG-AF-2-2								82.68
I-IP-AG-AF-2-3								100.39

Fuente: Tesista

Esfuerzo promedio: 90.02 kg/cm²

En la TABLA N° 13 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 (15.87%) por método de volúmenes absolutos, ahora se realizara un segundo reajuste debido al agua añadida a la mezcla.

TABLA N° 14. Resumen de diseño - segundo reajuste (Código I-IP-AG-AF-3 : Código I-D)

Código	Grado de Agregado	Tipología	Resistencia (kg/cm ²)					
I-IP-AG-AF-3-1	3/4 - N° 67	IP	361.90	244.78	1347.802	113.74	0.3	123.48
I-IP-AG-AF-3-2								135.83
I-IP-AG-AF-3-3								112.74

Fuente: Tesista

Esfuerzo promedio: 124.20 kg/cm²

En la TABLA N° 14 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 (15.93%) por método de volúmenes absolutos se mantiene dentro del rango.

3.5.1.3. DISEÑO INICIAL CON FIBRAS DE POLIPROPILENO

Al diseño o mezcla base ajustada (Código I-IP-AG-AF-3 : Código I-D), se le adicionara fibra de polipropileno (FPP), teniendo en cuenta la dosificación especificada en la ficha técnica de dicho producto (600gr por 1m³). Se analizara su comportamiento tanto en la trabajabilidad, consolidación, permeabilidad y resistencia a la compresión a los 07 días y

luego se elaboraran especímenes para ensayarlos a los 07,14 y 28 días para compresión y 07 y 28 días para flexión.

El procedimiento para las mezclas de diseños iniciales con fibras de polipropileno se encuentra el anexo VI:

Los resultados que se obtuvieron del diseño inicial con fibra de polipropileno en la etapa I, a los 7 días se muestran en los siguientes cuadros:

TABLA N° 15. Resumen de diseño - segundo reajuste y fibras de polipropileno (Código I-D-FPP)

Nombre de la Mezcla	Cantidad de Agregado	Cemento		Agua		Fibras Polipropileno (kg/m ³)	Vació (%)	
		Tip	kg/m ³	Tip	kg/m ³			
I-D-FPP-1	3/4 - N° 67	IP	361.90	244.78	1347.802	113.74	0.3	140.12
I-D-FPP-2								127.77
I-D-FPP-3								136.90

Fuente: Tesista

Esfuerzo promedio: 134.93 kg/cm²

En la TABLA N° 15 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 N° 14, y además del diseño se obtiene el contenido de vacíos (16.07%) por método de volúmenes absolutos.

3.5.2. ETAPA II

3.5.2.1. DISEÑO INICIAL CON ADITIVO POLIFUNCIONAL

En esta etapa se realizara con la finalidad de mejorar las propiedades del concreto ecológico de la etapa I (Código I-D-FPP), como es la trabajabilidad, porosidad, resistencia, utilizando un aditivo polifuncional para concretos (Sikament® - 290N).

El aditivo Sikament® - 290N, a emplear para la dosificación de una mezcla de concreto ecológico, se utiliza como plastificante y super plastificante según la dosificación a utilizar, y cumple con las especificaciones técnicas como plastificante con la Norma ASTM C 494 tipo D y como super plastificante con la Norma ASTM C 494 tipo G.

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 realizara 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 considerara el del diseño ya reajustado. Además de eso se tendrá en cuenta el reajuste por el uso del aditivo polifuncional.

El procedimiento para las mezclas de diseños iniciales con aditivo polifuncional se encuentra el anexo VI:

Los resultados que se obtuvieron de los diseños en la etapa II, a los 7 días se muestran en los siguientes cuadros:

TABLA N° 16. Resumen de diseño – inicial (Código II-IP-AG-AF-AP-1)

Código	Agua (litros)	IP (kg)	Gravilla (kg)	Gravilla (m³)					
II-IP-AG-AF-AP-1-1	3/4 - N° 67	IP	257.85	332.96	1436.22	81.82	0.3	773.55	85.90
II-IP-AG-AF-AP-1-2									81.60
II-IP-AG-AF-AP-1-3									92.88

Fuente: Tesista

Esfuerzo promedio: 86.79 kg/cm²

En la TABLA N° 16 se muestra la cantidad de material y las resistencias obtenidas del diseño inicial con aditivo plastificante, de donde se puede apreciar que las resistencias son muy bajas, 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 N° 17. Resumen de diseño - primer reajuste (Código II-IP-AG-AF-AP-2)

Código	Agua (litros)	IP (kg)	Gravilla (kg)	Gravilla (m³)					
II-IP-AG-AF-AP-2-1	3/4 - N° 67	IP	349.80	214.46	1404.06	110.91	0.3	1049.40	103.08
II-IP-AG-AF-AP-2-2									99.86
II-IP-AG-AF-AP-2-3									110.60

Fuente: Tesista

Esfuerzo promedio: 90.02 kg/cm²

En la TABLA N° 17 se muestra la cantidad de material y las resistencias obtenidas del primer reajuste del diseño con aditivo plastificante, luego se realizara un segundo reajuste con los datos obtenidos de la mezcla.

TABLA N° 18. Resumen de diseño - segundo reajuste (Código II-IP-AG-AF-AP-3 : Código I-D-AP)

Código	Material	IP	Resistencia (kg/cm ²)							
II-IP-AG-AF-AP-3-1	3/4 - N° 67	IP	344.73	243.82	1383.79	108.83	0.3	1034.19	130.46	
II-IP-AG-AF-AP-3-2									125.63	
II-IP-AG-AF-AP-3-3									138.53	

Fuente: Tesista

Esfuerzo promedio: 131.53 kg/cm²

En la TABLA N° 18 se muestra la cantidad de material y las resistencias obtenidas del segundo reajuste del diseño con aditivo plastificante de donde se puede apreciar que las resistencias ha aumentado, y con un contenido de vacíos (19.32%) por método de volúmenes absolutos.

3.5.2.2. DISEÑO INICIAL CON ADITIVO POLIFUNCIONAL Y FIBRAS DE POLIPROPILENO

Al diseño o mezcla base ajustada (Código I-IP-AG-AF-AP-3 : Código I-D-AP), se le adicionara fibra de polipropileno (FPP), teniendo en cuenta la dosificación especificada en la ficha técnica de dicho producto (600gr por 1m³). Se analizara su comportamiento tanto en la trabajabilidad, consolidación, permeabilidad y resistencia a la compresión a los 07 días y luego se elaboraran especímenes para ensayarlos a los 07,14 y 28 días para compresión y 07 y 28 días para flexión!

El procedimiento para las mezclas de diseños iniciales con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno se encuentra el anexo VI:

Los resultados que se obtuvieron del diseño inicial con aditivo polifuncional y fibra de polipropileno en la etapa II, a los 7 días se muestran en los siguientes cuadros:

TABLA N° 19. Resumen de diseño - segundo reajuste con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno (Código I-D-AP-FPP)

Código	Material	IP	Resistencia (kg/cm ²)							
II-D-FPP-1	3/4 - N° 67	IP	344.73	243.82	1383.79	108.83	0.3	1034.19	139.59	
II-D-FPP-2									149.25	
II-D-FPP-3									150.86	

Fuente: Tesista

Esfuerzo promedio: 146.57 kg/cm²

En la TABLA N° 19 se muestra la cantidad de material y las resistencias obtenidas del segundo reajuste con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno, de donde se puede apreciar que las resistencias aumentaron con respecto a los resultados de la TABLA N° 18, y además del diseño se obtiene el contenido de vacíos (17.69%) por método de volúmenes absolutos.

3.6. ESPECIMENES CON DIFERENTES TIPOS DE MEZCLA

3.6.1. 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, 28d
- **Permeabilidad:** I - D - 28d

3.6.2. DOSIFICACIÓN N° 02: DISEÑO INICIAL – SEGUNDO REAJUSTE CON ADICION DE FIBRAS SINTETICAS DE POLIPROPILENO

Estos especímenes fueron elaborados con agua, cemento y agregados con la adición de fibras de polipropileno (600gr/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 - FPP - 7d, 14d y 28d
- **Flexión:** I - D - FPP - 7d, 28d
- **Permeabilidad:** I - D - 28d

3.6.3. DOSIFICACIÓN N° 03: DISEÑO INICIAL – SEGUNDO REAJUSTE CON ADICION DE ADITIVO POLIFUNCIONAL

Estos especímenes fueron elaborados con agua, cemento y agregados con la adición de aditivo polifuncional (0.7% 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:** I - D - AP - 7d, 14d y 28d

- **Flexión:** I - D - AP - 7d, 28d
- **Permeabilidad:** I - D - 28d

3.6.4. DOSIFICACIÓN N° 04: DISEÑO INICIAL – SEGUNDO REAJUSTE CON ADICION DE ADITIVO POLIFUNCIONAL Y FIBRAS SINTETICAS DE POLIPROPILENO

Estos especímenes fueron elaborados con agua, cemento y agregados con la adición de aditivo polifuncional (0.7% del peso del cemento) y fibras de polipropileno (600gr/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 - AP - FPP - 7d, 14d y 28d
- **Flexión:** I - D - AP - FPP - 7d, 28d
- **Permeabilidad:** I - D - 28d

Con cada una de las cuatro dosificaciones vistas en los acápite 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, 12 especímenes prismáticos de concreto para ser ensayados a flexión, de los cuales cada 6 especímenes serán ensayados a la edad de 7 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 3 especímenes cilíndricos de concreto ecológico para cada una de las cuatro dosificaciones, para el ensayo de permeabilidad a los 28 días.

3.7. ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES PARA LOS ENSAYOS MECANICOS

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 3.6 se realizaron siguiendo los procedimientos indicados en los reportes del ACI 211.3R-02 y ACI 522R-10.

Para el ensayo de permeabilidad se realizó especímenes cilíndricos (100mm por 150mm).

➤ **Aparatos:**

a) **Moldes:** Deben ser de un material no absorbente y que no reaccione con el cemento, 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 utilizara para compactar los especímenes de la mezcla de concreto ecológico, este martillo está basada en la norma ASTM D-698, cuyas características son: diámetro 50.8+/-0.13mm, caída libre 305.2+/-2mm (12’’), peso 2.495+/-0.01Kg.

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 elaboraran 3 especímenes gemelos para las pruebas a compresión, además con dos mezclas de este volumen se elaboraron 3 especímenes de prueba para flexión.

2. Se limpió y seco 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 polifuncional 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 agregado fino y grueso con la fibra, 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 aditivo este se mezcló en el volumen final de agua. Para cada caso de las mezclas se midió el tiempo de mezclado lo cual estuvo alrededor de 2.5 minutos para el caso de las mezclas del segundo reajuste, para el caso de mezclas con fibras de polipropileno y las mezclas con aditivo polifuncional el tiempo varió de 4 a 5 minutos, y para caso las mezclas con adición fibras de polipropileno y aditivo polifuncional el tiempo varió de 5 a 8 minutos de hasta verificar el mezclado total de las mismas.

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

1. Se colocó los moldes en una superficie horizontal, rígida, nivelada y libre de vibraciones.
2. 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 se van realizando un reacomodo con la varilla metálica puesto que el agregado es de $\frac{3}{4}$ " y se hace un poco difícil el acomodo de las partículas.
3. 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.
4. La compactación se realizó en cada capa con 20 golpes con el martillo de proctor estándar (5 libras), distribuyendo los golpes de forma uniforme.
5. Se enrasó el exceso de mezcla con la varilla de compactación y se dio un acabado de tal manera la superficie esta plana.
6. Se identificó los especímenes con el número de espécimen y tipo de dosificación.

7. Se colocó bolsas plásticas sobre los moldes para evitar la pérdida de humedad y tratar de mantener la temperatura.

8. Transcurridas 24 horas después de elaborar los especímenes, estos fueron sacados de los moldes y se procedió a realizar el curado estándar.



IMAGEN N° 6. Elaboración de especímenes de concreto ecológico
Fuente: Tesista

3.8. CURADO DE ESPECIMENES

El curado de los especímenes se realizó siguiendo los procedimientos indicados en la norma ASTM C 192 / NTP 339.183.

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 cubiertos con agua, además se saturó el agua con cal viva para mantener la

temperatura de está y evitar la pérdida de cal de los especímenes, se cubrió la poza con una manta plástica.

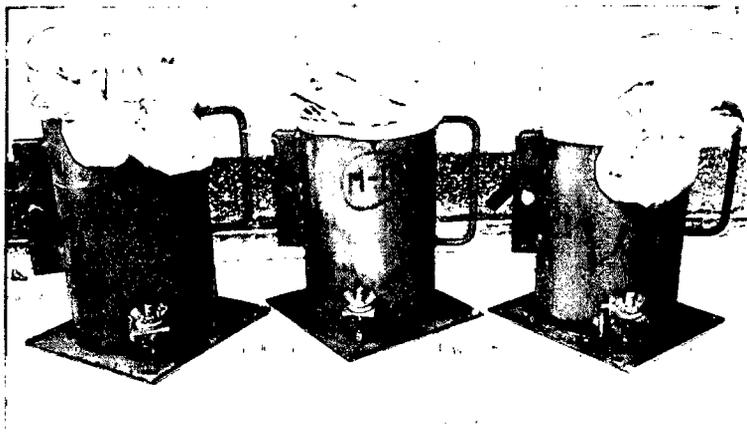


IMAGEN N° 7. Curado inicial del concreto ecológico
Fuente: Tesista



IMAGEN N° 8. Curado estándar del concreto ecológico
Fuente: Tesista

3.9. VARIABLES DE EVALUACION DEL ESTUDIO

Las variables que se evaluaron en esta tesis son las siguientes:

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
9. Costo de la elaboración de concreto por m³ con diferentes adiciones.

3.9.1. 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. Los resultados se encuentran en el capítulo IV.



IMAGEN N° 9. Ensayo de asentamiento del concreto ecológico
Fuente: Tesista

3.9.2. PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO.

Este ensayo se realizó mediante lo establecido por la norma ASTM C1688/C1688M. Los resultados se encuentran en el capítulo IV.

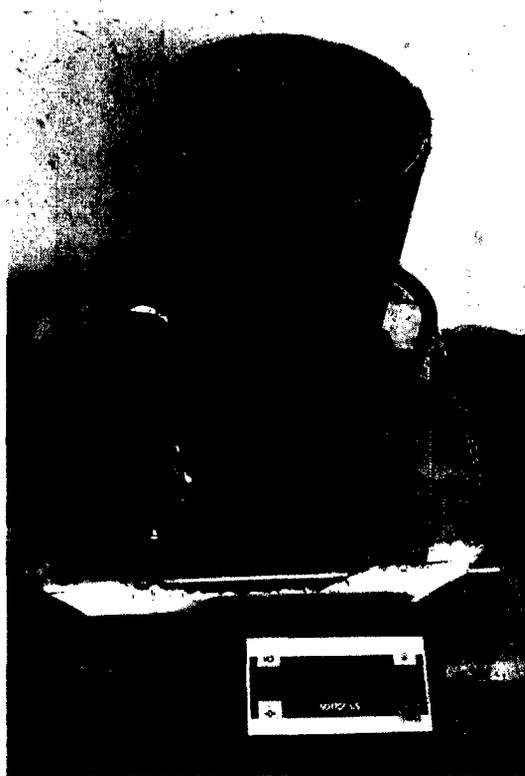


IMAGEN N° 10. Ensayo de densidad de masa del concreto ecológico en estado fresco
Fuente: Tesista

3.9.3. PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO.

Los resultados se encuentran en el capítulo VII.



IMAGEN N° 11. Ensayo de densidad de masa del concreto ecológico en estado endurecido
Fuente: Tesista

3.9.4. RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS

Este ensayo se desarrolló acorde a la NTP 339:034 acorde a la ASTM C 39.

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.

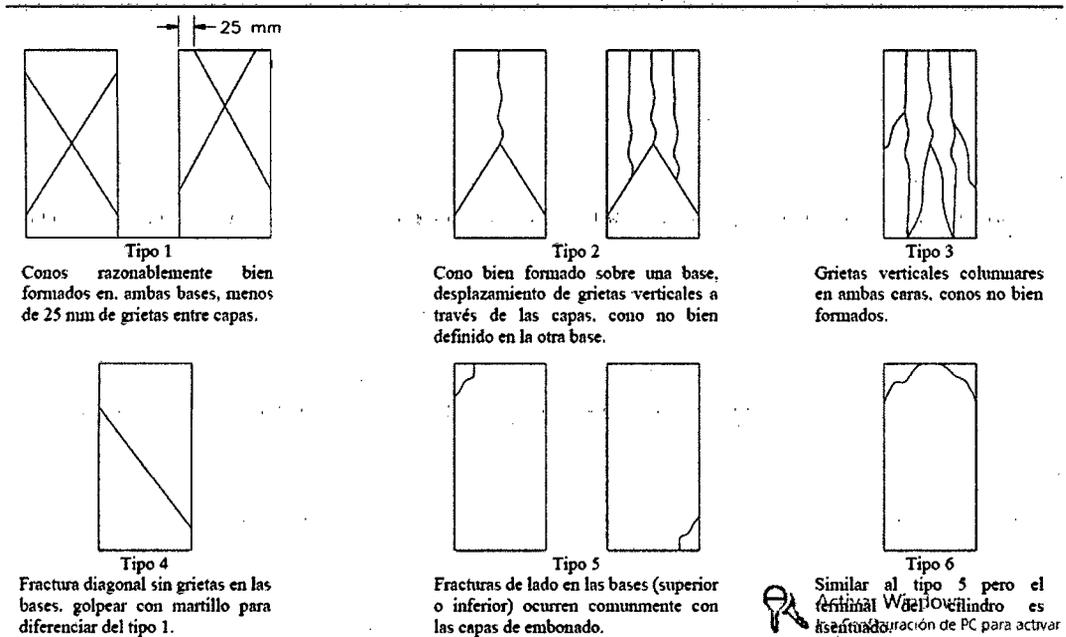


IMAGEN Nº 12. Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura
Fuente: NTP 339.034 – 2008

Los resultados se encuentran en el capítulo VII.



IMAGEN Nº 13. Verificación del tipo de fractura en los especímenes de concreto ecológico
Fuente: Testa

3.9.5. RESISTENCIA A FLEXIÓN EN ESPECÍMENES PRISMÁTICOS.

Este ensayo se desarrolló acorde a la NTP 339.079 acorde a la ASTM C 293. Los resultados se encuentran en el capítulo VII.



IMAGEN N° 14. Ensayo a flexión de especímenes de concreto ecológico

Fuente: Tesista

3.9.6. DESARROLLO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.

Como se explicó anteriormente, se elaboraron un total de 120 especímenes concreto ecológico, 72 cilíndricos y 48 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 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 Anexo XII y en el Capítulo IV.

3.9.7. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

La Norma ASTM C 489, 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 Anexo XII y en el Capítulo IV.

a) Según el ACI 318S:

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

Ecuación 31. Módulo de elasticidad según el ACI 318S

Dónde:

E = Módulo de elasticidad, MPa

Wc = 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 32. Módulo de elasticidad según el ASTM C 469

Dónde:

E = Módulo de elasticidad, MPa

S₂ = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última, MPa

S₁ = Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal de ϵ_2 igual a 50 millonésimas, MPa

ϵ_2 = Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S₂

Los cálculos y resultados del módulo de elasticidad se encuentran en el Anexo XII y en el Capítulo IV.

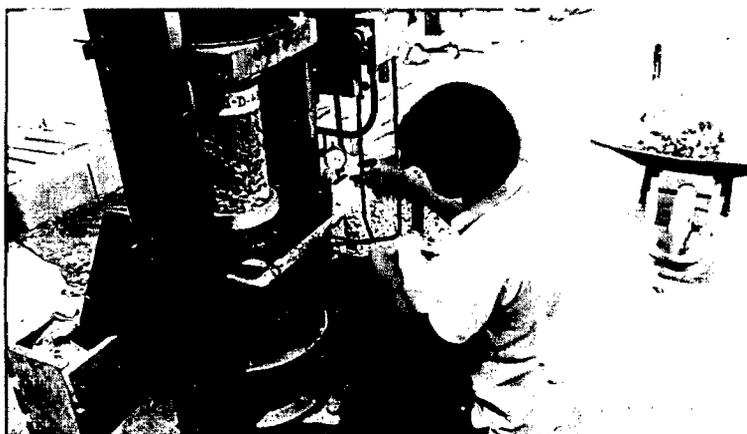


IMAGEN N° 15. Medición de las deformaciones de los especímenes de concreto ecológico
Fuente: Tesista

3.9.8. PERMEABILIDAD

Se elaboraron un total de 12 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.

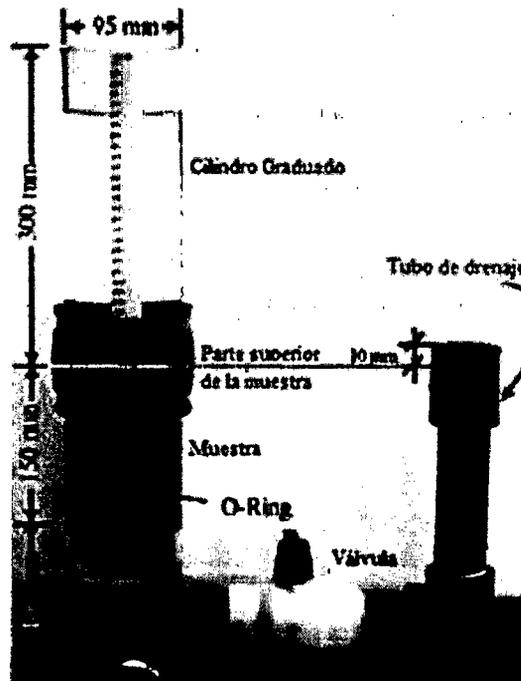


IMAGEN N° 16. Equipo de ensayo de permeabilidad recomendado por el ACI 522R-10
Fuente: Reporte ACI 522R-10

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

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

Ecuación 33. 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 IV.

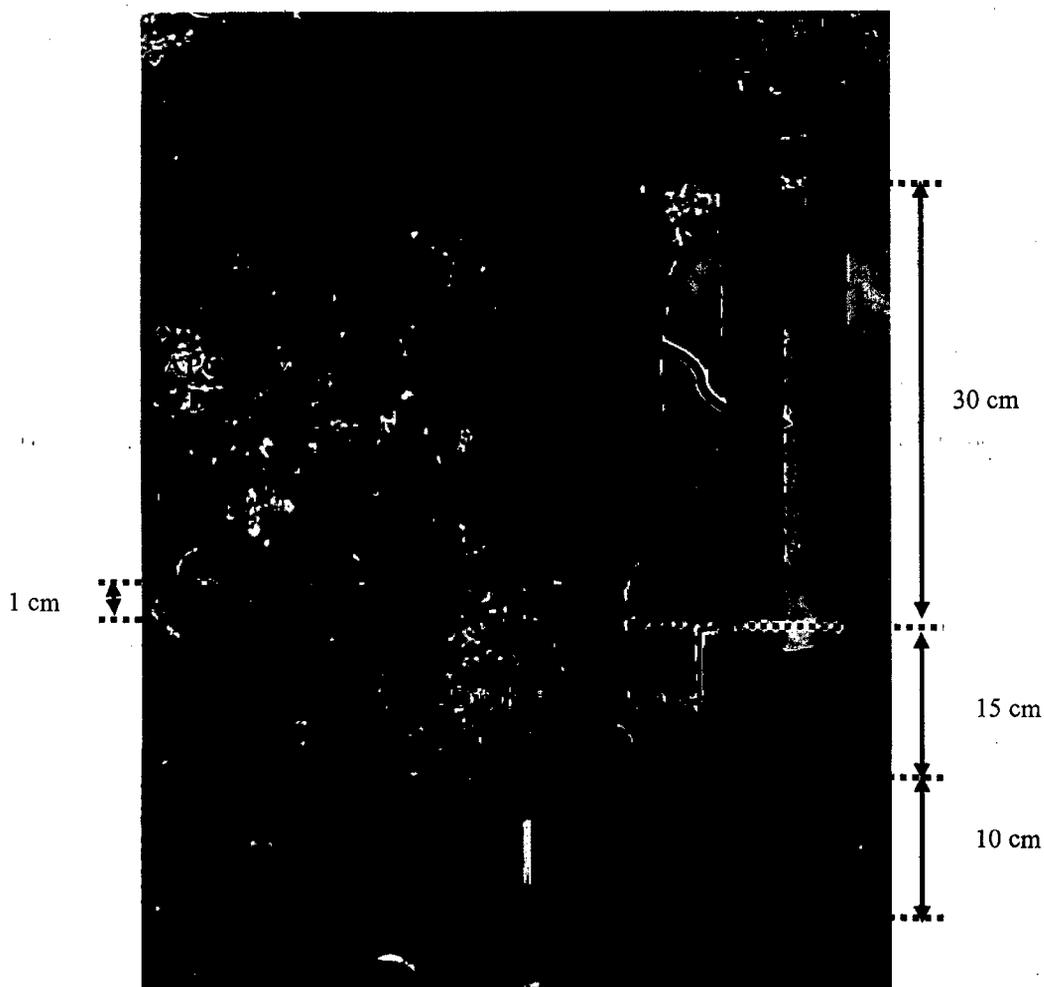


IMAGEN N° 17. Ensayo de permeabilidad de especímenes de concreto ecológico
Fuente: Tesista

3.9.9. COSTO DE LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ECOLOGICO POR M3

La adición de las fibras de polipropileno y el aditivo plastificante al concreto ecológico hacen variar el costo en función a sus materiales y rendimientos. Es por ello que se deben analizar la resistencia alcanzada por estos materiales en función a su costo de elaboración para así poder evaluar con precisión el beneficio, desde el punto de vista económico de la presente investigación.

Para calcular el costo de los materiales en nuestra partida de elaboración de un m³ de concreto ecológico se utilizó la dosificación de materiales en volumen como se calculó en el diseño final de mezclas, los cuales dieron diferentes proporciones por pie cúbico de la unidad de concreto.

Durante la determinación del costo de elaboración de las diferentes dosificaciones de concreto por m³, se calculó considerando el rendimiento de las partidas de rendimientos de CAPECO para la sierra, área para lo cual está delimitada por la investigación.

Para los costos de mano de obra, se emplearon los requerimientos del Gobierno Regional de Cajamarca valida desde junio hasta diciembre del 2015, haciendo esto más exacto nuestro análisis para el área de influencia del estudio.

3.10. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

3.10.1. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para recopilar la información se usaron los Métodos Cuantitativo y Cualitativo.

El Método Cuantitativo se usó para medir las variables cuantitativas de estudio de las dosificaciones de concreto elaborados; para lo cual se emplearon equipos e instrumentos del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca tales como: Maquina de ensayo a compresión y tracción universal, moldes adecuados para la elaboración y control de calidad del concreto, balanzas, calibradores, Tamices compatibles con las NTP y ASTM correspondientes.

El Método Cualitativo se usó para describir algunas propiedades o variables cualitativas de las dosificaciones de concreto elaborados, tales como: trabajabilidad del concreto, apariencia del concreto, tipo de fractura, modo de falla; para lo cual se empleó la observación directa en el laboratorio.

3.10.2. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.

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, además los costos fueron calculados mediante un análisis de precios unitario. Para lo cual se emplearon programas computarizados como el Microsoft Excel 2013 y S10-2005 con los que se obtuvo resultados de estos métodos y gráficas representativas.

3.10.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados de los ensayos realizados están sujetos a variaciones, que indicarían la uniformidad de estos resultados 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 realizaron 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 y 28 días, (f) Módulos de elasticidad del concreto 7, 14 y 28 días, (g) Permeabilidad del concreto ecológico, (h) Costo del concreto ecológico en relación a su resistencia mecánica.

3.11. DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO

Para el diseño del pavimento rígido con concreto ecológico se seguirán los criterios ya descritos en el capítulo 2, dicho procedimiento se encuentra en el anexo XI.

Capítulo IV



Presentación y discusión de resultados

4.0. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

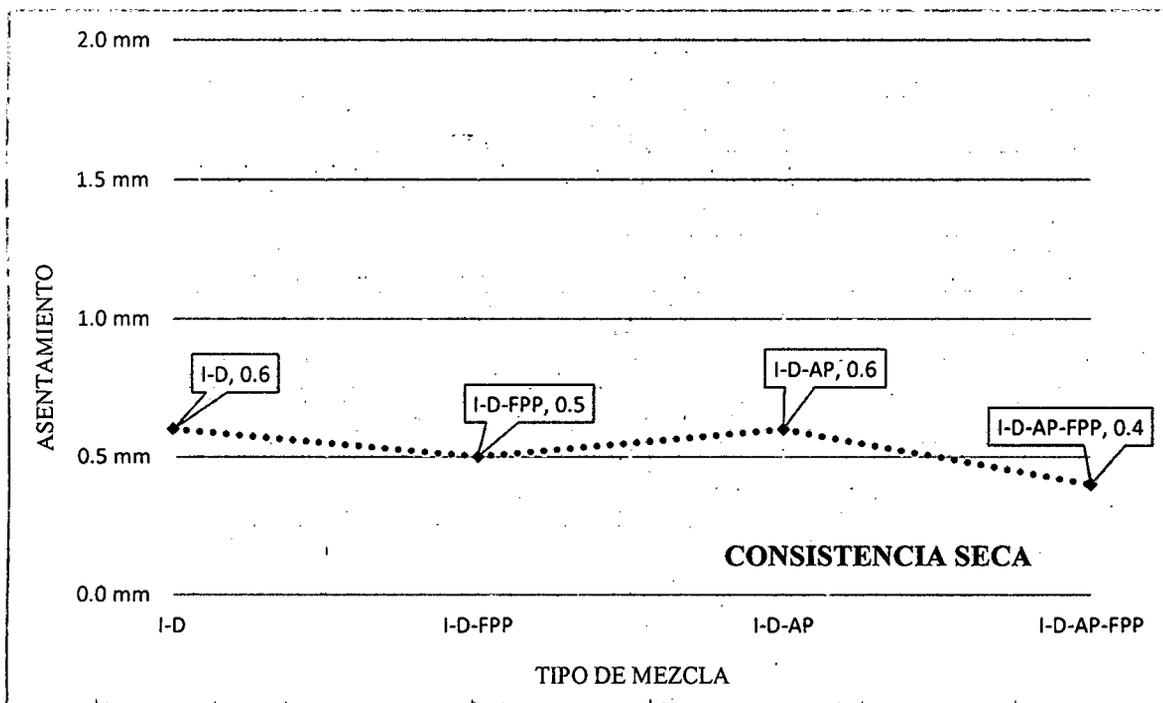
4.1. ANÁLISIS DE LA CONSISTENCIA DE LA MEZCLA

Se determinó el asentamiento de tandas para cada tipo de mezcla realizada tanto de las mezclas utilizadas para los ensayos a compresión y flexión.

TABLA N° 20. 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 Polifuncional	Etapa II: Mezcla Diseño + Aditivo Polifuncional + Fibra de Polipropileno
	I-D	I-D-FPP	I-D-AP	I-D-FPP
Tanda N°1	0.6	1	1	0.7
Tanda N°2	1.1	0.6	0.4	0.4
Tanda N°3	0.4	0.5	0.6	0.2
Tanda N°4	0.7	0.3	0.5	0.6
Tanda N°5	0	0	0.7	0
Tanda N°6	0.5	0.4	0.3	0.3
Promedio	0.6	0.5	0.6	0.4

Fuente: Tesista



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 15. Asentamiento vs Tipo de mezcla

A partir de la TABLA N° 20 y el GRÁFICO N° 15, 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, para ligar al concreto en estado fresco. Es así que se observó el asentamiento para el concreto de diseño (I-D) presentó un asentamiento de 0.6 mm, el concreto de diseño con fibras de polipropileno

(I-D-FPP) presentó un asentamiento de 0.5 mm, el concreto de diseño con aditivo polifuncional (II-D-AP) presentó un asentamiento de 0.6 mm y el concreto de diseño con aditivo y fibras de polipropileno presentó un asentamiento de 0.4 mm.

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.

4.2. ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

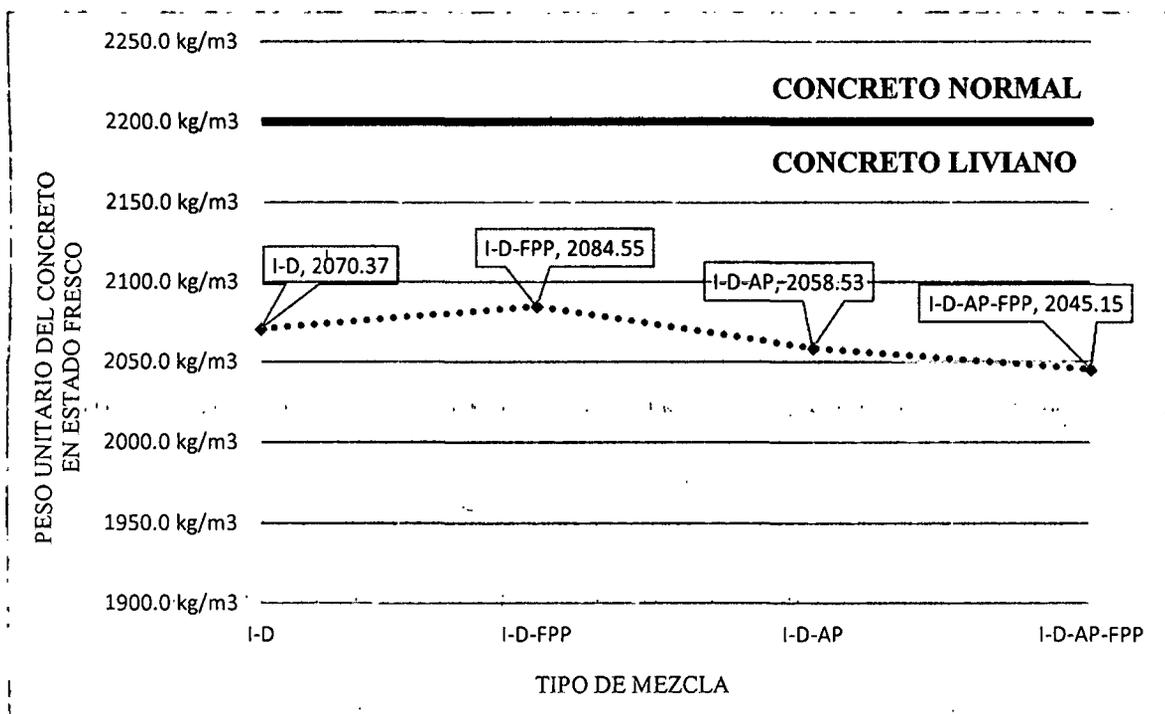
Se determinó el peso unitario del concreto en estado fresco por cada tipo de mezcla realizada tanto de las mezclas utilizadas para los ensayos a compresión y flexión

TABLA N° 21. 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 Polifuncional	Etapa II: Mezcla Diseño + Aditivo Polifuncional + Fibra de Polipropileno
	I-D	I-D-FPP	I-D-AP	I-D-AP-FPP
Promedio	2070.37	2084.55	2058.53	2045.15

Fuente: Tesista

En la TABLA N° 21 se muestran 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 2070.37 kg/m³, la mezcla de diseño reajustado con fibras de polipropileno se alcanzó un peso unitario de 2084.55 kg/m³, la mezcla de diseño reajustado con aditivo polifuncional alcanzó un peso unitario de 2058.53 kg/m³ y la mezcla de diseño reajustado con aditivo y fibras de polipropileno alcanzó un peso unitario de 2045.15 kg/m³, estos valores son menores están dentro del rango de los concreto livianos (<2200 kg/m³).



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 16. Peso unitario del concreto en estado fresco vs Tipo de mezcla

En el GRÁFICO N° 16 se muestra que la adición de fibra de polipropileno y del aditivo polifuncional 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 (< 2200kg/m³).

4.3. ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

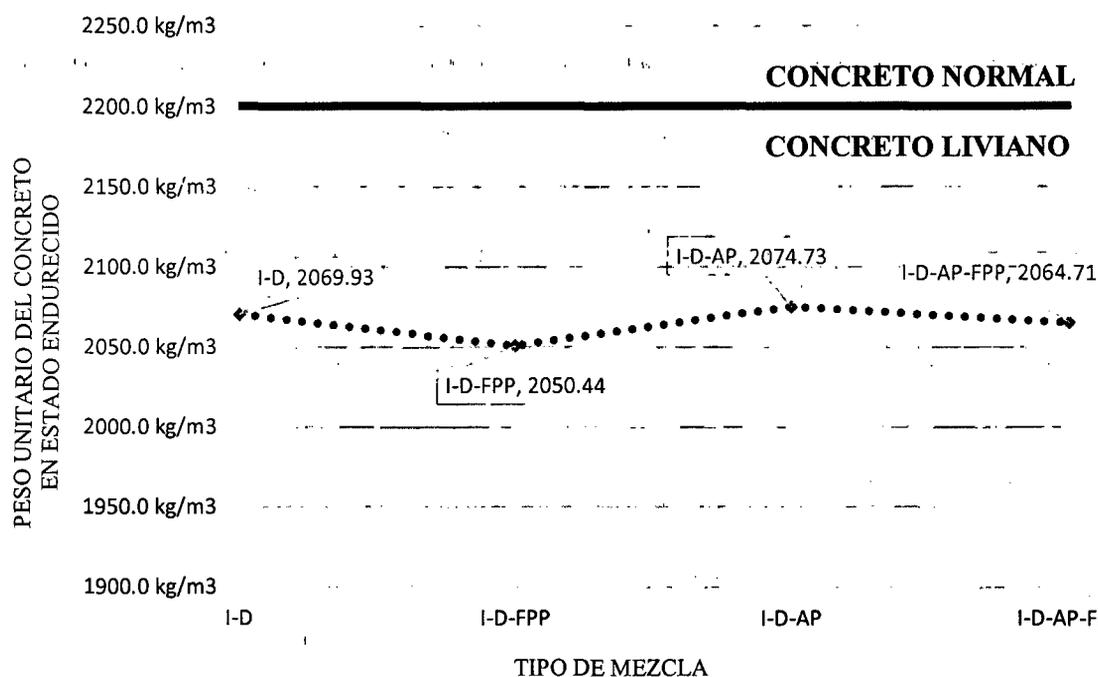
Se determinó el peso unitario del concreto en estado endurecido por cada tipo de mezcla realizado, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

TABLA N° 22. 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 Polifuncional	Etapa II: Mezcla Diseño + Aditivo Polifuncional + Fibra de Polipropileno
	I-D	I-D-FPP	I-D-AP	I-D-AP-FPP
Promedio	2069.93	2050.44	2074.73	2064.71

Fuente: Tesista

En la TABLA N° 22 se muestra 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 2069.93 kg/m³, 2050.44 kg/m³, 2074.73 kg/m³, 2064.71 kg/m³, las cuales se encuentran dentro de los pesos unitarios de concretos livianos (< 2200kg/m³).



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 17. Peso unitario del concreto en estado endurecido vs Tipo de mezcla

En el GRÁFICO N° 17 se muestra que la adición de fibra de polipropileno y del aditivo polifuncional 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 (< 2200kg/m³).

4.4. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A COMPRESION

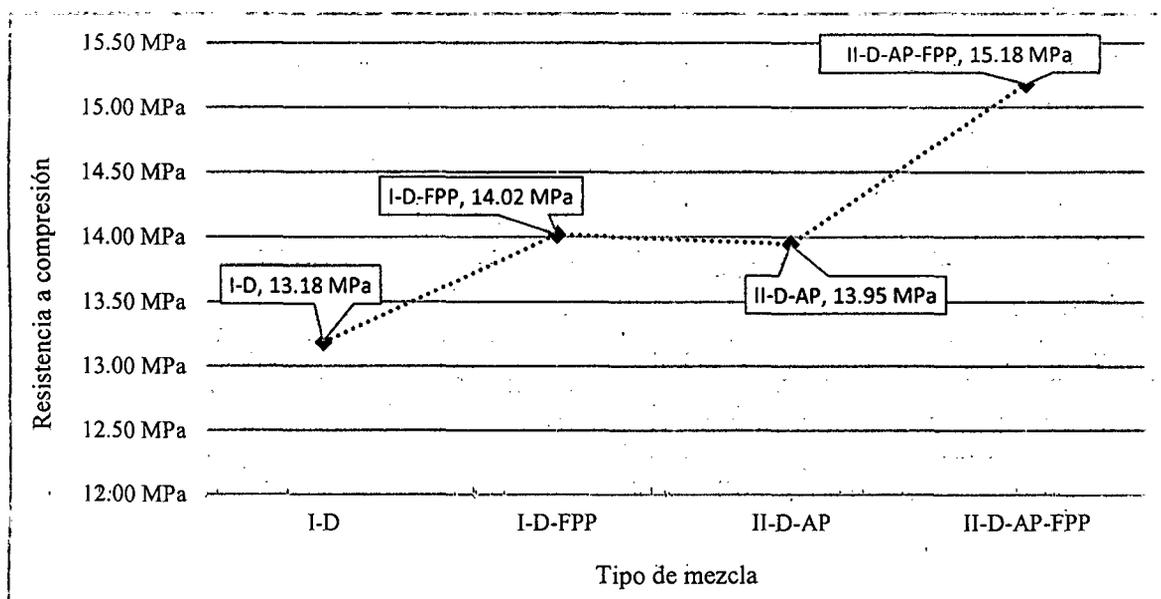
Se determinó la resistencia de 72 especímenes de concreto a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas en grupos de 6 especímenes:

TABLA N° 23. 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	13.18 MPa	16.00 MPa	17.03 MPa	0.00%
I-D-FPP	14.02 MPa	16.18 MPa	17.67 MPa	3.78%
II-D-AP	13.95 MPa	16.12 MPa	18.06 MPa	6.07%
II-D-AP-FPP	15.18 MPa	16.49 MPa	18.67 MPa	9.68%

Fuente: Tesista

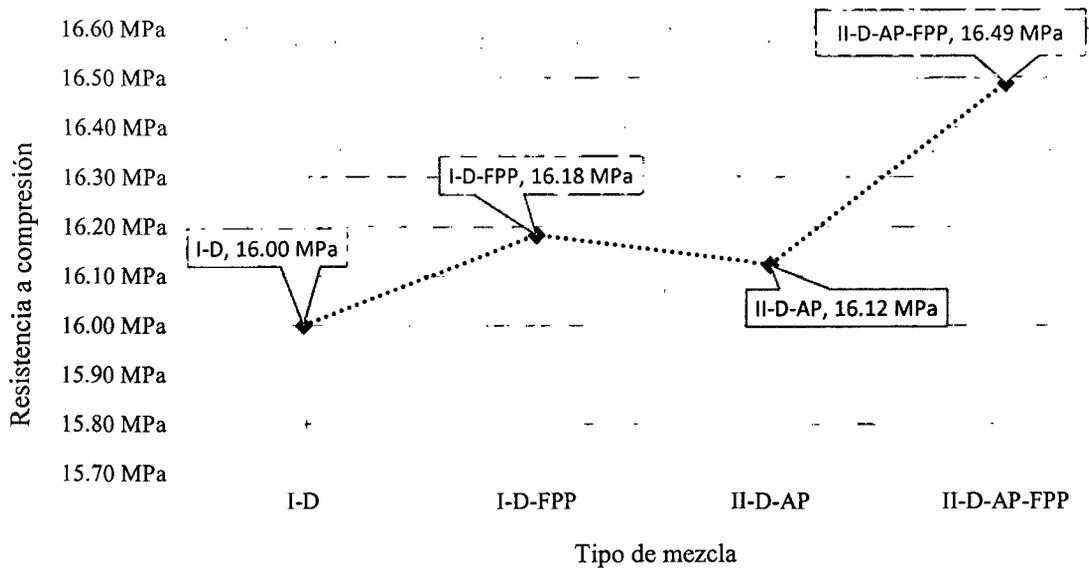
En la TABLA N° 23 se observa que la resistencia a compresión del concreto ecológico según la edad de ensayo va incrementándose independientemente de la adición del aditivo polifuncional y la fibra de polipropileno, también se verifica que la resistencia a compresión del concreto con adición del aditivo polifuncional y la fibra de polipropileno muestra un incremento significativo de 9.68% en relación a los especímenes base (sin adición).



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 18. Promedio de ensayos a compresión a edad de 7 días y diferentes tipos de mezclas

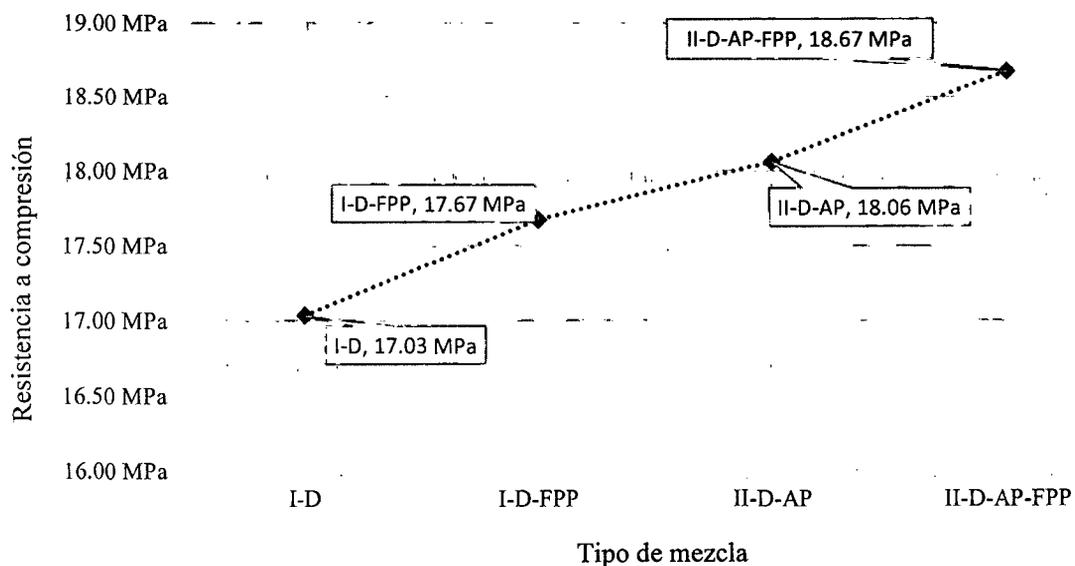
En el GRÁFICO N° 18 se desarrolla la resistencia a compresión del concreto a 7 días de ensayo y diferentes tipos de mezclas, en este gráfico se puede observar que ante la adición de fibra de polipropileno y aditivos polifuncional independientemente, los especímenes de concreto ecológico aumentaron su resistencia a la compresión, se verifica también un aumento significativo que tiene la resistencia a compresión del concreto con una adición fibra de polipropileno y aditivos polifuncional en forma conjunta.



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 19. Promedio de ensayos a compresión a edad de 14 días y diferentes tipos de mezclas

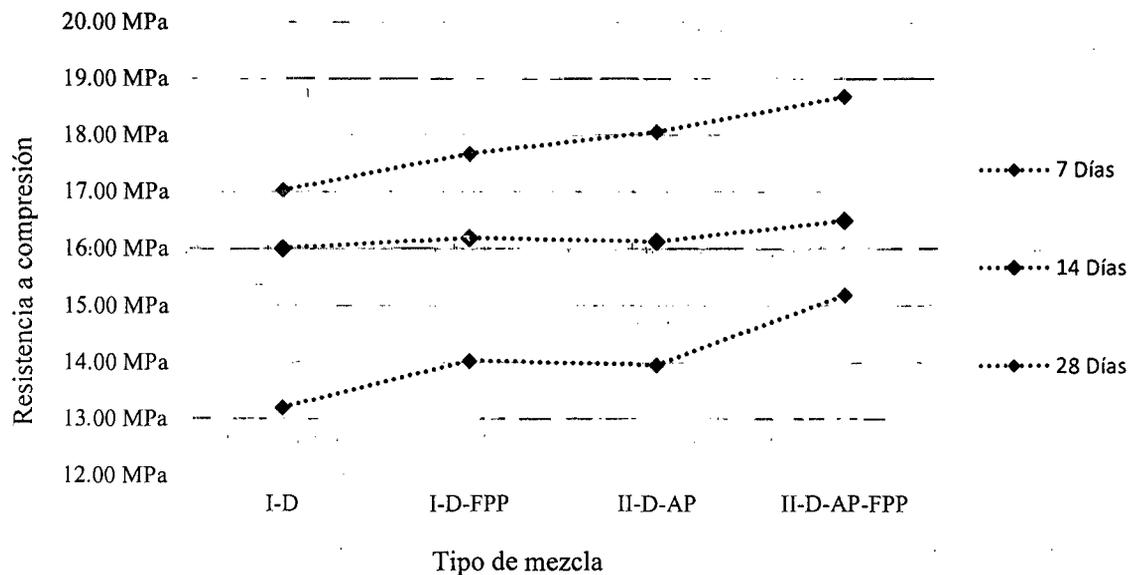
En el GRÁFICO N° 19 se desarrolla la resistencia a compresión del concreto a 14 días de ensayo y diferentes tipos de mezcla, en este gráfico se puede observar que ante la adición de fibra de polipropileno y aditivos polifuncional independientemente, los especímenes de concreto ecológico aumentaron su resistencia a la compresión, se verifica también un aumento significativo que tiene la resistencia a compresión del concreto ecológico con una adición fibra de polipropileno y aditivos polifuncional en forma conjunta.



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 20. Promedio de ensayos a compresión a edad de 28 días y diferentes tipos de mezclas

En el GRÁFICO N° 20 se desarrolla 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 aditivos polifuncional independientemente, los especímenes de concreto ecológico aumentaron su resistencia a la compresión, se verifica también un aumento significativo que tiene la resistencia a compresión del concreto ecológico con una adición fibra de polipropileno y aditivos polifuncional en forma conjunta.



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 21. Consolidado de los promedios de ensayos a compresión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas

En el GRÁFICO N° 21 se desarrolla el consolidado de los promedios de la resistencia a compresión del concreto ecológico a diferentes edades de ensayo y diferentes tipos de mezcla, en este gráfico se puede observar un aumento considerable en la resistencia de 7 días y que va disminuyendo de 14 a 28 días.



IMAGEN N° 18. Espécimen normal de diseño (I-D) ensayado a compresión
Fuente: Tesista

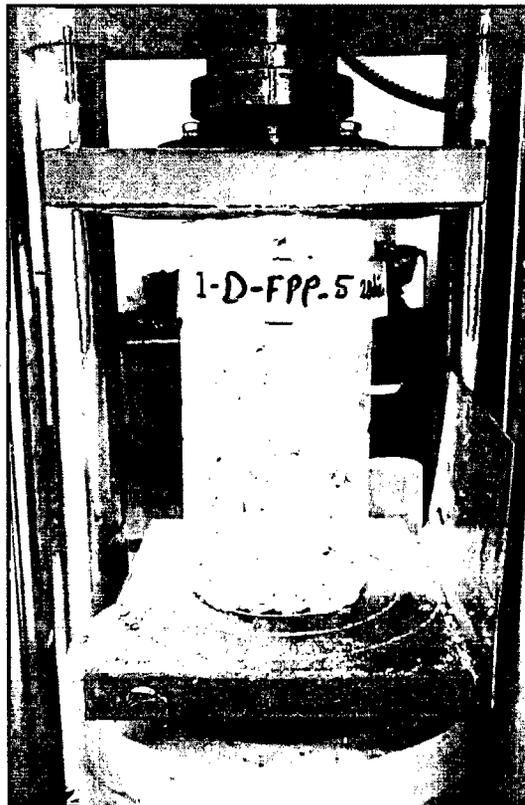


IMAGEN N° 19. Espécimen normal de diseño más fibras de polipropileno (I-D-FPP) ensayado a compresión
Fuente: Tesista



IMAGEN N° 20. Especimen normal de diseño más aditivo polifuncional (II-D-AP) ensayado a compresión
Fuente: Tesista

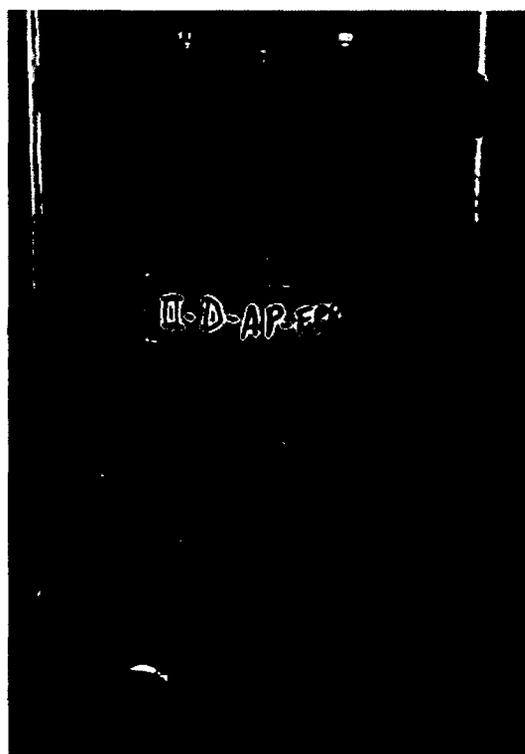


IMAGEN N° 21. Especimen normal de diseño más aditivo polifuncional y fibra de polipropileno (II-D-AP-FPP) ensayado a compresión
Fuente: Tesista

4.5. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A FLEXION

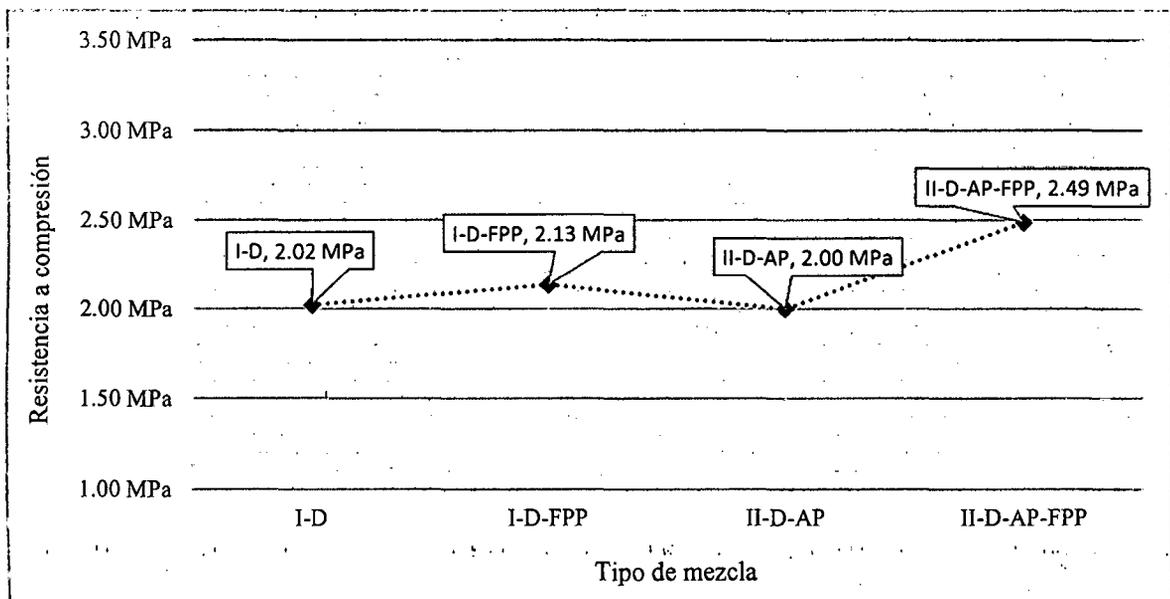
Se determinó la resistencia de 48 especímenes de concreto a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas en grupos de 6 especímenes:

TABLA N° 24. 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	28 Días	
I-D	2.02 MPa	2.48 MPa	0.00%
I-D-FPP	2.13 MPa	2.80 MPa	13.05%
II-D-AP	2.00 MPa	2.75 MPa	11.02%
II-D-AP-FPP	2.49 MPa	3.01 MPa	25.27%

Fuente: Tesista

En la TABLA N° 24 se observa que la resistencia a flexión del concreto según la edad de ensayo va incrementándose independientemente de la adición del aditivo polifuncional 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 13.05%, con la adicción del aditivo polifuncional muestra un incremento de 11.02%, y presentando un mayor incremento con una adición del aditivo polifuncional y la fibra de polipropileno en forma conjunta llegando a un incremento del 25.27% en función de los especímenes base.

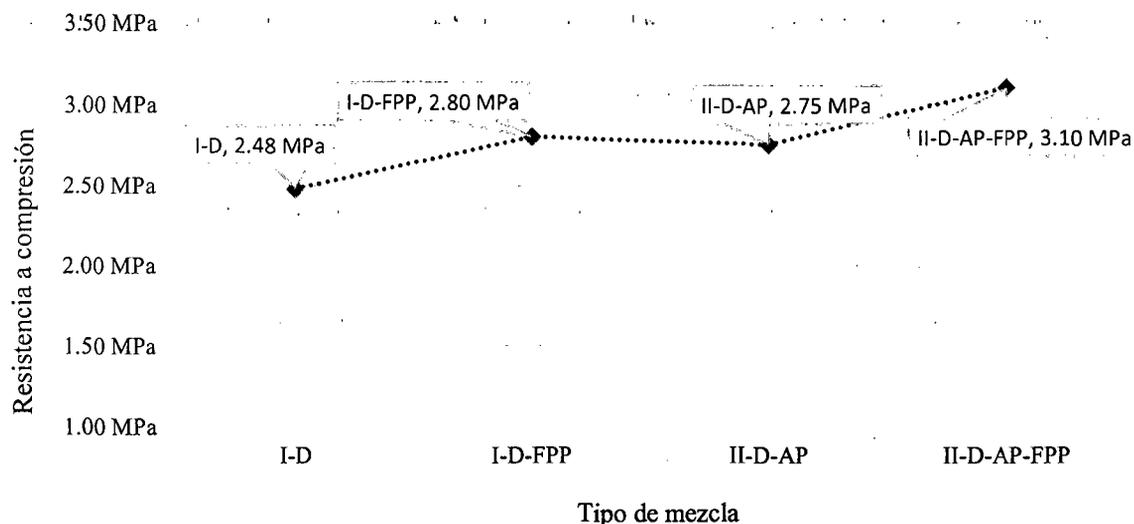


Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 22. Promedio de ensayos a flexión, a edad de 7 días y diferentes tipos de mezclas

En el GRÁFICO N° 22 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

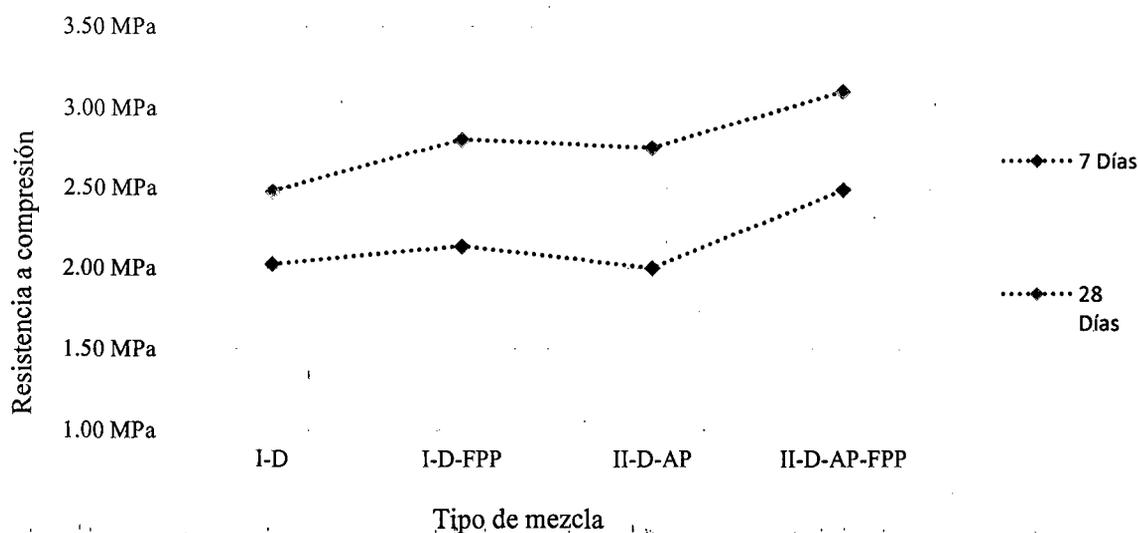
polifuncional y la fibra de polipropileno en forma conjunta, los especímenes de concreto permeable aumentaron su resistencia a la flexión, alcanzando la máxima resistencia.



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 23. Promedio de ensayos a flexión, a edad de 28 días y diferentes tipos de mezclas

En el GRÁFICO N° 23 se desarrolla la resistencia a flexión del concreto a 28 días de ensayo y diferentes porcentajes de adición de fibra, en este gráfico se puede observar que ante la adición del aditivo polifuncional y la fibra de polipropileno en forma conjunta, los especímenes de concreto permeable aumentaron su resistencia a la flexión, alcanzando la máxima resistencia.



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 24. Consolidado de los promedios de ensayos a compresión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas

En el GRÁFICO N° 24 se desarrolla el consolidado de los promedios de ensayos a flexión, a diferentes edades y diferentes tipos de mezcla, en este gráfico se puede observar que el concreto ecológico posee poco incremento dependiendo de la edad de ensayo para la mezcla de diseño reajustada (I-D) en la etapa I, sin embargo con la adición del aditivo polifuncional y la fibra de polipropileno ya sea en forma independiente o conjunta, las resistencias a los 28 días aumentan más que el diseño reajustado.

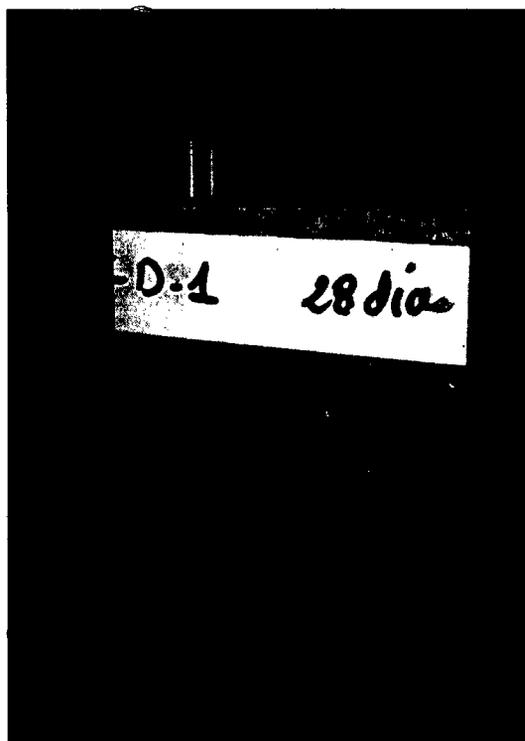


IMAGEN N° 22. Espécimen normal de diseño (I-D) ensayado a flexión

Fuente: Tesista



IMAGEN N° 23. Espécimen normal de diseño más fibras de polipropileno (I-D-FPP) ensayado a flexión
Fuente: Tesista

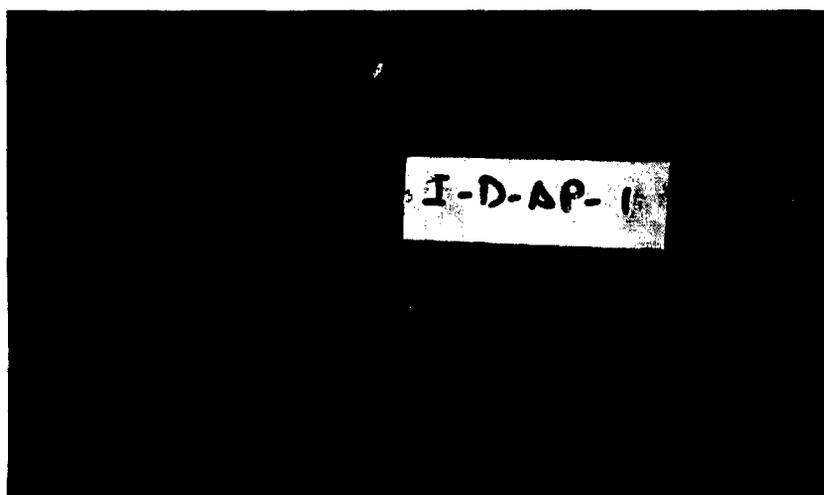


IMAGEN N° 24. Espécimen normal de diseño más aditivo polifuncional (II-D-AP) ensayado a flexión
Fuente: Tesista

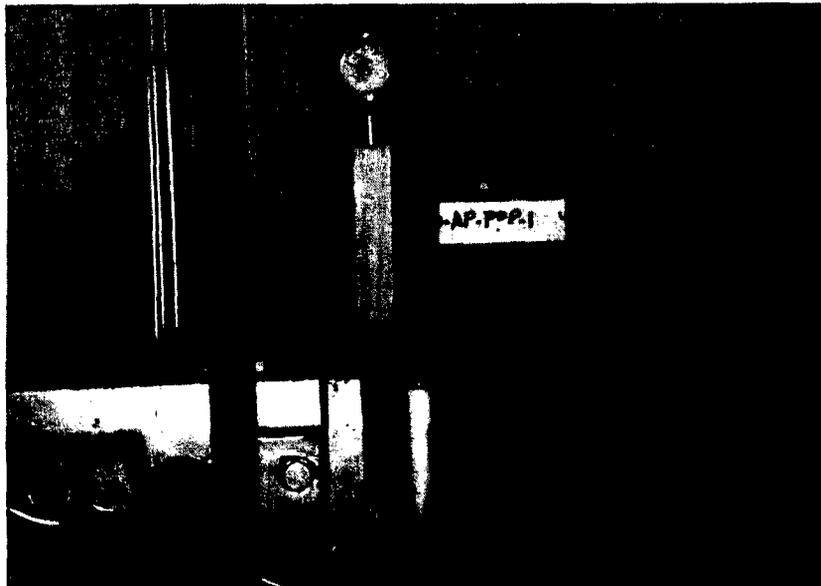


IMAGEN N° 25. Espécimen normal de diseño más aditivo polifuncional y fibra de polipropileno (II-D-AP-FPP) ensayado a flexión
Fuente: Tesista

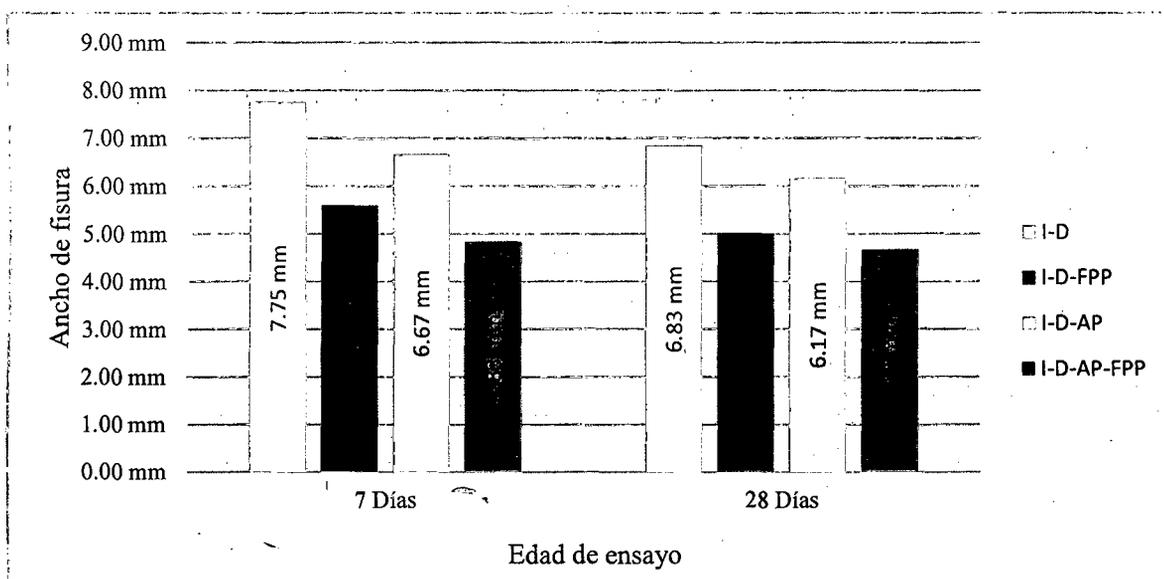
4.6. ANÁLISIS DEL ANCHO Y LONGITUD DE FISURA EN ESPECÍMENES A FLEXION

Se determinó el ancho y longitud de fisura para los especímenes en flexión para poder tener una noción sobre el comportamiento del concreto adicionado con fibras vegetales.

TABLA N° 25. 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	28 Días	
I-D	7.75 mm	6.83 mm	0.00%
I-D-FPP	5.58 mm	5.00 mm	-26.83%
II-D-AP	6.67 mm	6.17 mm	-9.76%
II-D-AP-FPP	4.83 mm	4.67 mm	-31.71%

Fuente: Tesista



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 25. Promedio de anchos de fisura en especímenes ensayados a flexión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas

La TABLA N° 25 y el GRÁFICO N° 25 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 en relación a especímenes del diseño reajustado (I-D) el ancho de fisura disminuye significativamente, a los 28 días el ancho de fisura disminuye en un 26.83% con una adición de la fibra de polipropileno, en 9.76% con la adición del aditivo polifuncional y en un 31.71% con la adición de ambos componentes como es el aditivo polifuncional y la fibra de polipropileno.



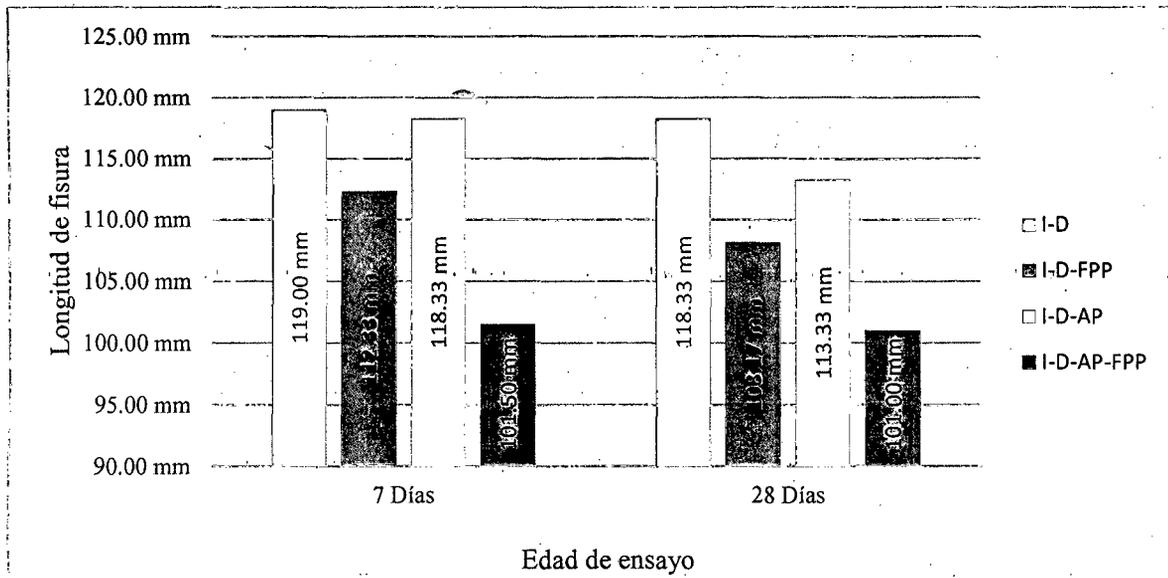
IMAGEN N° 26. Punto y modo de medición del ancho de fisura en ensayos a flexión

Fuente: Tesista

TABLA N° 26. 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	28 Días	
I-D	119.00 mm	118.33 mm	0.00%
I-D-FPP	112.33 mm	108.17 mm	-8.59%
II-D-AP	118.33 mm	113.33 mm	-4.23%
II-D-AP-FPP	101.50 mm	101.00 mm	-14.65%

Fuente: Tesista



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 26. Promedio de longitudes de fisura en especímenes ensayados a flexión a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas

La TABLA N° 26 y el GRÁFICO N° 26 muestran 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 en relación a especímenes del diseño reajustado (I-D) el ancho de fisura disminuye significativamente, a los 28 días la longitud de fisura disminuye en un 8.59% con la adición de las fibras de polipropileno, en 4.23% con una adición del aditivo polifuncional y en un 14.65% con la adición de ambos componentes como es el aditivo polifuncional y la fibra de polipropileno.



IMAGEN N° 27. Punto y modo de medición del largo de fisura en ensayos a flexión
FUENTE: Tesista

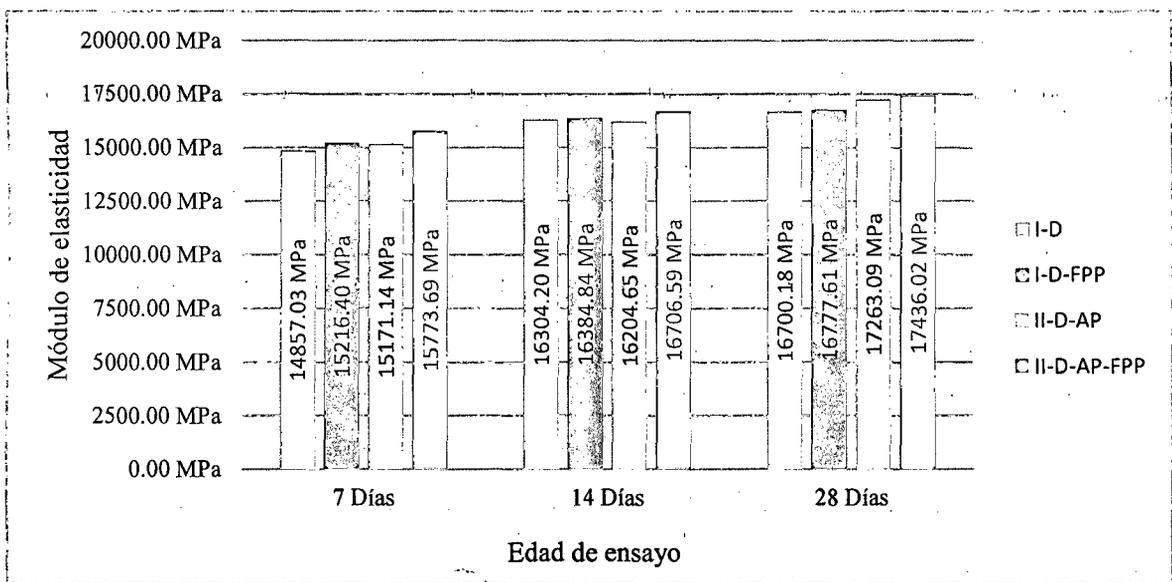
4.7. ANÁLISIS DEL MODULO DE ELASTICIDAD

Se determinó el módulo de elasticidad a través de los métodos establecidos por el ACI 318 y la norma ASTM C469 para las diferentes edades y diferentes tipos de mezcla; los datos promedio se muestran en las siguientes tablas:

TABLA N° 27. 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	14857.03 MPa	16304.20 MPa	16700.18 MPa	0.00%
I-D-FPP	15216.40 MPa	16384.84 MPa	16777.61 MPa	0.46%
II-D-AP	15171.14 MPa	16204.65 MPa	17263.09 MPa	3.37%
II-D-AP-FPP	15773.69 MPa	16706.59 MPa	17436.02 MPa	4.41%

Fuente: Tesista



Fuente: Tesista

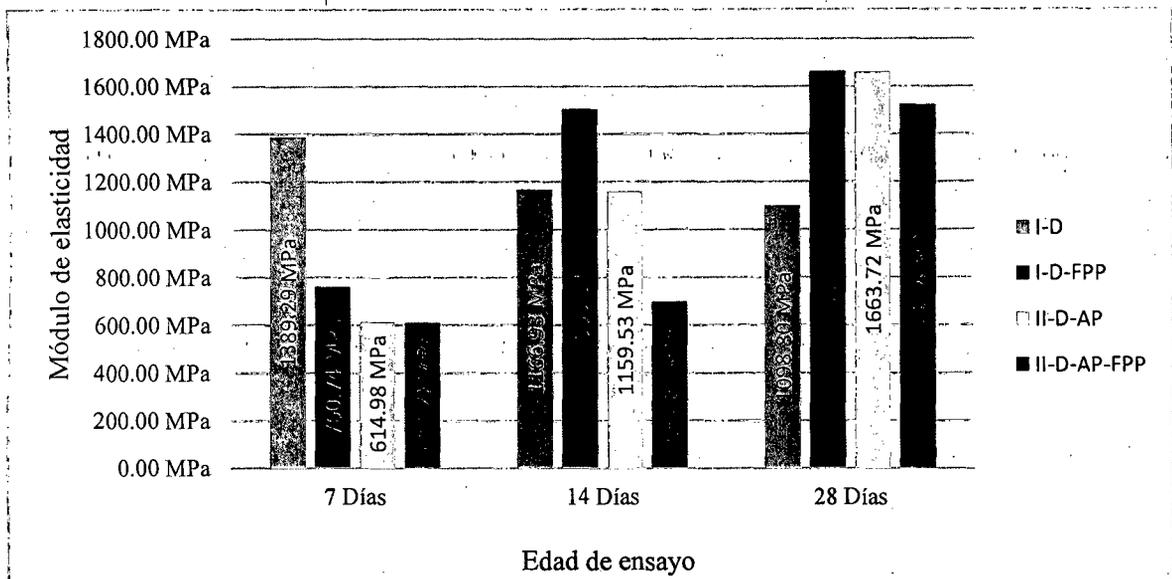
GRÁFICO N° 27. Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas, método ACI 318

En la TABLA N° 27 y en el GRÁFICO N° 27 se puede observar 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 4.41% para la mezcla de diseño reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno.

TABLA N°28. 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	1389.29 MPa	1166.93 MPa	1098.80 MPa	0.00%
I-D-FPP	760.74 MPa	1505.54 MPa	1665.91 MPa	51.61%
II-D-AP	614.98 MPa	1159.53 MPa	1663.72 MPa	51.41%
II-D-AP-FPP	611.22 MPa	697.87 MPa	1523.88 MPa	38.69%

Fuente: Tesista



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 28. Promedio de módulos de elasticidad a diferentes edades y diferentes tipos de mezclas, método ASTM C469

En la TABLA N°28 y el GRÁFICO N° 28 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 9.9% 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.

4.8. ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO ECOLOGICO

Se determinó la permeabilidad del concreto ecológico a los 28 días según la recomendación que se encuentra en el reporte del ACI 522R-10 para los diferentes tipos de mezcla, para especimen el ensayo se realizara 3 veces; los datos promedio se muestran en las siguientes tablas:

TABLA N° 29. Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste (I-D)

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	9.88	9.08	21.14	21.94
	2	15.00	10.00	22.00	9.10			
	3	15.00	10.00	22.00	8.27			
I-D-2	1	15.00	10.00	22.00	7.74	8.31	23.10	
	2	15.00	10.00	22.00	8.87			
	3	15.00	10.00	22.00	8.32			
I-D-3	1	15.00	10.00	22.00	9.12	8.90	21.58	
	2	15.00	10.00	22.00	8.67			
	3	15.00	10.00	22.00	8.90			

Fuente: Tesista

En la TABLA N° 29 se muestra el promedio de permeabilidad para la mezcla de diseño inicial – segundo reajuste que es de 21.94 mm/s, cuyo resultado está por debajo de la permeabilidad estimada que es de 23.25 mm/s. Ambos resultados cumplen con la permeabilidad para concretos permeables que es de 20 mm/s.

TABLA N° 30. Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste adicionado con fibras de polipropileno (I-D-FPP)

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-FPP-1	1	15.00	10.00	22.00	9.60	9.11	21.08	21.32
	2	15.00	10.00	22.00	9.05			
	3	15.00	10.00	22.00	8.67			
I-D-FPP-2	1	15.00	10.00	22.00	8.79	9.01	21.30	
	2	15.00	10.00	22.00	8.95			
	3	15.00	10.00	22.00	9.30			
I-D-FPP-3	1	15.00	10.00	22.00	9.12	8.90	21.58	
	2	15.00	10.00	22.00	8.67			
	3	15.00	10.00	22.00	8.90			

Fuente: Tesista

En la TABLA N° 30 se muestra el promedio de permeabilidad para la mezcla de diseño inicial – segundo reajuste con fibras de polipropileno que es de 21.32 mm/s, cuyo resultado está por debajo de la permeabilidad estimada que es de 26.75 mm/s. Ambos resultados cumplen con la permeabilidad para concretos permeables que es de 20 mm/s.

TABLA N° 31. Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste adicionado con aditivo polifuncional (I-D-AP)

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-AP-1	1	15.00	10.00	22.00	10.20	9.69	19.81	20.15
	2	15.00	10.00	22.00	9.56			
	3	15.00	10.00	22.00	9.31			
II-D-AP-2	1	15.00	10.00	22.00	9.67	9.56	20.08	
	2	15.00	10.00	22.00	8.99			
	3	15.00	10.00	22.00	9.45			
II-D-AP-3	1	15.00	10.00	22.00	9.73	9.68	20.54	
	2	15.00	10.00	22.00	8.89			
	3	15.00	10.00	22.00	9.42			

Fuente: Tesista

En la TABLA N° 31 se muestra el promedio de permeabilidad para la mezcla de diseño inicial – segundo reajuste con aditivo polifuncional que es de 20.15 mm/s, cuyo resultado es mucho menor que la permeabilidad estimada que es de 108 mm/s. Ambos resultados cumplen con la permeabilidad para concretos permeables que es de 20 mm/s.

TABLA N° 32. Permeabilidad del concreto ecológico para la mezcla del diseño inicial – segundo reajuste adicionado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno (I-D-AP-FPP)

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-AP-FPP-1	1	15.00	10.00	22.00	9.14	8.77	21.88	21.53
	2	15.00	10.00	22.00	8.75			
	3	15.00	10.00	22.00	8.43			
II-D-AP-FPP-2	1	15.00	10.00	22.00	8.12	8.59	22.35	
	2	15.00	10.00	22.00	8.75			
	3	15.00	10.00	22.00	8.90			
II-D-AP-FPP-3	1	15.00	10.00	22.00	10.10	9.43	20.37	
	2	15.00	10.00	22.00	9.30			
	3	15.00	10.00	22.00	8.88			

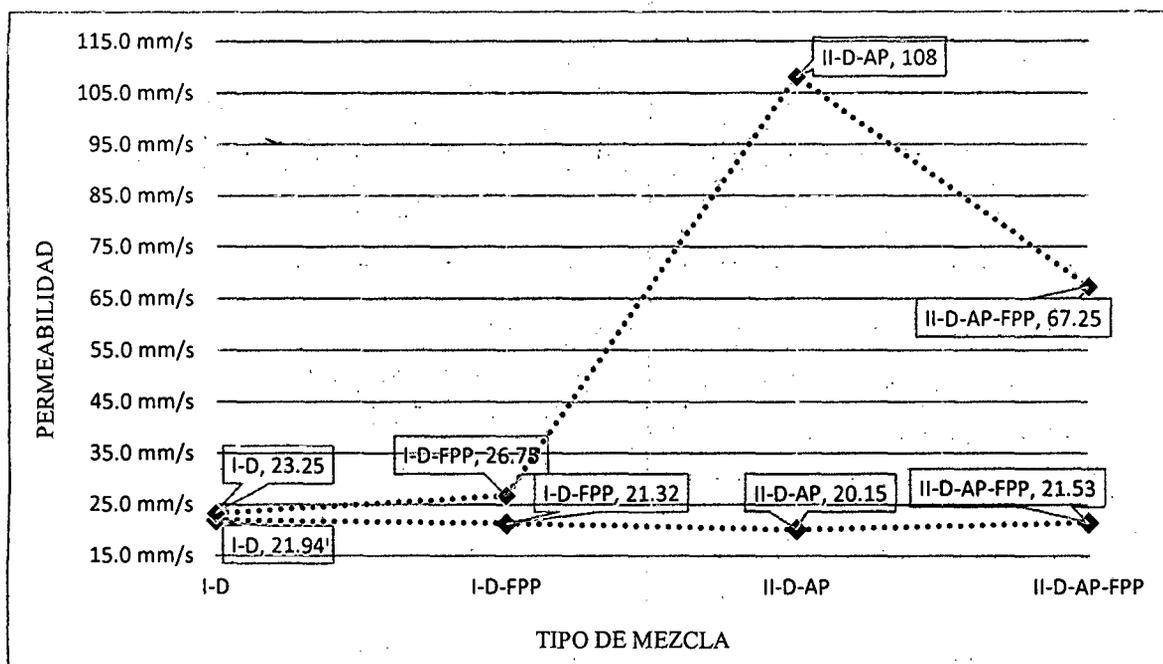
Fuente: Tesista

En la TABLA N° 32 se muestra el promedio de permeabilidad para la mezcla de diseño inicial – segundo reajuste con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno que es de 21.53 mm/s, cuyo resultado es mucho menor que la permeabilidad estimada que es de 67.25 mm/s. Ambos resultados cumplen con la permeabilidad para concretos permeables que es de 20 mm/s.

TABLA N° 33. Consolidado de los promedios de la permeabilidad real y la permeabilidad estimada

Tipo de Mezcla	Promedio de Permeabilidad de real (mm/s)	Permeabilidad estimada (mm/s)
I-D	21.94	23.25
I-D-FPP	21.32	26.75
II-D-AP	19.91	108
II-D-AP-FPP	21.53	67.25

Fuente: Tesista



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 29. Consolidado de los promedios de la permeabilidad real y la permeabilidad estimada

En la TABLA N° 33 y el GRÁFICO N° 29 se muestran el consolidado de los resultados de la permeabilidad real y la permeabilidad estimada, de donde se observa que la permeabilidad real varía entre 20.15 – 21.4 mm/s, mientras que la permeabilidad estimada se tiene un máximo de 108 mm/s para el tipo de mezcla II-AP, esto sucede debido a que el contenido de vacíos es de 19.32% en este diseño. Además cabe mencionar que en todos los casos las permeabilidades son mayores que la permeabilidad mínima de 20 mm/s.

4.9. ANÁLISIS DE COSTOS EN FUNCION A LA RESISTENCIA DEL CONCRETO ECOLÓGICO

El análisis está basado en el costo básico de materiales de los cuatros diferentes tipos de mezcla con los que se trabajó el concreto ecológico, en la siguiente tabla se muestra la cantidad de material por m³ de concreto.

TABLA N° 34. Cantidad de materiales por m³ de concreto ecológico

Nombre de la Mezcla	f _c MPa	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua	Aditivo plastificante (ml)	Fibra Polipropileno kg
		Kg	Kg	Kg	l		
I-D	17.03	361.90	244.78	1347.80	113.74	0.000	0.000
I-D-FFP	17.67	361.90	244.78	1347.80	113.74	0.000	0.600
I-D-AP	18.06	344.73	243.82	1383.80	108.83	2413.110	0.000
I-D-AP-FFP	18.67	344.73	243.82	1383.80	108.83	2413.110	0.600

Fuente: Tesista

En la TABLA N° 34 se muestra la cantidad de materiales por m³ de concreto ecológico que se obtuvieron de los diseños para los diferentes tipos de mezcla. Convirtiendo los pesos de los materiales a volúmenes aparentes para un 1m³ de concreto ecológico se tiene:

TABLA N° 35. Volúmenes de materiales para 1m³ de concreto ecológico

Nombre de la Mezcla	f _c MPa	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua	Aditivo plastificante (ml)	Fibra Polipropileno Kg/m ³
		Bolsas	m ³	m ³	l		
I-D	17.03	8.52	0.157	0.936	113.74	0.000	0.000
I-D-FFP	17.67	8.52	0.157	0.936	113.74	0.000	0.600
I-D-AP	18.06	8.11	0.157	0.961	108.83	2.413	0.000
I-D-AP-FFP	18.67	8.11	0.157	0.961	108.83	2.413	0.600

Fuente: Tesista

En la TABLA N° 35 se tiene la cantidad de materiales en m³ que se necesita para la elaboración de 1m³ de concreto ecológico, los cuales serán utilizados en el análisis de precios unitarios del concreto.

Para la cantidad de materiales que es utilizado para la elaboración del concreto convencional se tomara del listado de análisis maestros de CAPECO (Cámara Peruana de la Construcción) con los cuales se trabaja la mayoría de proyectos para pavimentos rígidos de f_c=175 kg/cm².

TABLA N° 36. Volúmenes de materiales para 1m³ de concreto convencional, f_c=175 kg/cm².

Nombre de la Mezcla	f _c MPa	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua
		Bolsas	m ³	m ³	m ³
Concreto Convencional	17.16	8.43	0.510	0.760	0.184

Fuente: Análisis maestros de CAPECO (Cámara Peruana de la Construcción), pág. 278.

En la TABLA N° 36 se tiene la cantidad de materiales en m³ que se necesita para la elaboración de 1m³ de concreto convencional de f_c=175 kg/cm², los cuales serán utilizados en el análisis de precios unitarios del concreto convencional.

A continuación se muestra los precios correspondientes a los materiales que se usaron para la elaboración del concreto ecológico (Precios corresponden al mes de agosto del 2015. Inc. IGV)

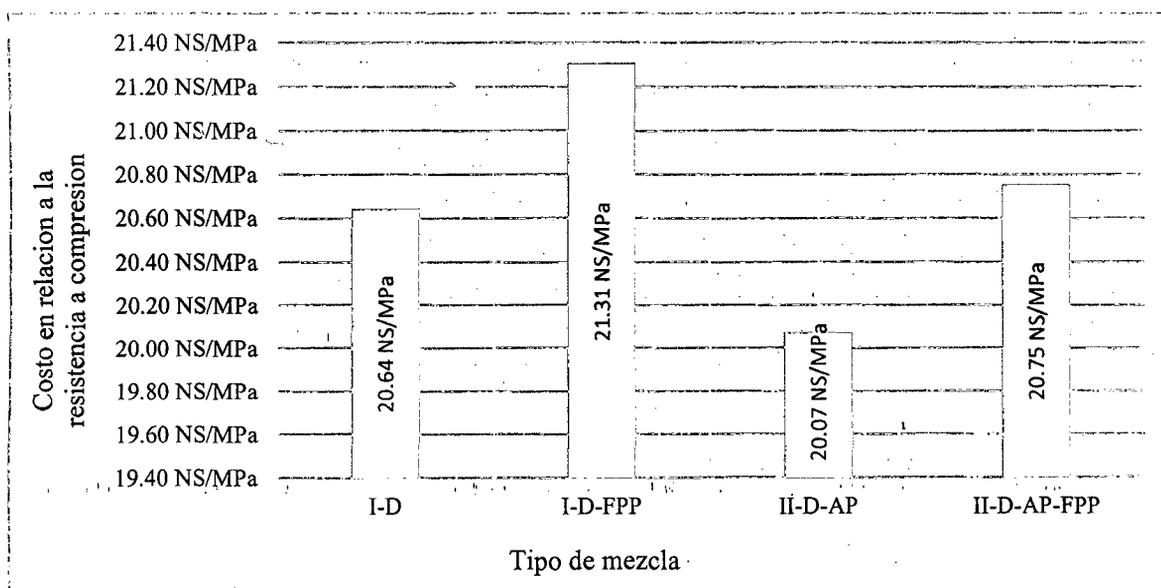
Cemento Pacasmayo Tipo I	=	S/.22.50 /bolsa
Agregado Fino	=	S/.40.00 /m ³
Agregado Grueso (3/4")	=	S/.40.00 /m ³
Agua	=	S/.1.65 /m ³
Fibras de Polipropileno	=	S/.41.67 /kg
Aditivo Polifuncional Sikament 290N	=	S/.8.00 /L

Se hizo un análisis de precios unitarios de materiales, mano de obra, equipos y herramientas para el cálculo del costo por metro cúbico de concreto ecológico y se procedió a su análisis en función a la resistencia especificada para los diferentes esfuerzos.

TABLA N° 37. Costo de la unidad cúbica de concreto en función a diferentes tipos de mezcla y su respectiva resistencia a la compresión a los 28 días

Tipo de mezcla	Costo del m3 de concreto	Resistencia a compresión	Costo sobre resistencia	Variación
I-D	S/.351.50	17.03 MPa	20.64 NS/MPa	0.00%
I-D-FPP	S/.376.50	17.67 MPa	21.31 NS/MPa	3.21%
II-D-AP	S/.362.56	18.06 MPa	20.07 NS/MPa	-2.76%
II-D-AP-FPP	S/.387.56	18.67 MPa	20.75 NS/MPa	0.53%

Fuente: Tesista



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 30. Costo de la unidad cúbica de concreto en función a diferentes tipos de mezcla y su respectiva resistencia a la compresión a los 28 días

La TABLA N° 37 y GRÁFICO N° 30 se muestra el costo del concreto en función a su resistencia a compresión a los 28 días, se puede observar que el concreto ecológico con el fibras de polipropileno tiene un aumento de costo de 3.21% en función de su resistencia, sin

embargo el concreto ecológico con aditivo polifuncional tiene una reducción de costo de 2.76% en función a su resistencia y en el concreto ecológico con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno tiene un aumento de costo de 0.53% en función de su resistencia, estas comparaciones se hacen en función a la resistencia obtenida y en base a los especímenes de diseño inicial reajustados.

Para el análisis del costo del concreto convencional se hizo un análisis de precios unitarios de materiales, mano de obra, equipos y herramientas para el cálculo del costo por metro cúbico de concreto y se procedió a su análisis en función a la resistencia especificada para los diferentes esfuerzos.

TABLA N° 38. Costo de la unidad cúbica de concreto convencional

Tipo de mezcla	Costo del m3 de concreto	Resistencia a compresión	Costo sobre resistencia
Concreto convencional	S/.355.92	17.16 MPa	20.74 NS/MPa

Fuente: Tesista

En la TABLA N° 38 se analiza el costo de una unidad cubica de concreto convencional en función de su resistencia (17.16 MPa = 175 kg/cm²), donde el costo es de 20.74 NS/MPa. Al comparar con el costo con nuestro concreto ecológico cuyo diseño será el diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno (II-D-AP-FPP) se observa que el costo es mayor en 0.05% que el costo del concreto convencional.

4.10. CONTRASTE DE HIPÓTESIS

➤ Se verificó que la mezcla de concreto ecológico con fibras de polipropileno (SIKAFIBER® PE) alcanzan una resistencia mecánica de 17.67 MPa (180.18 kg/cm²) a compresión, 2.80 MPa (28.55 kg/cm²) a flexión, además el contenido de vacíos para este diseño es de 16.07% el cual se obtiene una permeabilidad estimada de 26.75 mm/s y además se tiene una permeabilidad real promedio de 21.32 mm/s. Con la finalidad de mejorar la trabajabilidad y tener una fácil colocación del concreto ecológico con fibras de polipropileno se ha adicionado el aditivo polifuncional (SIKAMENT® - 290N) con el cual se aumenta las resistencias mecánicas a 18.67 MPa (190.38 kg/cm²) en la resistencia a compresión, 3.10 MPa (30,69 kg/cm²) en la resistencia a flexión y además se tiene un contenido de vacíos de 17.69% el cual da una permeabilidad estimada de 67.25 mm/s y además se tiene una permeabilidad real promedio de 21.53 mm/s.

➤ La resistencia a la compresión del concreto ecológico con fibras de polipropileno a los 28 días es 17.67 MPa (180.18 kg/cm²), y luego de mejorar la trabajabilidad y tener una adecuada colocación del concreto ecológico con fibras de polipropileno se ha adicionado un aditivo polifuncional (SIKAMENT® - 290N) con el cual se ha mejorado la resistencia a compresión dando como resultado 18.67 MPa (190.38 kg/cm²). Por lo tanto dichas resistencias son mayores que 17.16 MPa (175 kg/cm²) utilizado para pavimentos rígidos de bajo tránsito, esto se debe al aumento en la cantidad de cemento y además de la utilización las fibras de polipropileno y el aditivo polifuncional. La densidad o peso unitario promedio del concreto ecológico con fibras de polipropileno en estado endurecido es de 2050.44 kg/m³ y con la adición de aditivo polifuncional se tiene una densidad promedio de 2074.73 kg/m³, ambas densidades se encuentran dentro del rango de los concretos livianos; la cual es menor que el concreto convencional que varía de 2200 kg/m³ a 2400 kg/m³.

Capítulo V



Conclusiones y recomendaciones

5.1. CONCLUSIONES

- El diseño de mezclas final de concreto ecológico, cumple con los requerimientos mecánicos, permeables y de densidad, los cuales definen a un concreto permeable según las normas vigentes del ACI 211. 3R – 97 y ACI 522R-10, necesarias para el diseño de pavimentos rígidos en vías de bajo tránsito. Las propiedades mecánicas e hidráulicas son las siguientes.

TABLA N° 39. Resumen de las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto ecológico con las diferentes tipos de mezclas

Tipo de mezcla	Peso unitario en estado endurecido	Porcentaje de vacíos	Permeabilidad Real	Resistencia a Compresión	Resistencia a Flexión	Módulo de Elasticidad
I-D	2069.93 kg/m ³	15.93 %	21.94 mm/s	17.03 MPa	2.48 MPa	16700.18 MPa
I-D-FPP	2050.44 kg/m ³	16.07 %	21.32 mm/s	17.67 MPa	2.80 MPa	16777.61 MPa
II-D-AP	2074.73 kg/m ³	19.32 %	20.15 mm/s	18.06 MPa	2.75 MPa	17263.09 MPa
I-D-AP-FPP	2064.71 kg/m ³	17.69 %	21.53 mm/s	18.67 MPa	3.10 MPa	17436.02 MPa

Fuente: Tesista

- La metodología del diseño de las mezclas del concreto ecológico se basó de acuerdo los criterios de las normas ACI 211. 3R – 97 y ACI 522R-10, y luego se hicieron reajustes mediante tandas de prueba hasta lograr los diseños óptimos para cada tipo de dosificación, siendo los parámetros la resistencia mecánica e hidráulica los cuales deben lograr un equilibrio.
- Para la elaboración del concreto ecológico se utilizó los agregados de la cantera “La Victoria”, de los cuales el agregado grueso tienen una forma angular cuyo tamaño máximo nominal es $\frac{3}{4}$ ” y se encuentra dentro del uso granulométrico N° 67; el agregado fino es una arena gruesa lavada. Ambos agregados cumplen con los requisitos y estándares mínimos para su utilización en este tipo de concreto. Los resultados de los ensayos de las propiedades físico mecánicas realizados a los agregados se encuentran en la siguiente tabla.

TABLA N° 40. Caracterización físico – mecánicos de agregados

CARACTERÍSTICA DEL AGREGADO	FINO	GRUESO	UNIDAD
Peso Específico de Masa	2.590	2.556	gr/cm ³
Peso Específico de Masa Saturada con Superficie Seca	2.622	2.585	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto Seco	1514.16	1432.60	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado Seco	1675.820	1553.50	Kg/m ³
Contenido de Humedad	2.73	0.49	%
Absorción	1.24	1.14	%
Módulo de Finura	2.73	6.78	---
Tamaño Máximo Nominal	3/4		---
Partículas < Tamiz N° 200	4.76	0.65	---
Resistencia al desgaste por abrasión	---	27.43	%

Fuente: Tesista

Se debe hacer un énfasis en la granulometría y el desgaste del agregado grueso ya que depende mucho de estas propiedades para obtener unos buenos resultados en la elaboración de la mezcla de concreto ecológico.

- Se evaluó las propiedades físicos-mecánicas de las mezclas de concreto ecológico con fibras de polipropileno de donde se obtuvieron resultados favorables así como: una consistencia seca de la mezcla, poca trabajabilidad y manejo, una resistencia a los 28 días de 17.67 MPa (180.18 kg/cm²) a compresión, 2.80 MPa (28.55 kg/cm²) a flexión, una permeabilidad de 21.32 mm/s, un peso unitario de 2050.44 kg/m³, un módulo de elasticidad de 16777.61 MPa (171084.00 kg/cm²). Con la mezcla de diseño final de concreto ecológico con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno se obtuvo los siguientes resultados: una consistencia seca de la mezcla, buena trabajabilidad y manejo, una resistencia a los 28 días de 18.67 MPa (190.38 kg/cm²) a compresión, 3.01 MPa (30,69 kg/cm²) a flexión, una permeabilidad de 21.53 mm/s, un peso unitario de 2064.71 kg/m³, un módulo de elasticidad de 17436.02 MPa (177797.92 kg/cm²).

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de durabilidad del concreto ecológico con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno.
- Es importante aclarar que el pavimento de Concreto Ecológico está concebido para ser aplicado a vías de poco a mediano tráfico y otras áreas. También en aplicaciones tales como: aceras, senderos, fuentes, orillas de piscinas. No para tráfico vehiculares altos, a no ser que sirvan como sub bases drenantes en los que ayudaría en buena medida a evitar la migración de finos evitando así en futuro el fenómeno de bombeo.

- 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.
- Enfatizar la necesidad del estudio de colmatación y descolmatación presentes principalmente en estos pavimentos a largo plazo debido a los aportes de sedimentos, para determinar periodos de mantenimiento.

Capítulo VI



Bibliografía

6.1. TESIS

- ✎ Azañedo Medina W. H., Chávez Juanito H., Muñoz Valdivia R. G. (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, Cajamarca, Perú.
- ✎ García Haba, E. (2011). Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación en climas mediterráneos. (Fin de Master). Universidad Politécnica de Valencia.
- ✎ Vigil Sanchez, Marlon Ebiezer (2012), Diseño, proceso constructivo y evaluación post construcción de un pavimento rígido de concreto permeable (Tesis Profesional). Universidad de El Salvador, San Salvador, Republica de El Salvador.
- ✎ Trujillo López Alejandra, Quiroz Lasprilla Diana P. (2013), Pavimentos Porosos utilizados como sistemas alternativos al Drenaje Urbano (Tesis Profesional), Pontificia Universidad Javeriana, Santiago de Cali , Bogotá, Colombia.
- ✎ Barahaona Aguiluz R., Martínez Guerreo M., Zelaya Zelaya S. (2013), Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras, El Carmen, Aramuaca y La Pedrera, de la Zona oriental de El Salvador (Tesis Profesional), Universidad de El Salvador, San Miguel, El Salvador, Centro América.
- ✎ Yaneth Verónica Calderón Colca, Juan Antonio Charca Chura, Director Msc. Calixtro Yanqui Murillo (2013). Investigación en Concreto Poroso (Investigación), Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- ✎ Felipe Mour Yail, Castañeda U. Luis (2014), Diseño y Aplicación de concreto poroso en pavimentos (Tesis Profesional), Pontificia Universidad Javeriana, Santiago de Cali, Bogotá, Colombia,
- ✎ Hernández Díaz Brian, Martínez Llorente Omar (2014), Diseño de un campo de prueba piloto de pavimentos permeables en la ciudad de Cartagena (Tesis Profesional), Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia.

- ✎ Cruz Palafox Carlos, Segovia López Anayali, Refugio Gonzales María (2014), Diseño de un concreto Permeable para la recuperación de Agua/ A pervious concrete design for wáter recovery (Programa Educativo de Ingeniería Civil). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Ingeniería. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.
- ✎ López-Fernández, A.E., Paz-Casas (2014), Diseño y caracterización mecánica del concreto permeable empleando diferentes aditivos (Tesis Profesional). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Ingeniería. Pachuca de Soto, Hidalgo, México

6.2. LIBROS Y REGLAMENTOS

- ✎ Rodríguez, J. (2008). Estudio, análisis y diseño de secciones permeables de firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con la capacidad portante necesaria para soportar tráficos ligeros.
- ✎ Veles, L (2010). Permeabilidad y porosidad en concreto. Revista Tecnologías lógicas.
- ✎ Secretaría Distrital de Ambiente. (2011). Sistema urbanos de drenaje sostenible. Bogotá.
- ✎ Calderon Colca Y., Charca Chura J., Yanqui Murillo C (2013), Investigación en concreto poroso (Boletín Informativo ASOCEM 2013), Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Peru.

6.3. NORMAS

- ✎ ACI Committee 522.1-08. - Specification for Pervious Concrete Pavementl American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.
- ✎ ACI Committee 522R-10. - Report on Pervious Concretel. American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.
- ✎ ACI Committee 330R-01 —Guide for Design and Construction of Concrete Parking Lotsl. American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.
- ✎ ACI 211.3R-02 – Guide to Selecting Concrete proportioning without Slump.

- ⌘ Pervious Concrete: Guideline to Mixture Proportioning. National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). 2009
- ⌘ Pervious Concrete: Hydrological Design and Resources. Portland Cement Association (PCA), National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), American Concrete Pavement Association (ACPA). 2007
- ⌘ Specifier's Guide for Pervious Concrete Pavement Design. Version 1.2, Colorado Ready Mixed Concrete Association. 2009.
- ⌘ ASTM C 469. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.
- ⌘ ASTM C 1688 /1688M – Método de Ensayo Estándar para la Determinación del Contenido de Vacíos y Densidad de la Mezcla de Concreto Permeable en Estado Fresco.
- ⌘ ASTM C494/494M – Especificación Estándar para Aditivos Químicos para Concreto
- ⌘ NTP 339.034.2008 (revisada 2013). HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- ⌘ NTP 339.035.2008 CONCRETO. Método de ensayo para la medición del Asentamiento del hormigón con el cono de Abrams.
- ⌘ NTP 339.079.2012 CONCRET. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo. 3ª. Ed. R. 2012-CRT-INDECOPI.
- ⌘ NTP 339.088.2006 HORMIGÓN (CONCRETO). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos. 2ª. Ed. R. 2006-CRT-INDECOPI.
- ⌘ NTP 339.183.2013. HORMIGÓN. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

- ⌘ NTP 339.185.2013. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable del agregado por secado. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- ⌘ NTP 400.012.2013 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- ⌘ NTP 400.017.2011 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso unitario”) y los vacíos en los agregados. 3ª. Ed. R. 2011-CRT-INDECOPI.
- ⌘ NTP 400.018.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μ (Nº 200). 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- ⌘ NTP 400.019.2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores para abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. 2ª. Ed. R. 2002-CRT-INDECOPI.
- ⌘ NTP 400.021.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- ⌘ NTP 400.022.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- ⌘ NTP 400.037.2002 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto). 2ª. Ed. R. 2002-CRT-INDECOPI.

6.4. PÁGINAS WEB

- ⌘ Hidrocreto. (2012). Sistemas para infiltrar o recuperar el agua pluvial por medio de pisos y pavimentos porosos. Concreto Permeable Ecológico. <http://www.concretopermeable.com/fichatecnica/hidrocreto.pdf>
- ⌘ Subramanian News. (2009). Concreto permeable - un material ecológico que contribuye al ahorro de los recursos hídricos, frente a las escasas de agua http://www.asocem.org.pe/web/_infor_esp/Informe%20Especial_julio09.pdf

Capítulo VII

Anexos

7.1. ANEXO I: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE LOS AGREGADOS

TABLA N° 41. Ensayo de Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción de Agregados Finos (ASTM C128 / NTP 400.022)

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03	Promedio
S = Masa saturado superficialmente seco (gr)	500.00	500.00	500.00	---
C = Peso saturado superficialmente seco + Peso de picnómetro (gr)	1020.90	1020.20	1019.80	---
B = Peso del picnómetro + agua (gr)	711.60	711.10	710.30	---
A = Peso de la muestra seca (gr)	494.00	493.90	493.80	
Densidad relativa (Gravedad específica) OD $= A / (B + S - C)$	2.590	2.587	2.592	2.590
Densidad relativa (Gravedad específica) SSD $= S / (B + S - C)$	2.622	2.619	2.625	2.622
Densidad relativa aparente (Gravedad específica aparente) $= A / (B + A - C)$	2.675	2.673	2.679	2.676
Absorción $= (S - A) / A$	1.21	1.24	1.26	1.24

Fuente: Tesista

TABLA N° 42. Ensayo de Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción de Agregados Grueso (ASTM C127 / NTP 400.021)

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03	Promedio
A = Masa de la muestra secada al horno (gr)	3164.50	3162.60	3066.00	---
B = Masa de la muestra de ensayo de superficie seca en aire (gr)	3200.00	3200.00	3100.00	---
C = Masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua (gr)	1965.00	1965.00	1895.00	---
a. Densidad relativa (Gravedad específica) OD $= A / (B - C)$	2.562	2.561	2.544	2.556
b. Densidad relativa (Gravedad específica) SSD $= B / (B - C)$	2.591	2.591	2.573	2.585
c. Densidad relativa aparente $= A / (A - C)$	2.638	2.641	2.618	2.632
d. Absorción $Abs = [(B - A) / A] * 100$	1.12	1.18	1.11	1.14

Fuente: Tesista

TABLA N° 43. 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)	3880
Peso del vidrio (gr)	875
Peso del recipiente + agua + vidrio (gr)	7745
Peso del agua (gr)	2990
Temperatura (°C)	17.5
Densidad (Kg/m3)	998.68
Factor (f) (/m3)	334.006

Fuente: Tesista

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

TABLA N° 44. Ensayo de Densidad (Peso Unitario Suelto) del Agregado Fino

ASTM C 29 / NTP 400.017

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03
Peso del recipiente (gr)	3880	3880	3880
Peso del recipiente + mat. (gr)	8390	8420	8430
Peso del material (gr)	4510	4540	4550
Factor (f)	334.006	334.006	334.006
Peso Unit. Suelto (Kg/m3)	1506.37	1516.39	1519.73
Peso Unit. Suelto Promedio (Kg/m3)	1514.16		

Fuente: Tesista

TABLA N° 45. Ensayo de Densidad (Peso Unitario Compactado) del Agregado Fino

ASTM C 29 / NTP 400.017

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03
Peso del recipiente (gr)	3880	3880	3880
Peso del recipiente + mat. (gr)	8890	8897	8905
Peso del material (gr)	5010	5017	5025
Factor (f)	334.006	334.006	334.006
Peso Unit. Compactado (Kg/m3)	1673.37	1675.71	1678.38
Peso Unit. Compactado Promedio (Kg/m3)	1675.82		

Fuente: Tesista

TABLA N° 46. Ensayo Calculo del Factor (f) para la Densidad (Peso Unitario) del Agregado Grueso
ASTM C 29 / NTP 400.017

Factor (f) para el Agregado Fino	
Peso del recipiente (gr)	4210
Peso del vidrio (gr)	875
Peso del recipiente + agua + vidrio (gr)	14805
Peso del agua (gr)	9720
Temperatura (°C)	17.5
Densidad (Kg/m ³)	998.68
Factor (f) (/m ³)	102.745

Fuente: Tesista

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

TABLA N° 47. Ensayo de Densidad (Peso Unitario Suelto) del Agregado Grueso
ASTM C 29 / NTP 400.017

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03
Peso del recipiente (gr)	4210	4210	4210
Peso del recipiente + mat. (gr)	18200	18160	18100
Peso del material (gr)	13990	13950	13890
Factor (f)	102.745	102.745	102.745
Peso Unit. Suelto (Kg/m ³)	1437.40	1433.29	1427.12
Peso Unit. Suelto Promedio (Kg/m ³)	1432.60		

Fuente: Tesista

TABLA N° 48. Ensayo de Densidad (Peso Unitario Compactado) del Agregado Grueso
ASTM C 29 / NTP 400.017

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03
Peso del recipiente (gr)	4210	4210	4210
Peso del recipiente + mat. (gr)	19360	19300	19330
Peso del material (gr)	15150	15090	15120
Factor (f)	102.745	102.745	102.745
Peso Unit. Compactado (Kg/m ³)	1556.58	1550.42	1553.50
Peso Unit. Compactado Promedio (Kg/m ³)	1553.50		

Fuente: Tesista

TABLA N° 49. Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N° 1
ASTM C 136 / NTP 400.012

Malla		Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido	Porcentaje Pasa	HUSO GRANULOMÉTRICO		
N°	Abertura (mm)					(gr)	Parcial (%)	Acum. (%)
3/8	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100	---	100
N° 4	4.75	42.40	2.83	2.83	97.17	95	---	100
N° 8	2.38	183.30	12.22	15.05	84.95	80	---	100
N° 16	1.19	181.60	12.11	27.15	72.85	50	---	85
N° 30	0.600	287.80	19.19	46.34	53.66	25	---	60
N° 50	0.300	514.80	34.32	80.66	19.34	10	---	30
N° 100	0.150	228.60	15.24	95.90	4.10	2	---	10
CAZOL.		61.50	4.10	100.00	0.00	Módulo de Finura		
TOTAL		1500.00				2.68		

Fuente: Tesista

TABLA N° 50. Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N° 2
ASTM C 136 / NTP 400.012

Malla		Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido	Porcentaje Pasa	HUSO GRANULOMÉTRICO		
N°	Abertura (mm)					(gr)	Parcial (%)	Acum. (%)
3/8	9.5	0.00	0.00	0.00	0.00	100	---	100
N° 4	4.75	42.40	42.50	2.83	2.83	95	---	100
N° 8	2.38	183.30	192.10	12.81	15.64	80	---	100
N° 16	1.19	181.60	163.50	10.90	26.54	50	---	85
N° 30	0.600	287.80	279.20	18.61	45.15	25	---	60
N° 50	0.300	514.80	543.30	36.22	81.37	10	---	30
N° 100	0.150	228.60	212.00	14.13	95.51	2	---	10
CAZOL.		61.50	67.40	4.49	100.00	Módulo de Finura		
TOTAL		1500.00				2.68		

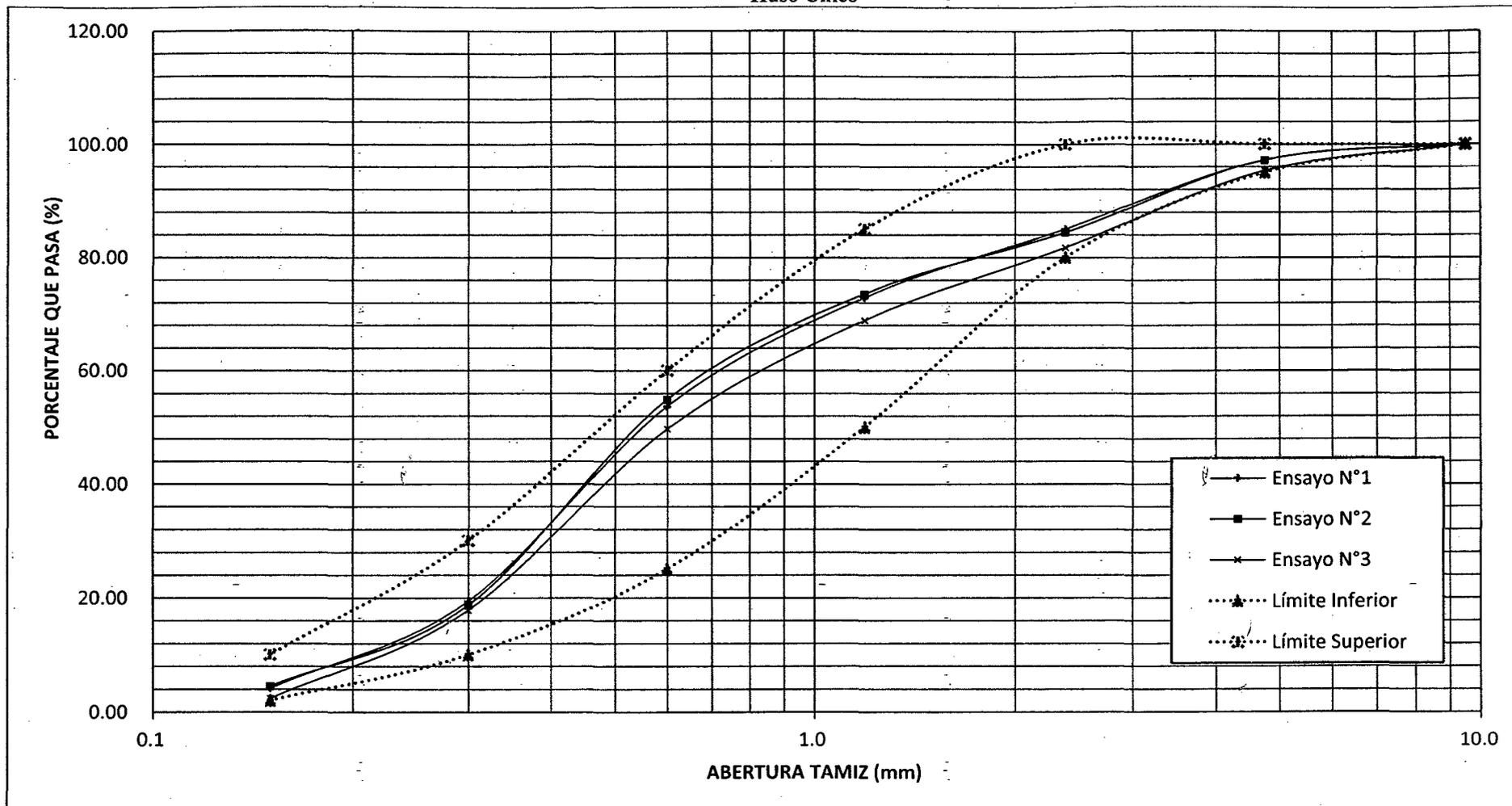
Fuente: Tesista

**TABLA N° 51. Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Fino – Ensayo N° 3
ASTM C 136 / NTP 400.012**

Malla		Peso Retenido (gr)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acum. (%)	Porcentaje Pasa (%)	HUSO GRANULOMÉTRICO		
N°	Abertura (mm)					ÚNICO		
3/8	9.5	0.00	0.00	0.00	0.00	100	---	100
N° 4	4.75	42.40	71.20	4.75	4.75	95	---	100
N° 8	2.38	183.30	203.50	13.57	18.31	80	---	100
N° 16	1.19	181.60	193.00	12.87	31.18	50	---	85
N° 30	0.600	287.80	287.40	19.16	50.34	25	---	60
N° 50	0.300	514.80	478.20	31.88	82.22	10	---	30
N° 100	0.150	228.60	231.20	15.41	97.63	2	---	10
CAZOL		61.50	35.50	2.37	100.00	Módulo de Finura		
TOTAL		1500.00				2.68		

Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 31. Consolidado del análisis granulométrico del agregado Fino
Huso Único



Fuente: Tesista

TABLA N° 52. Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N° 1
ASTM C 136 / NTP 400.012

Malla		Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido	Porcentaje Pasa	HUSO GRANULOMÉTRICO		
N°	Abertura (mm)					(gr)	Parcial (%)	Acum. (%)
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00	100	---	100
3/4"	19.0	350.30	5.84	5.84	94.16	90	---	100
1/2"	12.7	2080.10	34.67	40.51	59.49	45	---	70
3/8"	9.5	1560.60	26.01	66.52	33.48	20	---	55
N° 4	4.76	2005.10	33.42	99.94	0.06	0	---	10
Cazoleta		3.90	0.07	100.00	0.00	Módulo de Finura		
TOTAL		6000.00				6.72		

Fuente: Tesista

TABLA N° 53. Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N° 2
ASTM C 136 / NTP 400.012

Malla		Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido	Porcentaje Pasa	HUSO GRANULOMÉTRICO		
N°	Abertura (mm)					(gr)	Parcial (%)	Acum. (%)
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00	100	---	100
3/4"	19.0	685.00	11.42	11.42	88.58	90	---	100
1/2"	12.7	2152.30	35.87	47.29	52.71	45	---	70
3/8"	9.5	1253.20	20.89	68.18	31.83	20	---	55
N° 4	4.76	1904.90	31.75	99.92	0.08	0	---	10
Cazoleta		4.60	0.08	100.00	0.00	Módulo de Finura		
TOTAL		6000.00				6.80		

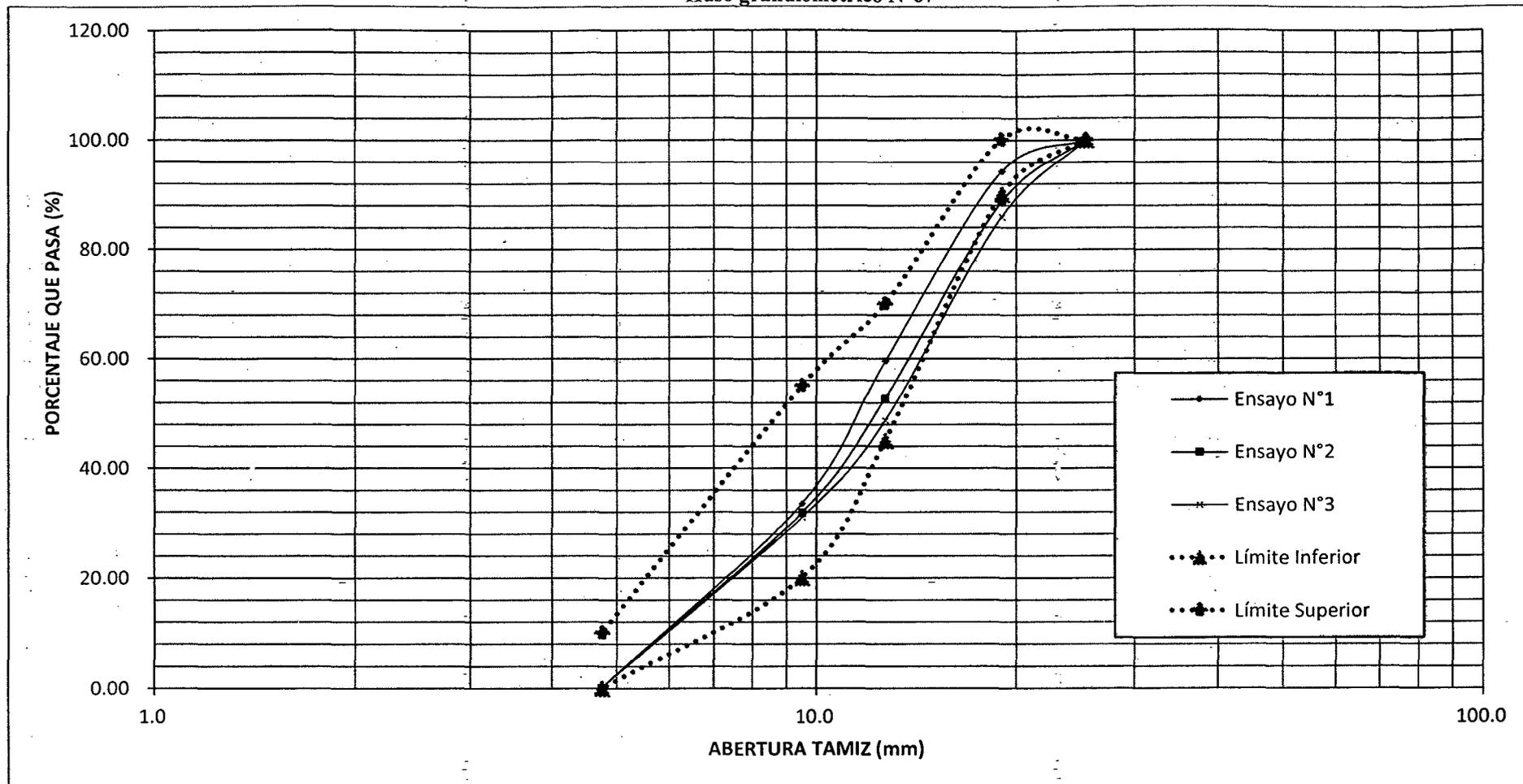
Fuente: Tesista

**TABLA N° 54. Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Grueso – Ensayo N° 3
ASTM C 136 / NTP 400.012**

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	848.70	14.15	14.15	85.86	90	---	100
1/2"	12.7	2231.20	37.19	51.33	48.67	45	---	70
3/8"	9.5	1061.50	17.69	69.02	30.98	20	---	55
N° 4	4.76	1853.50	30.89	99.92	0.09	0	---	10
Cazoleta		5.10	0.09	100.00	0.00	Módulo de Finura		
TOTAL		6000.00				6.83		

Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 32. Consolidado análisis granulométrico del agregado grueso
 Huso granulométrico N°67



Fuente: Tesista

**TABLA N° 55. Ensayo Partículas <200 para el Agregado Fino
ASTM C566 / NTP 339.185**

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03
Peso seco de la muestra original	350.00	350.00	350.00
Peso seco de la muestra lavada	333.60	332.50	333.90
Peso del material que pasa el tamiz N° 200	16.40	17.50	16.10
% de material que pasa el tamiz N° 200	4.69	5.00	4.60
Promedio del % de material que pasa el tamiz N° 200	4.76		

Fuente: Tesista

**TABLA N° 56. Ensayo Contenido de Humedad para el Agregado Fino
ASTM C566 / NTP 339.185**

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03
Peso del recipiente (gr)	81.20	80.40	84.00
Peso del recipiente + Muestra Húmeda (gr)	884.50	830.40	932.40
Peso del recipiente + Muestra Seca (gr)	863.30	811.30	908.80
Peso del Agua (gr)	21.20	19.10	23.60
Peso Muestra Seca (gr)	782.10	730.90	824.80
Contenido de Humedad (%)	2.71	2.61	2.86
Promedio del Contenido de Humedad (%)	2.73		

Fuente: Tesista

**TABLA N° 57. Ensayo Contenido de Humedad para el Agregado Grueso
ASTM C566 / NTP 339.185**

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03
Peso del recipiente (gr)	148.10	166.60	167.00
Peso del recipiente + Muestra Húmeda (gr)	2295.30	2190.70	2562.60
Peso del recipiente + Muestra Seca (gr)	2286.20	2179.90	2550.70
Peso del Agua (gr)	9.10	10.80	11.90
Peso Muestra Seca (gr)	2138.10	2013.30	2383.70
Contenido de Humedad (%)	0.43	0.54	0.50
Promedio del Contenido de Humedad (%)	0.49		

Fuente: Tesista

**TABLA N° 58. 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	3/4
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)	3652.00	3574.00	3664.00
% Desg. = $((Pi - Pf) / Pi) \times 100$	27.03	28.55	26.72
% Desg. Promedio	27.43		

Fuente: Tesista

7.2. ANEXO II: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO UTILIZADO



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 468 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G6002
Versión 01

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
Pacasmayo, 13 de febrero 2015

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.5	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.7	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	1.9	Máximo 3.0
Residuo Insoluble	%	0.39	Máximo 0.75

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	9	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.11	Máximo 0.60
Superficie Específica	cm ² /g	3520	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.12	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3 días	MPa (kg/cm ²)	28.4 (290)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7 días	MPa (kg/cm ²)	35.0 (356)	Mínimo 18.0 (Mínimo 184)
Resistencia Compresión a 28 días (*)	MPa (kg/cm ²)	41.9 (427)	Mínimo 28.0 (Mínimo 288)

Tiempo de Fraguado Vicat :			
Fraguado Inicial	min	168	Mínimo 45
Fraguado Final	min	318	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-01-2015 al 31-01-2015.
La resistencia a compresión a 28 días corresponde al mes de diciembre 2014.

(*) Requisito opcional.

Ing. Ivanoff Rojas
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

7.3. ANEXO III: FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO UTILIZADO

BUILDING TRUST



HOJA TÉCNICA Sikament[®]-290N

Aditivo Polifuncional para Concreto

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sikament[®]-290N es un aditivo polifuncional para concretos que puede ser empleado como plastificante o superplastificante según la dosificación utilizada.

Muy adecuado para plantas de concreto al obtener con un único aditivo dos efectos diferentes sólo por la variación de la proporción del mismo.

Sikament[®]-290N no contiene cloruros y no ejerce ninguna acción corrosiva sobre las armaduras.

USOS

Sikament[®]-290N está particularmente indicado para:

Todo tipo de concretos fabricados en plantas concretoras con la ventaja

de poder utilizarse como plastificante o superplastificante con sólo variar la dosificación.

En concretos bombeados porque permite obtener consistencias adecuadas sin aumentar la relación agua/cemento.

Transporte a largas distancias sin pérdidas de trabajabilidad.
Concretos fluidos que no presentan segregación ni exudación.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Aumento de las resistencias mecánicas.
- Terminación superficial de alta calidad.
- Mayor adherencia a las armaduras.
- Permite obtener mayores tiempos de manejabilidad de la mezcla a cualquier temperatura.
- Permite reducir hasta el 25% del agua de la mezcla.
- Aumenta considerablemente la impermeabilidad y durabilidad del concreto.
- Facilita el bombeo del concreto a mayores distancias y alturas.

- Proporciona una gran manejabilidad de la mezcla evitando segregación y la formación de cangrejas.
- Reductor de agua.

NORMAS

Como plastificante cumple con la Norma ASTM C 494, tipo D y como superplastificante con la Norma ASTM C 494, tipo G.

DATOS BÁSICOS

FORMA

ASPECTO

Líquido

COLOR

Pardo oscuro.

PRESENTACIÓN

Cilindro x 200 L

Balde x 20 L

Dispenser x 1000 L

Granel x 1L

ALMACENAMIENTO

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL

Un año en su envase original bien cerrado y bajo techo en lugar fresco resguardado de heladas. Para el transporte debe tomarse las precauciones normales para el manejo de un producto químico.

DATOS TÉCNICOS

DENSIDAD

1,20 kg/L +/- 0,02

USGBC VALORACIÓN LEED

Sikament® -290 N cumple con los requerimientos LEED.

Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants.

Contenido de VOC < 420 g/L (menos agua)

INFORMACIÓN DEL SISTEMA

DETALLES DE APLICACIÓN

CONSUMO / DOSIS

Como plastificante: del 0,3 % – 0,7 % del peso del cemento.

Como superplastificante: del 0,7 % - 1,4 % del peso del cemento.

MÉTODO DE APLICACIÓN

MÉTODO DE APLICACIÓN

Como Plastificante.

Debe incorporarse junto con el agua de amasado.

Como Superplastificante.

Debe incorporarse preferentemente una vez amasado el concreto y haciendo un re-amasado de al menos 1 minuto por cada m³ de carga de la amasadora o camión concretero.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

PRECAUCIONES DURANTE LA MANIPULACION

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

OBSERVACIONES

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: www.sika.com.pe

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.

"La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 10

la misma que deberá ser destruida"

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sikament®-290N :

1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS

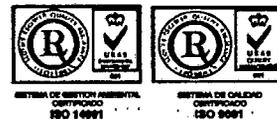


2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.
Concrete
Centro industrial "Las Praderas
de Lurin" s/n MZ B, Lotes 5 y 6,
Lurin
Lima Perú
www.sika.com.pe

Versión elaborada por: Sika Perú S.A.
CG, Departamento Técnico
Telf: 618-6060
Fax: 618-6070
Mail: informacion@pe.sika.com



Hoja Técnica
Sikament®-290N
22.01.15, Edición 11



HOJA TÉCNICA

Sikafiber® PE

Fibra de Polipropileno para el refuerzo de concreto

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sikafiber® PE, es un refuerzo de fibra de polipropileno modificada que evita el agrietamiento de concretos y morteros.

Sikafiber® PE está compuesto por una mezcla de monofilamentos reticulados y enrollados.

Durante la mezcla Sikafiber® PE se distribuye aleatoriamente dentro de la masa de concreto o mortero formando una red tridimensional muy uniforme.

USOS

- Losas de concreto (placas, pavimentos, techos, etc)
- Mortero y concreto proyectado. (Shotcrete).
- Paneles de fachada.
- Elementos prefabricados.
- Revestimientos de canales.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

La adición de Sikafiber® PE, sustituye a la armadura destinada a absorber las tensiones que se producen durante el fraguado y endurecimiento del concreto, aportando las siguientes ventajas:

- Reducción de la fisuración por retracción e impidiendo su propagación.
- Aumento importante del índice de tenacidad del concreto.
- Mejora la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad.
- En mayor cuantía mejora la resistencia a la tracción y a la comprensión.
- La acción del Sikafiber PE es de tipo físico y no afecta el proceso de hidratación del cemento.

DATOS BÁSICOS

FORMA

ASPECTO

Fibra

COLOR

Crema

	PRESENTACIÓN Bolsa de 600 gr
ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL Un año en un lugar seco y bajo techo, en envases bien cerrados.
DATOS TÉCNICOS	DENSIDAD REAL APROX. 0,91 kg/L. ABSORCIÓN DE AGUA Ninguna MÓDULO DE ELASTICIDAD 15,000 kg/cm ² ALARGAMIENTO DE ROTURA 20-30% RESISTENCIA A TRACCIÓN 300 - 350 kg/cm ² RESISTENCIA QUÍMICA Inerte a los álcalis del cemento, ácidos en general, agua de mar, residuos alimentarios y ganaderos, aceites vegetales. No se pudre y es resistente a hongos y bacteria. DURABILIDAD Indefinida TEMPERATURA DE FUSIÓN 160-170 °C LONGITUD 19 mm NORMA A los concretos a los que se agregado Sikafiber® PE cumplen con los requerimientos de la norma ASTM C 1116 PRECAUCIONES Sikafiber® PE no sustituye a las armaduras principales y secundarias resultantes del cálculo. La adición de Sikafiber® PE no evita las grietas derivadas de un mal dimensionamiento y aunque ayuda a controlarlo, no evita las grietas producto de un deficiente curado. La adición de Sikafiber® PE es compatible con cualquier otro aditivo de Sika

INFORMACIÓN DEL SISTEMA

MÉTODO DE APLICACIÓN	MODO DE EMPLEO Se agrega, en planta o a pie de obra directamente a la mezcla de concreto o mortero. No disolver en el agua de amasado. Una vez añadido el Sikafiber® PE basta con prolongar el mezclado al menos 5 minutos. DOSIFICACIÓN El Sikafiber® PE se empleará para todo tipo de concretos hasta $f'c = 300$ kg/cm ² se debe usar 600 gr por m ³ de concreto y para concretos de alta resistencia mayores a $f'c = 300$ kg/m ² se colocará 1 kg/m ³ Usar de 2 a 8 Kg. En caso de mezcla de shotcrete
-----------------------------	---

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

PRECAUCIONES DURANTE LA MANIPULACION	Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.
---	---

OBSERVACIONES

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: www.sika.com.pe

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.

“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 1

la misma que deberá ser destruida”

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sikafiber® PE :

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, Lotes 5 y 6,
Lurín
Lima Perú
www.sika.com.pe

Versión elaborada por: Sika Perú S.A.
CG, Departamento Técnico
Telf: 618-6060
Fax: 618-6070
Mail: informacion@pe.sika.com



Hoja Técnica
Sikafiber® PE
24.11.14, Edición 2

**7.5. ANEXO V: CERTIFICADO DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE
MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

7.1. ANEXO VI: DISEÑO DE MEZCLAS

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

TESIS	: "DISEÑO Y APLICACIÓN DE CONCRETO ECOLÓGICO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS"
UBICACIÓN	: CAJAMARCA - CAJAMARCA.
CANTERA	: LA VICTORIA.
AGREGADO	: CHANCADO.
TESISTA	: ROBERTO AQUINO CUSQUISIBAN.
FECHA	: AGOSTO 2016

1. Propiedades de los materiales

1.1. Agregados

CARACTERÍSTICA DEL AGREGADO	FINO	GRUESO	UNIDAD
Peso Especifico de Masa	2.590	2.556	gr/cm ³
Peso Especifico de Masa Saturada con Superficie Seca	2.622	2.585	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto Seco	1514.16	1432.60	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado Seco	1675.820	1553.50	Kg/m ³
Contenido de Humedad	2.73	0.49	%
Absorción	1.24	1.14	%
Modulo de Finura	2.73	6.78	
Tamaño Máximo Nominal	3/4		
Partículas < Tamiz N° 200	4.76	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

2.1. Resistencia a Compresión

$$f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$$

2.2. Tipo de Concreto

Concreto - Ecológico

3. Diseño

1. Resistencia Promedio

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

Condición intermedias de ejecucion en obra.

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

2. Asentamiento

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

3. Tamaño Máximo Nominal

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

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

$$\text{Asumimos a/c} = 0.3 \quad (\text{Ref. "Tesis Concreto poroso para pavimentos", UNC, 2007})$$

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	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

$$\% \text{ Agregado Fino} = 6$$

Interpolando se tiene:

$$b / b_0 = 0.95$$

Luego obtenemos el peso del Agregado Grueso

$$W_a = 1475.825 \quad \text{Kg}$$

Agregado Grueso Superficialmente Seco

$$W_{a \text{ sss}} = 1492.649 \quad \text{Kg}$$

6. Cantidad de Cemento

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

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

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

Interpolando tenemos:

f'cr	% Vacíos
158.33	20.00
210	% Vacíos
216.67	15.00
% Vacíos	15.57 %

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

Para una el 15.57 % de vacíos se tiene una percolación = 14 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
15.57		% Vacíos
16.67		19.00
% Pasta	19.975	%

Por lo tanto el Volumen de Pasta:

$$\text{Volumen de Pasta} = 0.200 \text{ m}^3$$

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

Volumen de pasta = Cemento / (Peso Especifico Cemento) + Agua / (Peso Especifico Agua)

Relación Agua / Cemento

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

Entonces:

$$0.2 = \text{Cemento} / (3.12 \times 1000) + 0.3 \times \text{Cemento} / (1000)$$

Despejando se tiene:

$$\text{Cemento} = 322.314 \text{ Kg/m}^3$$

7. Cantidad de Agua de Diseño

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

$$\text{Agua} = 96.694 \text{ Kg/m}^3$$

8. Cantidad de Agregado Fino: Método Volúmenes Absolutos

$$\text{Volumen Abs. de Cemento } V_c = 322.314 / (3.12 \times 1000) = 0.103306 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. Agua } V_w = 96.694 / 1000 = 0.096694 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Grueso } V_{ag} = 1475.825 / (2.556 \times 1000) = 0.577396 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Aire } V_{aire} = 15.57 / 100 = \underline{0.155700 \text{ m}^3}$$

$$\text{Total de Volumen Abs. } V = V_c + V_w + V_{ag} + V_{aire} = 0.933096 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el Volumen Abs. De Agregado Fino:

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Fino } V_{af} = 1 - 0.933096 = 0.066904 \text{ m}^3$$

$$\text{Cantidad de Agregado Fino Seco} = 0.066904 \times 2.59 \times 1000 = 173.281 \text{ Kg}$$

$$\text{Cantidad de Agregado Fino S.S.S} = 173.281 \times (1 + 1.24 / 100) = 175.43 \text{ Kg}$$

9. Pesos Secos de Materiales para 1m³ de concreto

Agua de Mezclado =	96.694 lts
Cemento =	322.314 kg
Agregado fino =	173.281 kg
Agregado Grueso =	1475.825 kg
Total =	2068.114 kg

10. Corrección por Humedad

- Para el Agregado Fino

$$173.281 \times (1 + (2.73) / 100) = 178.01 \text{ Kg/m}^3$$

- Para el Agregado Grueso

$$1475.825 \times (1 + (0.49) / 100) = 1483.06 \text{ Kg/m}^3$$

- Agua Efectiva

$$96.694 - 173.281 \times (2.73 - 1.24) / 100 - 1475.825 \times (0.49 - 1.14) / 100 = 103.7 \text{ lts}$$

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

Agua de Mezclado =	103.7 lts
Cemento =	322.31 kg
Agregado fino =	178.01 kg
Agregado Grueso =	1483.060 kg
Total =	2087.084 kg

12. Determinación del proporcionamiento de los materiales

- Proporcionamiento en peso:

$$\frac{322.31}{322.31} : \frac{178.01}{322.31} : \frac{1483.060}{322.31} / \frac{103.7}{322.31} \times 42.5 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.55 : 4.6 : 13.67 \text{ lts / bolsa}$$

- Proporcionamiento en volumen aparente:

Cemento

$$322.314 / 42.5 = 7.58 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Fino

$$(178.01 \times 35.315) / (1514.16 \times (1 + 2.73 / 100)) = 4.04 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Grueso

$$(1483.06 \times 35.315) / (1432.6 \times (1 + 0.49 / 100)) = 36.38 \text{ pie}^3$$

$$\frac{7.58}{7.58} : \frac{4.04}{7.58} : \frac{36.38}{7.58} / 13.67 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.53 : 4.8 : 13.67 \text{ lts / bolsa}$$

13. Mezcla de prueba en laboratorio

- Calculo de Volmen para 3 Especímenes Cilíndricos

Dimensiones de Testigos Cilíndricos

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

$$\begin{aligned} \text{Altura Promedio } h &= 0.304 \text{ m} \\ \text{Desperdicios} &= 1.07 \\ \text{N}^\circ \text{ de testigos} &= 3 \\ \text{Volumen} &= \frac{(\pi D^2) \times h}{4} \times 1.07 \\ \text{Reemplazando tenemos:} &= 0.018177 \\ \text{Aproximado } V &= 0.020 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

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

Agua de Mezclado =	$103.7 \times 0.02 =$	2.074	lts
Cemento =	$322.314 \times 0.02 =$	6.446	kg
Agregado fino =	$178.01 \times 0.02 =$	3.56	kg
Agregado Grueso =	$1483.06 \times 0.02 =$	29.661	kg
Total =		41.741	kg

A. PRIMER AJUSTE DE MEZCLA DE PRUEBA

1. Datos de la Prueba de Laboratorio obtenidos:

- Asentamiento	0"
- Agua adicional	0.500 lts
- Peso Unitario del Concreto Fresco	1769.06 Kg/m ³

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

Agua de Mezclado =	$103.7 \times 0.02 + 0.5 =$	2.574	lts
Cemento =	$322.314 \times 0.02 =$	6.446	kg
Agregado fino =	$178.01 \times 0.02 =$	3.560	kg
Agregado Grueso =	$1483.06 \times 0.02 =$	29.661	kg
Total =		42.241	kg

3. Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = (42.241 / 1769.06) = 0.0238776525$$

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =	=	2.574	lts
Aporte de agregado fino =	$173.281 \times 0.02 \times (2.73 - 1.24) / 100 =$	0.0516	lts
Aporte de agregado grueso =	$1475.825 \times 0.02 \times (0.49 - 1.14) / 100 =$	-0.1919	lts
Agua de mezcla por tanda =	=	<u>2.4337</u>	lts

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

$$\text{Agua de mezclado por m}^3 = 2.4337 / 0.0238776525 = 101.92 \text{ lts/m}^3$$

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:

$$\text{Cantidad de cemento} = 101.92 / 0.3 = 339.73 \text{ Kg/m}^3$$

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 relación

$$b / b_0 = 0.95$$

Efectuada la disminución se obtiene:

$$b / b_0 = 0.87$$

Peso del Agregado Grueso =	0.87×1553.5	=	1351.545	Kg
Peso del Agregado Grueso Humedo =	$1351.545 \times (1 + 0.49 / 100)$	=	1358.168	Kg
Agregado Grueso Superficialmente Seco =	$1351.545 \times (1 + 1.14 / 100)$	=	1366.953	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 =	$6.446 / (3.12 \times 1000)$	=	0.002066	m ³
Volumen Abs. Agua V_w =	$2.4337 / 1000$	=	0.002434	m ³
Volumen Abs. de Agregado Grueso =	$1351.545 / (2.556 \times 1000) \times 0.02$	=	0.010575	m ³
Volumen Abs. de Agregado Fino =	$173.281 / (2.59 \times 1000) \times 0.02$	=	0.001338	m ³
Total de Volumen Abs.		=	<u>0.016413</u>	<u>m³</u>

$$\text{Por lo tanto el \% de vacíos} = (0.0238776525 - 0.016413) / 0.0238776525 \times 100$$

$$\% \text{ de vacíos} = 31.26 \%$$

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 =	$339.73 / (3.12 \times 1000)$	=	0.108888	m ³
Volumen Abs. Agua V_w =	$101.92 / 1000$	=	0.101920	m ³
Volumen Abs. de Agregado Grueso =	$1351.545 / (2.556 \times 1000)$	=	0.528773	m ³
Volumen Abs. de Vacíos =	$15.57 / 100$	=	0.155700	m ³
Total de Volumen Abs. Sin agregado fino		=	<u>0.895281</u>	<u>m³</u>
Volumen Abs. de Agregado Fino =	$(1 - 0.895281)$	=	0.104719	m ³
Peso seco de Agregado Fino =	0.104719×2590	=	271.222	Kg
Peso húmedo de Agregado Fino =	$271.222 \times (1 + (2.73 / 100))$	=	278.626	Kg

9. Los pesos ajustados por m³ de concreto corregidos por humedad serán:

- Agua Efectiva

$$101.92 - 271.222 \times (2.73 - 1.24) / 100 - 1351.545 \times (0.49 - 1.14) / 100 = 106.66 \text{ lts}$$

Agua de Mezclado =	106.66	lts
Cemento =	339.73	kg
Agregado fino =	278.626	kg
Agregado Grueso =	1358.168	kg
Total =	2083.184	kg

10. Determinación del proporcionamiento de los materiales

- Proporcionamiento en peso:

$$\frac{339.73}{339.73} : \frac{278.626}{339.73} : \frac{1358.168}{339.73} / \frac{106.66}{339.73} \times 42.5 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.82 : 4 : 13.34 \text{ lts / bolsa}$$

- Proporcionamiento en volumen aparente:

Cemento

$$339.73 / 42.5 = 7.99 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Fino

$$(278.626 \times 35.315) / (1514.16 \times (1 + 2.73 / 100)) = 6.33 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Grueso

$$(1358.168 \times 35.315) / (1432.6 \times (1 + 0.49 / 100)) = 33.32 \text{ pie}^3$$

$$\frac{7.99}{7.99} : \frac{6.33}{7.99} : \frac{33.32}{7.99} / 13.34 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.79 : 4.17 : 13.34 \text{ lts / bolsa}$$

11. Mezcla de prueba en laboratorio

- Calculo de Volmen para 3 Especimenes Cilindricos

Dimensiones de Testigos Cilindricos

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

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

$$\text{Desperdicios} = 1.07$$

$$\text{N° de testigos} = 3$$

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

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

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

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

Agua de Mezclado =	106.66 x 0.02 =	2.133	lts
Cemento =	339.73 x 0.02 =	6.795	kg
Agregado fino =	278.626 x 0.02 =	5.573	kg
Agregado Grueso =	1358.168 x 0.02 =	27.163	kg
Total =		41.664	kg

B. SEGUNDO AJUSTE DE MEZCLA DE PRUEBA

1. Datos de la Prueba de Laboratorio obtenidos:

- Asentamiento	0"
- Agua adicional	0.150 lts
- Peso Unitario del Concreto Fresco	2074.77 Kg/m ³

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

Agua de Mezclado =	$106.66 \times 0.02 + 0.15 =$	2.283	lts
Cemento =	$339.73 \times 0.02 =$	6.795	kg
Agregado fino =	$278.626 \times 0.02 =$	5.573	kg
Agregado Grueso =	$1358.168 \times 0.02 =$	27.163	kg
Total =		<u>41.814</u>	kg

3. Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = (41.814 / 2074.77) = 0.0201535592$$

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =		=	2.283	lts
Aporte de agregado fino =	$271.222 \times 0.02 \times (2.73 - 1.24) / 100$	=	0.0808	lts
Aporte de agregado grueso =	$1351.545 \times 0.02 \times (0.49 - 1.14) / 100$	=	-0.1757	lts
Agua de mezcla por tanda =		=	<u>2.1881</u>	lts

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

$$\text{Agua de mezclado por m}^3 = 2.1881 / 0.0201535592 = 108.57 \text{ lts/m}^3$$

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:

$$\text{Cantidad de cemento} = 108.57 / 0.3 = 361.9 \text{ Kg/m}^3$$

6. Teniendo en cuenta del primer ajuste - consistencia seca

Peso del Agregado Grueso Humedo =	$27.163 / 0.0201535592$	=	1347.802	Kg
Peso del Agregado Grueso Seco =	$1347.802 / (1 + 0.49 / 100)$	=	1341.230	Kg
Agregado Grueso Superficialmente Seco =	$1341.23 \times (1 + 1.14 / 100)$	=	1356.520	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 =	$6.795 / (3.12 \times 1000)$	=	0.002178	m ³
Volumen Abs. Agua V_w =	$2.1881 / 1000$	=	0.002188	m ³
Volumen Abs. de Agregado Grueso =	$1341.23 / (2.556 \times 1000) \times 0.02$	=	0.010495	m ³
Volumen Abs. de Agregado Fino =	$271.222 / (2.59 \times 1000) \times 0.02$	=	0.002094	m ³
Total de Volumen Abs.		=	<u>0.016955</u>	m ³

Por lo tanto el % de vacios = $(0.0201535592 - 0.016955) / 0.0201535592 \times 100$

$$\% \text{ de vacios} = 15.87 \%$$

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:

Volumen Abs. de Cemento Vc =	$361.9 / (3.12 \times 1000)$	=	0.115994 m ³
Volumen Abs. Agua Vw =	$108.57 / 1000$	=	0.108570 m ³
Volumen Abs. de Agregado Grueso =	$1341.23 / (2.556 \times 1000)$	=	0.524738 m ³
Volumen Abs. de Vacios =	$15.87 / 100$	=	0.158700 m ³
Total de Volumen Abs. Sin agregado fino			<u>0.908002 m³</u>
Volumen Abs. de Agregado Fino =	$(1 - 0.908002)$	=	0.091998 m ³
Peso seco de Agregado Fino =	0.091998×2590	=	238.275 Kg
Peso humedo de Agregado Fino =	$238.275 \times (1 + (2.73 / 100))$	=	244.78 Kg

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

- Agua Efectiva	$108.57 - 238.275 \times (2.73 - 1.24) / 100 - 1341.23 \times (0.49 - 1.14) / 100$	=	113.74	lts
Agua de Mezclado =	113.74	lts		
Cemento =	361.90	kg		
Agregado fino =	244.78	kg		
Agregado Grueso =	<u>1347.802</u>	kg		
Total =	2068.222	kg		

10. Determinación del proporcionamiento de los materiales

- Proporcionamiento en peso:

$$\frac{361.90}{361.90} : \frac{244.78}{361.90} : \frac{1347.802}{361.90} / \frac{113.74}{361.90} \times 42.5 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.68 : 3.72 : 13.36 \text{ lts / bolsa}$$

- Proporcionamiento en volumen aparente:

Cemento	$361.9 / 42.5$	=	8.52	pie ³
Para el Agregado Fino	$(244.78 \times 35.315) / (1514.16 \times (1 + 2.73 / 100))$	=	5.56	pie ³
Para el Agregado Grueso	$(1347.802 \times 35.315) / (1432.6 \times (1 + 0.49 / 100))$	=	33.06	pie ³

$$\frac{8.52}{8.52} : \frac{5.56}{8.52} : \frac{33.06}{8.52} / 13.36 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.65 : 3.88 : 13.36 \text{ lts / bolsa}$$

11. Mezcla de prueba en laboratorio

- Calculo de Volmen para 3 Especimenes Cilindricos

Dimensiones de Testigos Cilíndricos

Diámetro Promedio D =	0.154	m
Altura Promedio h =	0.304	m
Desperdicios =	1.07	
Nº de testigos =	3	
Volumen =	$\frac{(\pi D^2) \times h}{4} \times 1.07$	
Reemplazando tenemos:	0.018177	
Aproximado V =	0.020	m ³

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

Agua de Mezclado =	113.74 x 0.02 =	2.275	Its
Cemento =	361.9 x 0.02 =	7.238	kg
Agregado fino =	244.78 x 0.02 =	4.896	kg
Agregado Grueso =	1347.802 x 0.02 =	26.956	kg
Total =		<u>41.365</u>	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	2067.32 Kg/m ³

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

Agua de Mezclado =	113.74 x 0.02 + 0 =	2.275	Its
Cemento =	361.9 x 0.02 =	7.238	kg
Agregado fino =	244.78 x 0.02 =	4.896	kg
Agregado Grueso =	1347.802 x 0.02 =	26.956	kg
Total =		<u>41.365</u>	kg

3. Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = (41.365 / 2067.32) = 0.0200089972$$

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =	=	2.275	Its
Aporte de agregado fino =	$238.275 \times 0.02 \times (2.73 - 1.24) / 100$	=	0.071 Its
Aporte de agregado grueso =	$1341.23 \times 0.02 \times (0.49 - 1.14) / 100$	=	-0.1744 Its
Agua de mezcla por tanda =	=	<u>2.1716</u>	Its

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

$$\text{Agua de mezclado por m}^3 = 2.1716 / 0.0200089972 = 108.53 \text{ Its/m}^3$$

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:

$$\text{Cantidad de cemento} = 108.53 / 0.3 = 361.77 \text{ Kg/m}^3$$

6. Teniendo en cuenta del primer ajuste - consistencia seca

$$\text{Peso del Agregado Grueso, Humedo} = 26.956 / 0.0200089972 = 1347.194 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso del Agregado Grueso Seco} = 1347.194 / (1 + 0.49 / 100) = 1340.625 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado Grueso Superficialmente Seco} = 1340.625 \times (1 + 1.14 / 100) = 1355.908 \text{ Kg}$$

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

$$\text{Volumen Abs. de Cemento } V_c = 7.238 / (3.12 \times 1000) = 0.002320 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. Agua } V_w = 2.1716 / 1000 = 0.002172 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Grueso} = 1340.625 / (2.556 \times 1000) \times 0.02 = 0.010490 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Fino} = 238.275 / (2.59 \times 1000) \times 0.02 = 0.001840 \text{ m}^3$$

$$\text{Total de Volumen Abs.} = \underline{0.016822 \text{ m}^3}$$

$$\text{Por lo tanto el \% de vacios} = (0.0200089972 - 0.016822) / 0.0200089972 \times 100$$

$$\% \text{ de vacios} = 15.93 \%$$

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

$$\text{Para una el 15.93 \% de vacios se tiene una percolación} = 23.25 \text{ mm/s}$$

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

TESIS	"DISEÑO Y APLICACIÓN DE CONCRETO ECOLÓGICO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS"
UBICACIÓN	CAJAMARCA - CAJAMARCA
CANBERRA	LA VICTORIA
AGREGADO	CHANCADO
FECHA	ROBERTO AQUINO, ANSO INIBAN
FECHA	AGOSTO 2015

1. Propiedades de los materiales

1.1. Agregados

CARACTERÍSTICA DEL AGREGADO	FINO	GRUESO	UNIDAD
Peso Específico de Masa	2.590	2.556	gr/cm ³
Peso Específico de Masa Saturada con Superficie Seca	2.622	2.585	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto Seco	1514.16	1432.60	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado Seco	1675.820	1553.50	Kg/m ³
Contenido de Humedad	2.73	0.49	%
Absorción	1.24	1.14	%
Módulo de Finura	2.73	6.78	
Tamaño Máximo Nominal		3/4	
Partículas < Tamiz N° 200	4.76	0.65	

1.2. Cemento

CEMENTO PACASMEYU	POTENCIA ASTM III	UNIDAD
Peso Específico 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

$$f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$$

2.2. Resistencia Promedio

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

2.3. Relación A/C

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

3. Procedimiento

Partiendo del sieño I-IP-AG-AF, se añadira 600 gr de fibra de polipropileno por m³, para mejorar si comportamiento estructural.

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

Agua de Mezclado =	113.740 lts
Cemento =	361.900 kg
Agregado fino =	244.780 kg
Agregado Grueso =	1347.802 kg
Total =	2068.222 kg

Peso de fibra de polipropileno: 0.600 kg

Porcentaje de fibras por m³: 2.90%

Peso seco de los agregados

Peso del agregado fino seco $244.78 / (1 + (2.73 / 100)) = 238.275$ Kg

Peso del agregado grueso seco $1347.802 / (1 + (0.49 / 100)) = 1341.23$ 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	2065.19 Kg/m ³

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

Agua de Mezclado =	$113.74 \times 0.02 + 0 =$	2.275	lts
Cemento =	$361.9 \times 0.02 =$	7.238	kg
Agregado fino =	$244.78 \times 0.02 =$	4.896	kg
Agregado Grueso =	$1347.802 \times 0.02 =$	26.956	kg
Total =		41.365	kg

3. Rendimiento de la mezcla

Rendimiento = $(41.365 / 2065.19) = 0.0200296341$

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =		=	2.275	lts
Aporte de agregado fino =	$238.275 \times 0.02 \times (2.73 - 1.24) / 100$	=	0.071	lts
Aporte de agregado grueso =	$1341.23 \times 0.02 \times (0.49 - 1.14) / 100$	=	-0.1744	lts
Agua de mezcla por tanda =		=	<u>2.1716</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 = $2.1716 / 0.0200296341 = 108.42$ 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 = $108.42 / 0.3 = 361.4$ Kg/m³

6. Teniendo en cuenta del primer ajuste - consistencia seca

Peso del Agregado Grueso Humedo =	$26.956 / 0.0200296341$	=	1345.806	Kg
Peso del Agregado Grueso Seco =	$1345.806 / (1 + 0.49 / 100)$	=	1339.244	Kg
Agregado Grueso Superficialmente Seco =	$1339.244 \times (1 + 1.14 / 100)$	=	1354.511	Kg

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

Volumen Abs. de Cemento Vc =	$7.238 / (3.12 \times 1000)$	=	0.002320	m3
Volumen Abs. Agua Vw =	$2.1716 / 1000$	=	0.002172	m3
Volumen Abs. de Agregado Grueso =	$1339.244 / (2.556 \times 1000) \times 0.02$	=	0.010479	m3
Volumen Abs. de Agregado Fino =	$238.275 / (2.59 \times 1000) \times 0.02$	=	0.001840	m3
Total de Volumen Abs.		=	0.016811	m3

Por lo tanto el % de vacios = $(0.0200296341 - 0.016811) / 0.0200296341 \times 100$

% de vacios = 16.07 %

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

Para una el 16.07 % de vacios se tiene una percolación = 26.75 mm/s

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

TESIS	: "DISEÑO Y APLICACIÓN DE CONCRETO ECOLÓGICO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS"
UBICACIÓN	: CAJAMARCA - CAJAMARCA.
CANTERA	: LA VICTORIA.
AGREGADO	: CHANCADO.
TESISTA	: ROBERTO AQUINO CUSQUISIBAN.
FECHA	: AGOSTO 2016

1. Propiedades de los materiales

1.1. Agregados

CARACTERÍSTICA DEL AGREGADO	FINO	GRUESO	UNIDAD
Peso Especifico de Masa	2.590	2.556	gr/cm ³
Peso Especifico de Masa Saturada con Superficie Seca	2.622	2.585	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto Seco	1514.16	1432.60	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado Seco	1675.820	1553.50	Kg/m ³
Contenido de Humedad	2.73	0.49	%
Absorción	1.24	1.14	%
Modulo de Finura	2.73	6.78	
Tamaño Máximo Nominal		3/4	
Partículas < Tamiz N° 200	4.76	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

2.1. Resistencia a Compresión

$$f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$$

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.

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

2. Asentamiento

Asentamiento = 0 pulg (Consistencia Seca)

3. Tamaño Máximo Nominal

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

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

$$\text{Asumimos a/c} = 0.3 \quad (\text{Ref. "Tesis Concreto poroso para pavimentos", UNC, 2007})$$

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	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

$$\% \text{ Agregado Fino} = 11.84 \quad \text{De la diseño I-IP-AG-AF}$$

Interpolando se tiene:

$$b / b_0 = 0.92$$

Luego obtenemos el peso del Agregado Grueso

$$W_a = 1429.220 \quad \text{Kg}$$

Agregado Grueso Superficialmente Seco

$$W_{a \text{ sss}} = 1445.513 \quad \text{Kg}$$

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
158.33	20.00
210	% Vacíos
216.67	15.00
% Vacíos	15.57

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

Para una el 15.57 % de vacíos se tiene una percolación = 14 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
15.57		% Vacíos
16.67		19.00
% Pasta	19.975	%

Por lo tanto el Volumen de Pasta:

$$\text{Volumen de Pasta} = 0.200 \text{ m}^3$$

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

Volumen de pasta = Cemento / (Peso Especifico Cemento) + Agua / (Peso Especifico Agua)

Relación Agua / Cemento

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

Entonces:

$$0.2 = \text{Cemento} / (3.12 \times 1000) + 0.3 \times \text{Cemento} / (1000)$$

Despejando se tiene:

$$\text{Cemento} = 322.314 \text{ Kg/m}^3$$

7. Cantidad de Agua de Diseño

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

$$\text{Agua} = 96.694 \text{ Kg/m}^3$$

Con el uso del aditivo plastificante Sikament® - 290N reducimos el agua en un 20%.

La aplicación del Sikament® - 290N se considerará el 0.7% del peso del cemento (700ml por 100kg de cemento)

$$\text{Agua} = 77.3552 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{Se ha reducido:} \quad 19.3388 \text{ Kg/m}^3$$

Con la reducción de agua de mezcla, se requerirá menos cantidad de cemento, con la misma relación a/c inicial

$$\text{Cemento} = 257.8506667 \text{ Kg/m}^3$$

8. Cantidad de Agregado Fino: Método Volúmenes Absolutos

$$\text{Volumen Abs. de Cemento } V_c = 257.850666666667 / (3.12 \times 1000) = 0.082644 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. Agua } V_w = 77.3552 / 1000 = 0.077355 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Grueso } V_g = 1429.22 / (2.556 \times 1000) = 0.559163 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Aire } V_{\text{aire}} = 15.57 / 100 = 0.155700 \text{ m}^3$$

$$\text{Total de Volumen Abs. } V = V_c + V_w + V_g + V_{\text{aire}} = 0.874862 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el Volumen Abs. De Agregado Fino:

$$\begin{aligned} \text{Volumen Abs. de Agregado Fino } V_a &= 1 - 0.874862 = 0.125138 \text{ m}^3 \\ \text{Cantidad de Agregado Fino Seco} &= 0.125138 \times 2.59 \times 1000 = 324.107 \text{ Kg} \\ \text{Cantidad de Agregado Fino S.S.S} &= 324.107 \times (1 + 1.24 / 100) = 328.126 \text{ Kg} \end{aligned}$$

9. Pesos Secos de Materiales para 1m³ de concreto

$$\begin{aligned} \text{Agua de Mezclado} &= 77.3552 \text{ lts} \\ \text{Cemento} &= 257.8506667 \text{ kg} \\ \text{Agregado fino} &= 324.107 \text{ kg} \\ \text{Agregado Grueso} &= 1429.220 \text{ kg} \\ \hline \text{Total} &= 2088.532867 \text{ kg} \end{aligned}$$

10. Corrección por Humedad

- Para el Agregado Fino

$$324.107 \times (1 + (2.73) / 100) = 332.96 \text{ Kg/m}^3$$

- Para el Agregado Grueso

$$1429.22 \times (1 + (0.49) / 100) = 1436.22 \text{ Kg/m}^3$$

- Agua Efectiva

$$77.3552 - 324.107 \times (2.73 - 1.24) / 100 - 1429.22 \times (0.49 - 1.14) / 100 = 81.82 \text{ lts}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Agua de Mezclado} &= 81.82 \text{ lts} \\ \text{Cemento} &= 257.85 \text{ kg} \\ \text{Agregado fino} &= 332.96 \text{ kg} \\ \text{Agregado Grueso} &= 1436.220 \text{ kg} \\ \hline \text{Total} &= 2108.850667 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Aditivo (0.3\% de peso de cemento)} = 773.55 \text{ ml}$$

12. Determinación del proporcionamiento de los materiales

- Proporcionamiento en peso:

$$\frac{257.85}{257.85} : \frac{332.96}{257.85} : \frac{1436.220}{257.85} / \frac{81.82}{257.85} \times 42.5 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 1.29 : 5.57 : 13.49 \text{ lts / bolsa}$$

- Proporcionamiento en volumen aparente:

Cemento

$$257.850666666667 / 42.5 = 6.07 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Fino

$$(332.96 \times 35.315) / (1514.16 \times (1 + 2.73 / 100)) = 7.56 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Grueso

$$(1436.22 \times 35.315) / (1432.6 \times (1 + 0.49 / 100)) = 35.23 \text{ pie}^3$$

$$\frac{6.07}{6.07} : \frac{7.56}{6.07} : \frac{35.23}{6.07} / 13.49 \text{ lts / bolsa}$$

1 : 1.25 : 5.8 : 13.49 lts / bolsa

13. Mezcla de prueba en laboratorio

- Calculo de Volmen para 3 Especímenes Cilíndricos

Dimensiones de Testigos Cilíndricos

Diámetro Promedio D = 0.154 m
 Altura Promedio h = 0.304 m
 Desperdicios = 1.07
 N° de testigos = 3
 Volumen = $\frac{(\pi D^2) \times h}{4} \times 1.07$
 Reemplazando tenemos: 0.018177
 Aproximado V = 0.020 m³

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

Agua de Mezclado =	81.82 x 0.02 =	1.636	lts
Cemento =	257.850666666667 x 0.02 =	5.157	kg
Agregado fino =	332.96 x 0.02 =	6.659	kg
Agregado Grueso =	1436.22 x 0.02 =	28.724	kg
Total =		42.176	kg

Aditivo (0.7% de peso de cemento) = 0.7 % x 5.157 = 36.10 ml

A. PRIMER AJUSTE DE MEZCLA DE PRUEBA

1. Datos de la Prueba de Laboratorio obtenidos:

- Asentamiento 0"
 - Agua adicional 0.600 lts
 - Peso Unitario del Concreto Fresco 2090.94 Kg/m³

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

Agua de Mezclado =	81.82 x 0.02 + 0.6 =	2.236	lts
Cemento =	257.850666666667 x 0.02 =	5.157	kg
Agregado fino =	332.96 x 0.02 =	6.659	kg
Agregado Grueso =	1436.22 x 0.02 =	28.724	kg
Total =		42.776	kg

3. Rendimiento de la mezcla

Rendimiento = (42.776 / 2090.94) = 0.0204577845

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =		=	2.236	lts
Aporte de agregado fino =	324.107 x 0.02 x (2.73 - 1.24) / 100	=	0.0966	lts
Aporte de agregado grueso =	1429.22 x 0.02 x (0.49 - 1.14) / 100	=	-0.1858	lts
Agua de mezcla por tanda =		=	<u>2.1468</u>	lts

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

$$\text{Agua de mezclado por m}^3 = \frac{2.1468}{0.0204577845} = 104.94 \text{ lts/m}^3$$

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

$$a/c = 0.3$$

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

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{104.94}{0.3} = 349.8 \text{ Kg/m}^3$$

6. Peso del Agregado Grueso - Teniendo en cuenta la consistencia Seca:

Se tiene inicilamente la relacion

$$b / b_0 = 0.92$$

$$\text{Peso del Agregado Grueso Humedo} = \frac{28.724}{0.0204577845} = 1404.062 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso del Agregado Grueso Seco} = \frac{1404.062}{(1 + 0.49 / 100)} = 1397.216 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado Grueso Superficialmente Seco} = 1397.216 \times (1 + 1.14 / 100) = 1413.144 \text{ Kg}$$

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

$$\text{Volumen Abs. de Cemento } V_c = \frac{5.157}{(3.12 \times 1000)} = 0.001653 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. Agua } V_w = \frac{2.1468}{1000} = 0.002147 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Grueso} = \frac{1397.216}{(2.556 \times 1000)} \times 0.02 = 0.010933 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Fino} = \frac{324.107}{(2.59 \times 1000)} \times 0.02 = 0.002503 \text{ m}^3$$

$$\text{Total de Volumen Abs.} = \underline{0.017236 \text{ m}^3}$$

$$\text{Por lo tanto el \% de vacios} = \frac{(0.0204577845 - 0.017236)}{0.0204577845} \times 100$$

$$\% \text{ de vacios} = 15.75 \%$$

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:

$$\text{Volumen Abs. de Cemento } V_c = \frac{349.8}{(3.12 \times 1000)} = 0.112115 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. Agua } V_w = \frac{104.94}{1000} = 0.104940 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Grueso} = \frac{1397.216}{(2.556 \times 1000)} = 0.546642 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Abs. de Vacios} = \frac{15.57}{100} = 0.155700 \text{ m}^3$$

$$\text{Total de Volumen Abs. Sin agregado fino} = \underline{0.919397 \text{ m}^3}$$

$$\text{Volumen Abs. de Agregado Fino} = (1 - 0.919397) = 0.080603 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso seco de Agregado Fino} = 0.080603 \times 2590 = 208.762 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso humedo de Agregado Fino} = 208.762 \times (1 + (2.73 / 100)) = 214.461 \text{ Kg}$$

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

- Agua Efectiva
 $104.94 - 208.762 \times (2.73 - 1.24) / 100 - 1397.216 \times (0.49 - 1.14) / 100 = 110.91 \text{ lts}$

Agua de Mezclado =	110.91 lts
Cemento =	349.80 kg
Agregado fino =	214.461 kg
Agregado Grueso =	1404.062 kg
Total =	2079.233 kg

Aditivo (0.3% de peso de cemento) = 1049.40 ml

10. Determinación del proporcionamiento de los materiales

- Proporcionamiento en peso:

$$\frac{349.80}{349.80} : \frac{214.461}{349.80} : \frac{1404.062}{349.80} / \frac{110.91}{349.80} \times 42.5 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.61 : 4.01 : 13.48 \text{ lts / bolsa}$$

- Proporcionamiento en volumen aparente:

Cemento

$$349.8 / 42.5 = 8.23 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Fino

$$(214.461 \times 35.315) / (1514.16 \times (1 + 2.73 / 100)) = 4.87 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Grueso

$$(1404.062 \times 35.315) / (1432.6 \times (1 + 0.49 / 100)) = 34.44 \text{ pie}^3$$

$$\frac{8.23}{8.23} : \frac{4.87}{8.23} : \frac{34.44}{8.23} / 13.48 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.59 : 4.18 : 13.48 \text{ lts / bolsa}$$

11. Mezcla de prueba en laboratorio

- Calculo de Volmen para 3 Especimenes Cilindricos

Dimensiones de Testigos Cilindricos

Diámetro Promedio D = 0.154 m

Altura Promedio h = 0.304 m

Desperdicios = 1.07

Nº de testigos = 3

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

Reemplazando tenemos: 0.018177

Aproximado V = 0.020 m³

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

Agua de Mezclado =	$110.91 \times 0.02 =$	2.218	lts
Cemento =	$349.8 \times 0.02 =$	6.996	kg
Agregado fino =	$214.461 \times 0.02 =$	4.289	kg
Agregado Grueso =	$1404.062 \times 0.02 =$	28.081	kg
Total =		41.584	kg

$$\text{Aditivo (0.7\% de peso de cemento)} = 0.7\% \times 6.996 = 48.97 \text{ ml}$$

B. SEGUNDO AJUSTE DE MEZCLA DE PRUEBA

1. Datos de la Prueba de Laboratorio obtenidos:

- Asentamiento	0"
- Agua adicional	0.000 lts
- Peso Unitario del Concreto Fresco	2049.21 Kg/m ³

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

Agua de Mezclado =	$110.91 \times 0.02 + 0 =$	2.218	lts
Cemento =	$349.8 \times 0.02 =$	6.996	kg
Agregado fino =	$214.461 \times 0.02 =$	4.289	kg
Agregado Grueso =	$1404.062 \times 0.02 =$	28.081	kg
Total =		41.584	kg

3. Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = (41.584 / 2074.77) = 0.0202926982$$

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =	=	2.218	lts
Aporte de agregado fino =	$208.762 \times 0.02 \times (2.73 - 1.24) / 100$	=	0.0622 lts
Aporte de agregado grueso =	$1397.216 \times 0.02 \times (0.49 - 1.14) / 100$	=	-0.1816 lts
Agua de mezcla por tanda =	=	<u>2.0986</u>	lts

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

$$\text{Agua de mezclado por m}^3 = 2.0986 / 0.0202926982 = 103.42 \text{ lts/m}^3$$

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:

$$\text{Cantidad de cemento} = 103.42 / 0.3 = 344.73 \text{ Kg/m}^3$$

6. Teniendo en cuenta del primer ajuste - consistencia seca

Peso del Agregado Grueso Humedo =	$28.081 / 0.0202926982$	=	1383.798 Kg
Peso del Agregado Grueso Seco =	$1383.798 / (1 + 0.49 / 100)$	=	1377.050 Kg
Agregado Grueso Superficialmente Seco =	$1377.05 \times (1 + 1.14 / 100)$	=	1392.748 Kg

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

Volumen Abs. de Cemento Vc =	$6.996 / (3.12 \times 1000)$	=	0.002242 m3
Volumen Abs. Agua Vw =	$2.0986 / 1000$	=	0.002099 m3
Volumen Abs. de Agregado Grueso =	$1377.05 / (2.556 \times 1000) \times 0.02$	=	0.010775 m3
Volumen Abs. de Agregado Fino =	$208.762 / (2.59 \times 1000) \times 0.02$	=	0.001612 m3
Total de Volumen Abs.		=	0.016728 m3

Por lo tanto el % de vacios = $(0.0202926982 - 0.016728) / 0.0202926982 \times 100$

% de vacios = 17.57 %

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 Vc =	$344.73 / (3.12 \times 1000)$	=	0.110490 m3
Volumen Abs. Agua Vw =	$103.42 / 1000$	=	0.103420 m3
Volumen Abs. de Agregado Grueso =	$1377.05 / (2.556 \times 1000)$	=	0.538752 m3
Volumen Abs. de Vacios =	$15.57 / 100$	=	0.155700 m3
Total de Volumen Abs. Sin agregado fino		=	0.908362 m3
Volumen Abs. de Agregado Fino =	$(1 - 0.908362)$	=	0.091638 m3
Peso seco de Agregado Fino =	0.091638×2590	=	237.342 Kg
Peso humedo de Agregado Fino =	$237.342 \times (1 + (2.73 / 100))$	=	243.821 Kg

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

- Agua Efectiva
 $103.42 - 237.342 \times (2.73 - 1.24) / 100 - 1377.05 \times (0.49 - 1.14) / 100$ = 108.83 lts

Agua de Mezclado =	108.83 lts
Cemento =	344.73 kg
Agregado fino =	243.821 kg
Agregado Grueso =	1383.798 kg
Total =	2081.179 kg

Aditivo (0.3% de peso de cemento) = 2413.11 ml

10. Determinación del proporcionamiento de los materiales

- Proporcionamiento en peso:

$\frac{344.73}{344.73} : \frac{243.821}{344.73} : \frac{1383.798}{344.73} / \frac{108.83}{344.73} \times 42.5 \text{ lts / bolsa}$

1 : 0.71 : 4.01 : 13.42 lts / bolsa

- Proporcionamiento en volumen aparente:

Cemento

$344.73 / 42.5 = 8.11 \text{ pie}^3$

Para el Agregado Fino

$$(243.821 \times 35.315) / (1514.16 \times (1 + 2.73 / 100)) = 5.54 \text{ pie}^3$$

Para el Agregado Grueso

$$(1383.798 \times 35.315) / (1432.6 \times (1 + 0.49 / 100)) = 33.95 \text{ pie}^3$$

$$\frac{8.11}{8.11} : \frac{5.54}{8.11} : \frac{33.95}{8.11} / 13.42 \text{ lts / bolsa}$$

$$1 : 0.68 : 4.19 : 13.42 \text{ lts / bolsa}$$

11. Mezcla de prueba en laboratorio

- Calculo de Volmen para 3 Especimenes Cilindricos

Dimensiones de Testigos Cilindricos

Diámetro Promedio D = 0.154 m

Altura Promedio h = 0.304 m

Desperdicios = 1.07

N° de testigos = 3

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

Reemplazando tenemos: 0.018177

Aproximado V = 0.020 m³

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

Agua de Mezclado =	108.83 x 0.02 =	2.177	lts
Cemento =	344.73 x 0.02 =	6.895	kg
Agregado fino =	243.821 x 0.02 =	4.876	kg
Agregado Grueso =	1383.798 x 0.02 =	27.676	kg
Total =		41.624	kg

Aditivo (0.7% de peso de cemento) = 0.7 % x 6.895 = 48.27 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	2024.04 Kg/m ³

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

Agua de Mezclado =	108.83 x 0.02 + 0 =	2.177	lts
Cemento =	344.73 x 0.02 =	6.895	kg
Agregado fino =	243.821 x 0.02 =	4.876	kg
Agregado Grueso =	1383.798 x 0.02 =	27.676	kg
Total =		41.624	kg

3. Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = (41.624 / 2024.04) = 0.0205648110$$

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =		=	2.177	lts
Aporte de agregado fino =	$237.342 \times 0.02 \times (2.73 - 1.24) / 100$	=	0.0707	lts
Aporte de agregado grueso =	$1377.05 \times 0.02 \times (0.49 - 1.14) / 100$	=	-0.179	lts
Agua de mezcla por tanda =		=	<u>2.0687</u>	lts

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

$$\text{Agua de mezclado por m}^3 = 2.0687 / 0.020564811 = 100.59 \text{ lts/m}^3$$

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:

$$\text{Cantidad de cemento} = 100.59 / 0.3 = 335.3 \text{ Kg/m}^3$$

6. Teniendo en cuenta del primer ajuste - consistencia seca

Peso del Agregado Grueso Humedo =	$27.676 / 0.020564811$	=	1345.794	Kg
Peso del Agregado Grueso Seco =	$1345.794 / (1 + 0.49 / 100)$	=	1339.232	Kg
Agregado Grueso Superficialmente Seco =	$1339.232 \times (1 + 1.14 / 100)$	=	1354.499	Kg

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

Volumen Abs. de Cemento Vc =	$6.895 / (3.12 \times 1000)$	=	0.002210	m ³
Volumen Abs. Agua Vw =	$2.0687 / 1000$	=	0.002069	m ³
Volumen Abs. de Agregado Grueso =	$1339.232 / (2.556 \times 1000) \times 0.02$	=	0.010479	m ³
Volumen Abs. de Agregado Fino =	$237.342 / (2.59 \times 1000) \times 0.02$	=	0.001833	m ³
Total de Volumen Abs.		=	<u>0.016591</u>	m³

$$\text{Por lo tanto el \% de vacíos} = (0.020564811 - 0.016591) / 0.020564811 \times 100$$

$$\% \text{ de vacíos} = 19.32 \%$$

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

$$\text{Para una el } 19.32 \% \text{ de vacíos se tiene una percolación} = 108.00 \text{ mm/s}$$

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PARA
MÓDULO DEL CONCRETO**

TÍTULO	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PARA MÓDULO DEL CONCRETO
LUGAR	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
CATEDRA	CONCRETO
AGREGADO	CONCRETO
PROFESOR	ROBERTO AGUIRRE (C. ING. CIVIL)
FECHA	AGOSTO 2016

1. Propiedades de los materiales

1.1. Agregados

CARACTERÍSTICA DEL AGREGADO	FINO	GRUESO	UNIDAD
Peso Específico de Masa	2.590	2.556	gr/cm ³
Peso Específico de Masa Saturada con Superficie Seca	2.622	2.585	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto Seco	1514.16	1432.60	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado Seco	1675.820	1553.50	Kg/m ³
Contenido de Humedad	2.73	0.49	%
Absorción	1.24	1.14	%
Modulo de Finura	2.73	6.78	
Tamaño Máximo Nominal		3/4	
Partículas < Tamiz N° 200	4.76	0.65	

1.2. Cemento

Peso Específico 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

$$f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$$

2.2. Resistencia Promedio

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

2.3. Relación A/C

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

3. Procedimiento

Partiendo del sieño I-IP-AG-AF, se añadira 600 gr de fibra de polipropileno por m³, para mejorar si comportamiento estructural.

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

Agua de Mezclado =	108.830 lts
Cemento =	344.730 kg
Agregado fino =	243.821 kg
Agregado Grueso =	1383.798 kg
Total =	2081.179 kg

Peso de fibra de polipropileno: 0.600 kg

Porcentaje de fibras por m³: 2.88%

Aditivo Sikament® - 290N: 2413.11 ml (700ml por 100kg de cemento)

Peso seco de los agregados

Peso del agregado fino seco $243.821 / (1 + (2.73 / 100)) = 237.342$ Kg

Peso del agregado grueso seco $1383.798 / (1 + (0.49 / 100)) = 1377.05$ 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	2049.01 Kg/m ³

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

Agua de Mezclado =	$108.83 \times 0.02 + 0 =$	2.177	lts
Cemento =	$344.73 \times 0.02 =$	6.895	kg
Agregado fino =	$243.821 \times 0.02 =$	4.876	kg
Agregado Grueso =	$1383.798 \times 0.02 =$	27.676	kg
Total =		41.624	kg

3. Rendimiento de la mezcla

Rendimiento = $(41.624 / 2049.01) = 0.0203142005$

4. La cantidad de agua de la mezcla

Agua añadida =	=	2.177	lts
Aporte de agregado fino =	$237.342 \times 0.02 \times (2.73 - 1.24) / 100 =$	0.0707	lts
Aporte de agregado grueso =	$1377.05 \times 0.02 \times (0.49 - 1.14) / 100 =$	-0.179	lts
Agua de mezcla por tanda =	=	<u>2.0687</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 = $2.0687 / 0.0203142005 = 101.84$ 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 = $101.84 / 0.3 = 339.47$ Kg/m³

6. Teniendo en cuenta del primer ajuste - consistencia seca

Peso del Agregado Grueso Humedo =	$27.676 / 0.0203142005$	=	1362.397	Kg
Peso del Agregado Grueso Seco =	$1362.397 / (1 + 0.49 / 100)$	=	1355.754	Kg
Agregado Grueso Superficialmente Seco =	$1355.754 \times (1 + 1.14 / 100)$	=	1371.210	Kg

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

Volumen Abs. de Cemento Vc =	$6.895 / (3.12 \times 1000)$	=	0.002210	m3
Volumen Abs. Agua Vw =	$2.0687 / 1000$	=	0.002069	m3
Volumen Abs. de Agregado Grueso =	$1355.754 / (2.556 \times 1000) \times 0.02$	=	0.010608	m3
Volumen Abs. de Agregado Fino =	$237.342 / (2.59 \times 1000) \times 0.02$	=	0.001833	m3
Total de Volumen Abs.		=	0.016720	m3

Por lo tanto el % de vacios = $(0.0203142005 - 0.01672) / 0.0203142005 \times 100$

% de vacios = 17.69 %

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

Para una el 17.69 % de vacios se tiene una percolación = 67.25 mm/s

7.7. ANEXO VII: CÁLCULO DE PRECIOS UNITARIOS DE EQUIPO Y MANO DE OBRA PARA ELABORACIÓN DE CONCRETO

Mezcladora para concreto tipo trompo, 11 pies³

A. Datos generales

Valor de adquisición (Va)	S/. 5,000.00		
Vida económica útil (VEU)	4 años	2000.00 h/año	8000.00 h
Valor de rescate (Vr)	S/. 1,000.00	(20.00% del valor de adquisición)	
Potencia	13.00 HP		
Capacidad	11.00 pie ³		
Tasa activa en moneda nacional	15.88%		

Insumos

Combustibles:

Consumo de gasolina de 95 octanos (para equipo nuevo) 0.90 gal/hora

Lubricantes:

Consumo de aceite para motor grado 40 0.03500 gal/hora
Grasa 0.02000 lib/hora

Neumáticos:

Neumáticos 2 unidades
Vida útil de cada unidad 3000.00 h

Cotizaciones

Gasolina 95 octanos	galón	S/. 16.95
Aceite para motor grado 40	galón	S/. 31.09
Grasa	libra	S/. 4.67
Neumáticos	unidad	S/. 60.00

B. Cálculo del costo horario de posesión (Depreciación + Interés del capital invertido + impuestos, seguros y almacenaje)

Costo horario de depreciación
Depreciación S/. 0.50/hora

Costo horario del interés del capital invertido
Interés del capital invertido S/. 0.28/hora

Cálculo de la inversión media anual (IMA)

$$IMA = S/. 3,500.00/\text{año}$$

Costo horario de los seguros, impuestos y almacenaje

Seguros	2.50%
Impuesto	2.00%
Almacenaje	1.00%
TOTAL	5.50%
Seguros, impuestos y almacenaje	S/. 0.10/hora

Depreciación S/. 0.50/hora

Intereses S/. 0.28/hora

Seguros, impuestos y almacenaje S/. 0.10/hora

Total del costo horario de posesión S/. 0.87/hora

C. Cálculo del costo horario de operación (Mantenimiento y reparación, combustible, lubricantes, grasas, neumáticos)

Cálculo del costo de mantenimiento y reparación

Costo de mantenimiento 90.00% (del costo de mantenimiento)
S/. 14,500.00

a) Costo de mano de obra 25.00% (del costo de mantenimiento)
S/. 1,125.00
S/. 0.14/hora

b) Costo de reparaciones 75.00% (del costo de mantenimiento)
S/. 3,375.00
S/. 0.42/hora

Costo de mantenimiento y reparación S/. 0.56/hora

Costo de combustible S/. 15.26/hora

Costo de lubricantes S/. 1.09/hora

Costo de grasas S/. 0.09/hora

Costo de neumáticos S/. 0.04/hora

Total del costo horario de operación S/. 17.04/hora

D. Cálculo del costo horario total

Total del costo horario de posesión S/. 0.87/hora

Total del costo horario de operación S/. 17.04/hora

Cálculo del costo horario total S/. 17.91/hora

Fuente: Cálculo de precios unitarios de equipo y mano de obra, análisis del incremento de la resistencia mecánica del concreto con la adición de fibra vegetal, Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga, 2015.

Vibrador para concreto 4 HP

A. Datos generales

Valor de adquisición (Va)	S/. 1,500.00		
Vida económica útil (VEU)	2 años	2000.00 h/año	4000.00 h
Valor de rescate (Vr)	S/. 300.00	(20.00% del valor de adquisición)	
Potencia	4.00 HP		
Tasa activa en moneda nacional	15.88%		

Insumos

Combustibles:

Consumo de gasolina de 95 octanos (para equipo nuevo) 0.30 gal/hora

Lubricantes:

Consumo de aceite para motor grado 40 0.01500 gal/hora
Grasa 0.02000 lib/hora

Cotizaciones

Gasolina 95 octanos	galón	S/. 16.95
Aceite para motor grado 40	galón	S/. 31.09
Grasa	libra	S/. 4.67

B. Cálculo del costo horario de posesión (Depreciación + Interés del capital invertido + impuestos, seguros y almacenaje)

Costo horario de depreciación

Depreciación S/. 0.30/hora

Costo horario del interés del capital invertido

Interés del capital invertido S/. 0.10/hora

Cálculo de la inversión media anual (IMA)

$$IMA = S/. 1,200.00/\text{año}$$

Costo horario de los seguros, impuestos y almacenaje

Seguros	2.50%
Impuesto	2.00%
Almacenaje	1.00%
TOTAL	5.50%
Seguros, impuestos y almacenaje	S/. 0.03/hora

Depreciación S/. 0.30/hora

Intereses S/. 0.10/hora

Seguros, impuestos y almacenaje S/. 0.03/hora

Total del costo horario de posesión S/. 0.43/hora

C. Cálculo del costo horario de operación (Mantenimiento y reparación, combustible, lubricantes, grasas, neumáticos)

Cálculo del costo de mantenimiento y reparación

Costo de mantenimiento 90.00% (del costo de mantenimiento)
S/. 1,350.00

a) Costo de mano de obra 25.00% (del costo de mantenimiento)
S/. 337.50
S/. 0.08/hora

b) Costo de reparaciones 75.00% (del costo de mantenimiento)
S/. 1,012.50
S/. 0.25/hora

Costo de mantenimiento y reparación S/. 0.34/hora

Costo de combustible S/. 5.09/hora

Costo de lubricantes S/. 0.47/hora

Costo de grasas S/. 0.09/hora

Total del costo horario de operación S/. 5.98/hora

D. Cálculo del costo horario total

Total del costo horario de posesión S/. 0.43/hora

Total del costo horario de operación S/. 5.98/hora

Cálculo del costo horario total S/. 6.41/hora

Fuente: Cálculo de precios unitarios de equipo y mano de obra, análisis del incremento de la resistencia mecánica del concreto con la adición de fibra vegetal, Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga, 2015.



**COSTO DE HORA HOMBRE
PARA OBRAS QUE EJECUTA EL GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
(ESCALAS VIGENTES DEL 01.06.14 AL 31.05-15)***

CONCEPTOS	CATEGORIAS							
	OPERARIO	OFICIAL	PEON	OPERAD.EM	OPERAD.EP	OPER.ELECT	TOPOGRAFO	
1.- REMUNERACION BASICA VIGENTE (RB)* (Vigente del 01.06.14 al 31.05.15)	55.20	46.50	41.50	55.80	56.20	55.60	55.60	
LEYES Y BENEFICIOS SOCIALES SOBRE LA RB **	104.27%	57.98	48.49	43.27	57.98	57.98	57.98	
2.- BONIFICACION UNIFICADA DE CONSTRUCCION (BUC) (Vigente del 01.06.14 al 31.05.15)	17.79	13.95	12.45	17.79	17.79	17.79	17.79	
- Operario (sobre el JB)	32.00%							
- Oficial (sobre el JB)	30.00%							
- Peon (sobre el JB)	30.00%							
LEYES Y BENEFICIOS SOCIALES SOBRE EL BUC	13.00%	2.31	1.81	1.62	2.31	2.31	2.31	
3.- BONIFICACION POR MOVILIDAD ACUMULADA *** (Res. Direc. N° 777-87-DR-LIM de 08.07.87)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4.- OVERCÓL (Res. Direc. N° 777-87-DR-LIM de 08.07.87)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	
5.- ESSALUD VIDA (Obras cuyo costo es mayor a 50 UIT)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
6.- BONIFICACION POR ALTA ESPECIALIZACION (BAE) SOBRE EL JB DEL OPERARIO (Vigente del 01.06.14 al 31.05.15)				4.45	5.56	8.34	5.00	
- Operador de Equipo Mediano	8.00%							
- Operador de Equipo Pesado	10.00%							
- Operario Electromecánico	15.00%							
- Topógrafo	9.00%							
COSTO DIA HOMBRE 8 horas (DH)	134.28	111.35	99.44	138.73	139.84	142.62	139.29	
COSTO HORA HOMBRE (HH)	16.79	13.92	12.43	17.34	17.48	17.83	17.41	

* Remuneración Básica de Construcción Civil, vigente a partir del 01-06-14 al 31-05-15 según Acta de Negociación Colectiva del 24-07-2014 firmada entre CAPECO y la FTCCP, aplicable por acuerdo de Consejo Regional N° 039-2007-GR-CAJ-CR (17-04-2007).

** Porcentajes deducidos para obras que ejecuta el Gobierno Regional en el departamento de Cajamarca.

*** Se considera campamento de obra, no se paga movilidad local; se considera viáticos en los gastos generales de obra

Para otras categorías considerar:

EDIFICACIONES	(HH)
- Capataz: 10% más del costo del Operario	18.47
OBRAS VIALES	(HH)
- Capataz A: 30% más del costo del Operario	21.83
- Capataz B: 20% más del costo del Operario	20.15
- Capataz C: 10% más del costo del Operario	18.47

- Nivelador: 100% costo del Operario	16.79
- Controlador: 100% costo del Oficial	13.92
- Téc. Soldador: 100% costo del Topógrafo	17.4

- Téc. Control de Calidad: 100% costo del Topóg	17.41
- Téc. de Caldero: 100% costo del Topógrafo	17.41

7.8. ANEXO VIII: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE CONCRETO ECOLÓGICO PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE MEZCLAS

TABLA N° 59. Análisis de precios unitarios del concreto ecológico – diseño inicial reajustado (I-D)

Partida 1.01 CONCRETO $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ - TIPO DE MEZCLA I-D							
Rendimiento	m ³ /DIA	12.0000	EQ. 12.0000	Costo unitario directo por : m ³	361.50		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$f.	Parcial \$f.	
Mano de Obra							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.6667	16.79	11.19	
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	1.3333	13.92	18.56	
0101010005	PEON	hh	8.0000	5.3333	12.43	66.29	
						96.05	
Materiales							
02070100010003	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m ³		0.9361	40.00	37.45	
02070200010002	ARENA GRUESO	m ³		0.1574	40.00	6.30	
02070200010005	AGUA	m ³		0.1137	1.65	0.19	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		8.5200	22.50	191.70	
						235.63	
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	96.05	2.88	
03012900010002	VIBRO COMPACTADORA 13 HP	hm	1.0000	0.6667	7.50	5.00	
03012900030001	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (13 HP)	hm	1.0000	0.6667	17.91	11.94	
						19.82	

Fuente: Tesista

TABLA N° 60. Análisis de precios unitarios del concreto ecológico – diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno (I-D-FPP)

Partida 1.02 CONCRETO $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ - TIPO DE MEZCLA I-D-FPP							
Rendimiento	m ³ /DIA	12.0000	EQ. 12.0000	Costo unitario directo por : m ³	376.50		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$f.	Parcial \$f.	
Mano de Obra							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.6667	16.79	11.19	
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	1.3333	13.92	18.56	
0101010005	PEON	hh	8.0000	5.3333	12.43	66.29	
						96.05	
Materiales							
02070100010003	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m ³		0.9361	40.00	37.45	
02070200010002	ARENA GRUESO	m ³		0.1574	40.00	6.30	
02070200010005	AGUA	m ³		0.1137	1.65	0.19	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		8.5200	22.50	191.70	
0213010008	FIBRAS DE POLIPROPILENO	kg		0.6000	41.67	25.00	
						260.63	
Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	96.05	2.88	
03012900010002	VIBRO COMPACTADORA 13 HP	hm	1.0000	0.6667	7.50	5.00	
03012900030001	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (13 HP)	hm	1.0000	0.6667	17.91	11.94	
						19.82	

Fuente: Tesista

TABLA N° 61. Análisis de precios unitarios del concreto ecológico – diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional (II-D-AP)

Partida 1.03 CONCRETO $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ - TIPO DE MEZCLA II-D-AP						
Rendimiento	m ³ /DIA	12.0000	EQ. 12.0000	Costo unitario directo por : m ³	362.66	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.6667	16.79	11.19
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	1.3333	13.92	18.56
0101010005	PEON	hh	8.0000	5.3333	12.43	66.29
						96.05
Materiales						
02070100010003	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m ³		0.9613	40.00	38.45
02070200010002	ARENA GRUESO	m ³		0.1569	40.00	6.27
02070200010005	AGUA	m ³		0.1088	1.65	0.18
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		8.1100	22.50	182.48
0213010012	ADITIVO POLIFUNCIONAL SIKAMENT 290N	L		2.4131	8.00	19.30
						246.69
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	96.05	2.88
03012900010002	VIBRO COMPACTADORA 13 HP	hm	1.0000	0.6667	7.50	5.00
03012900030001	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (13 HP)	hm	1.0000	0.6667	17.91	11.94
						19.82

Fuente: Tesista

TABLA N° 62. Análisis de precios unitarios del concreto ecológico – diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno (II-D-AP-FPP)

Partida 1.04 CONCRETO $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ - TIPO DE MEZCLA II-D-AP-FPP						
Rendimiento	m ³ /DIA	12.0000	EQ. 12.0000	Costo unitario directo por : m ³	387.56	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.6667	16.79	11.19
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	1.3333	13.92	18.56
0101010005	PEON	hh	8.0000	5.3333	12.43	66.29
						96.05
Materiales						
02070100010003	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m ³		0.9613	40.00	38.45
02070200010002	ARENA GRUESO	m ³		0.1569	40.00	6.27
02070200010005	AGUA	m ³		0.1088	1.65	0.18
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		8.1100	22.50	182.48
0213010012	ADITIVO POLIFUNCIONAL SIKAMENT 290N	L		2.4131	8.00	19.30
0213010008	FIBRAS DE POLIPROPILENO	kg		0.6000	41.67	25.00
						271.69
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	96.05	2.88
03012900010002	VIBRO COMPACTADORA 13 HP	hm	1.0000	0.6667	7.50	5.00
03012900030001	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (13 HP)	hm	1.0000	0.6667	17.91	11.94
						19.82

Fuente: Tesista

TABLA N° 63. Análisis de precios unitarios del concreto convencional

Partida 1.05 CONCRETO f _c = 175 kg/cm ² - TIPO DE MEZCLA CONVENCIONAL						
Rendimiento	m ³ /DIA	12.0000	EQ. 12.0000	Costo unitario directo por : m ³	355.92	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.6667	16.79	11.19
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	1.3333	13.92	18.56
0101010005	PEON	hh	8.0000	5.3333	12.43	66.29
						96.85
Materiales						
02070100010003	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m ³		0.7600	40.00	30.40
02070200010002	ARENA GRUESO	m ³		0.5100	40.00	20.40
02070200010005	AGUA	m ³		0.1840	1.65	0.30
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		8.4300	22.50	189.68
						240.78
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	96.05	2.88
03012900010002	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.25'	hm	1.0000	0.6667	6.41	4.27
03012900030001	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (13 HP)	hm	1.0000	0.6667	17.91	11.94
						19.09

Fuente: Tesista

7.9. ANEXO IX: COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA

TABLA N° 64. Coeficiente 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)

7.10. ANEXO X: CÁLCULO DE CURVA INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA

ANÁLISIS POR EL METODO GUMBEL

TABLA N° 65. Intensidades Máximas

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

Estación: 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 N° 66. Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 5 min

INTENSIDADES MÁXIMAS x=mm/hora	N° DE ORDEN (m)	P(x) = m / (n+1)	-P(x)	Tr (Años) 1/P(x)	F(x)	DELTA
						$\Delta = F(x) - 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				$\Delta \text{ MAX} =$	0.21
Desvestan.	12.50				$\Delta 0 =$	0.23
α	0.10					
β	73.88					

... OK

Fuente: Tesista

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:

$$\Delta_0 = 1.36 / (n)^{1/2}$$

Donde:

Δ : valor crítico
n: número d datos

Para n = 35

$$\Delta_0 = 0.23$$

TABLA N° 67. Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 10 min

INTENSIDADES MÁXIMAS	N° DE ORDEN	P(x) = m / (n+1)	-P(x)	Tr (Años)	F(x)	DELTA
						$\Delta = F(x) - P(x) $
x=num/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	$\Delta_{MAX} =$	0.22
Desvestan.	8.84	$\Delta_0 =$	0.23
α	0.15		
β	55.87		

... OK

Fuente: Tesista

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:

$$\Delta_0 = 1.36 / (n)^{1/2}$$

Donde:

Δ : valor crítico
n: número d datos

Para n = 35

$$\Delta_0 = 0.23$$

TABLA N° 68. Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 30min

INTENSIDADES MÁXIMAS x=mm/hora	N° DE ORDEN (m)	P(x) = m / (n+1)	-P(x)	Tr (Años) 1/P(x)	F(x)	DELTA
						$\Delta = F(x) - 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
Desvestan.	5.87
α	0.22
β	30.28

$\Delta_{MAX} = 0.14$
 $\Delta_0 = 0.23$... OK

Fuente: Tesista

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:

$$\Delta_0 = 1.36 / (n)^{1/2}$$

Donde:

Δ : valor crítico
n: número d datos

Para n = 35

$$\Delta_0 = 0.23$$

TABLA N° 69. Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 60 min

INTENSIDADES MÁXIMAS x=mm/hora	N° DE ORDEN (m)	P(x) = m / (n+1)	-P(x)	Tr (Años) 1/P(x)	F(x)	DELTA
						$\Delta = F(x) - 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				$\Delta_{MAX} =$	0.16
Desvestan.	3.71				$\Delta_0 =$	0.23
α	0.35					
β	17.31					

... OK

Fuente: Tesista

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:

$$\Delta_0 = 1.36 / (n)^{1/2}$$

Donde:

Δ : valor crítico

n: número d datos

Para n = 35

$$\Delta_0 = 0.23$$

TABLA N° 70. Verificación del ajuste Gumbel por la prueba de Kolmogorov para 120 min

INTENSIDADES MÁXIMAS x=mm/hora	N° DE ORDEN (m)	P(x) = m / (n+1)	-P(x)	Tr (Años)	F(x)	DELTA
				1/P(x)		$\Delta = F(x) - 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
Desvestan.	2.08
α	0.62
β	8.80

Δ MAX =	0.13
Δ 0 =	0.23

... OK

Fuente: Tesista

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:

$$\Delta_0 = 1.36 / (n)^{1/2}$$

Donde:

Δ : valor crítico

n: número d datos

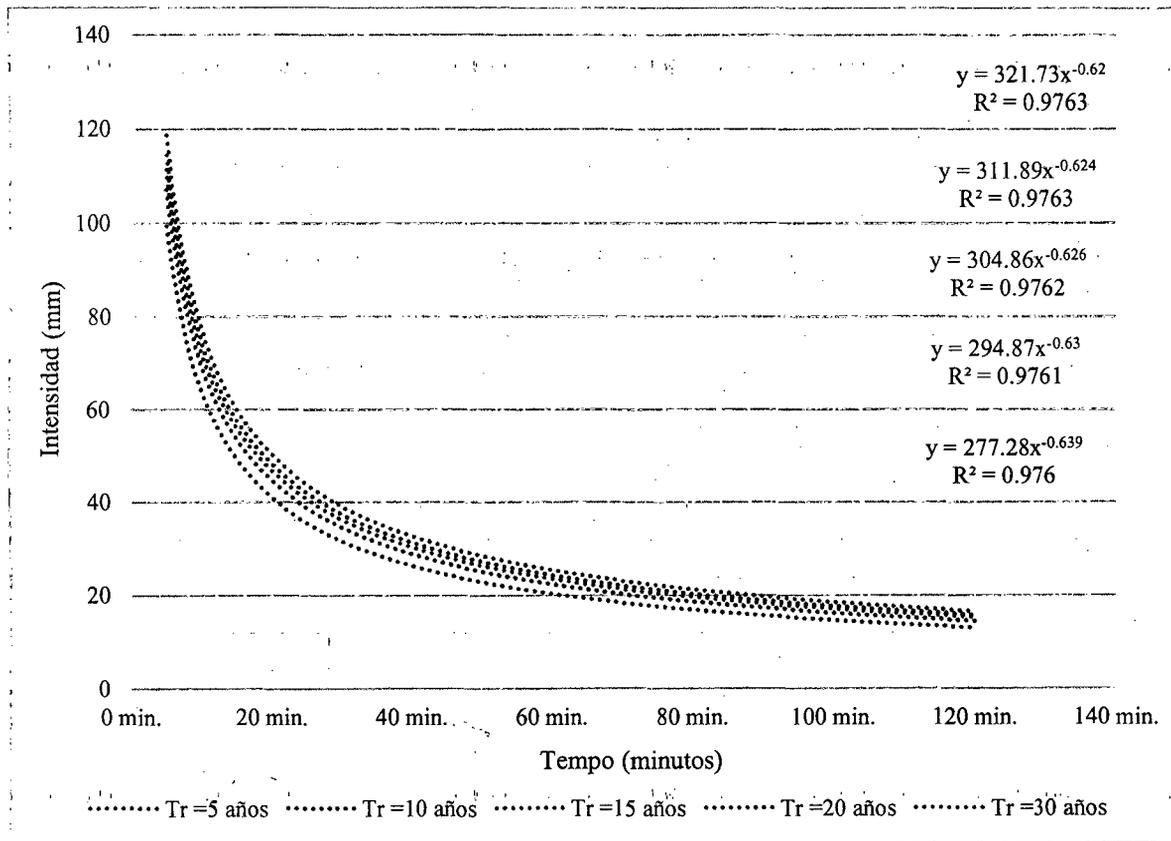
Para n = 35

$$\Delta_0 = 0.23$$

TABLA N° 71. Ajuste de intensidad máxima y tiempo de retorno

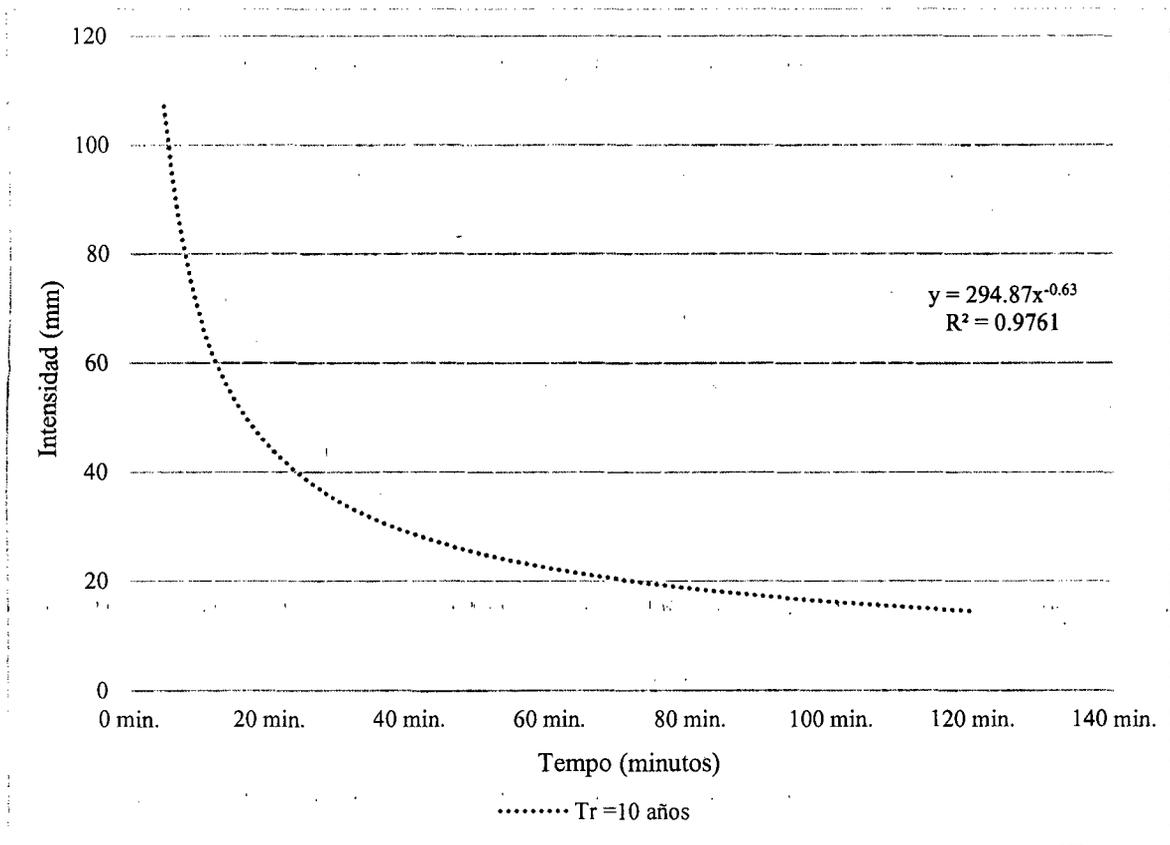
Tr (Años)	INTENSIDAD MÁXIMA (mm/h)				
	5 min.	10 min.	30 min.	60 min.	120 min.
5	88.50	66.21	37.14	21.65	11.23
10	95.82	71.38	40.57	23.82	12.44
15	99.94	74.30	42.51	25.05	13.12
20	102.83	76.34	43.87	25.91	13.60
30	106.87	79.20	45.76	27.10	14.27

Fuente: Tesista



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 33. Intensidad vs Tiempo (para distintos tiempos de retorno)



Fuente: Tesista

GRÁFICO N° 34. Intensidad vs Tiempo (para 10 años tiempo de retorno)

7.11. ANEXO XI: DISEÑO DE PAVIMENTO ECOLÓGICO

DISEÑO DE PAVIMENTO DE CONCRETO ECOLOGICO

PROYECTO : PAVIMENTACIÓN DE LA AV. ZOILO LÉON ORDOÑEZ DE VILLA UNIVERSITARIA - 2015
 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. Zoilo León Ordoñez 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 7815.99m².

A. DATOS DE DISEÑO

1. Áreas aportantes

Calles y veredas:	2735.52 m2
Techos:	136.54 m2
Patios y jardines:	3236.52 m2

Superficie Total: 6108.58 m2

Área del pavimento proyectado: 1707.40 m2

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:	Si
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 (Si)	Si	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	7815.99 m2	OK

2. Dimensionamiento

2.1. Espesor mínimo total del pavimento

Nos basamos según la tabla de espesores mínimos para concreto ecológico

**Espesores Míminicos 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_{an})

De la ecuacion 5 se tiene:

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

Donde:

C = es el coeficiente de escurrimiento superficial del area total aportante (m^2)

Superficie	Área (m^2)	C (*)
Calles y Veredas	2735.52 m2	0.8
Techos	136.54 m2	0.9
Patios y jardines	3236.52 m2	0.5
Total	6108.58 m2	

(*) Valores tomados de la Tabla N° 63, Coeficientes de Escorrentia, del Anexo VII

$$C = \frac{C_1 \times A_{\text{calles y veredas}} + C_2 \times A_{\text{techos}} + C_3 \times A_{\text{patios y jardines}}}{\text{Area total}}$$

$$C = 0.64$$

Apartir de la curva Intensidad - Duración - Frecuencia se tiene:

$$I = 294.87 \times t^{-0.63}$$

Donde:

A: es el área total aportante: $A = 6108.58 \text{ m}^2$

I_i : 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	106.97	8.91
0h 10 min	69.12	11.52
0h 20 min	44.67	14.89
0h 30 min	34.60	17.30
0h 40 min	28.86	19.24
1 h	22.36	22.36
2 h	14.45	28.89
4 h	9.33	37.34
6 h	7.23	43.38

8 h	6.03	48.25
10 h	5.24	52.41
12 h	4.67	56.07
14 h	4.24	59.36
18 h	3.62	65.14
24 h	3.02	72.46

Con estos valores, se calcula el volumen del afluente acumulado al pavimento hasta el tiempo t con la expresion:

$$V_{afl}(t) = 1.25 \times 0.001 \times 0.64 \times 6108.5832 \times P_t$$

$$V_{afl}(t) = 4.89 \times P_t$$

- Volumen acumulado infiltrado (V_{inf})

Apartir de la ecuacion 6, se tiene:

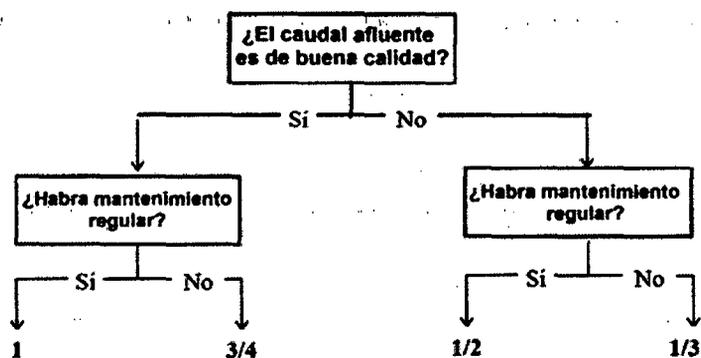
$$V_{inf}(t) = 0.001 f C_s A_e t$$

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.

$A_e = 1707.40 \text{ m}^2$

Reemplazando se tiene el volumen acumulado infiltrado en m³, hasta el tiempo t en horas:

$$V_{inf}(t) = 0.001 \times 15 \times 1 \times 1707.4029 \times t$$

$$V_{inf}(t) = 25.61 \times t$$

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:

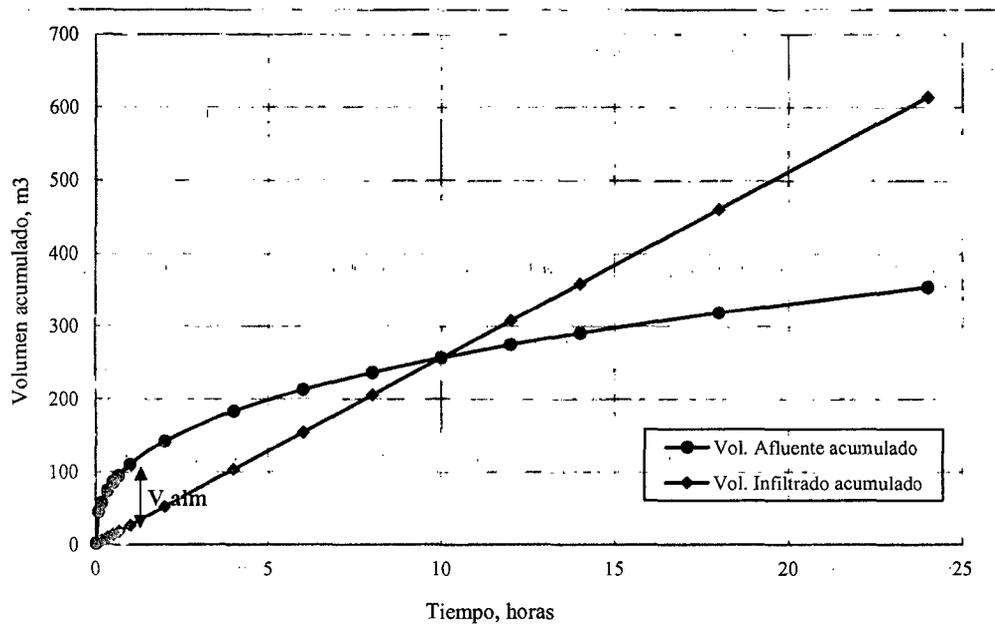
Duración (horas, min)	P_t^T (mm)	V_{afl} (m ³)	V_{inf} (m ³)	V_{alm} (m ³)
0h 0 min	0	0.00	0.00	0.00
0h 5 min	8.91	43.59	2.13	41.46
0h 10 min	11.52	56.34	4.27	52.07
0h 20 min	14.89	72.81	8.54	64.27
0h 30 min	17.30	84.59	12.81	71.79
0h 40 min	19.24	94.09	17.07	77.02

1 h	22.36	109.32	25.61	83.71
2 h	28.89	141.28	51.22	90.06
4 h	37.34	182.59	102.44	80.15
6 h	43.38	212.14	153.66	58.48
8 h	48.25	235.96	204.88	31.08
10 h	52.41	256.27	256.10	0.17
12 h	56.07	274.16	307.32	-33.16
14 h	59.36	290.25	358.54	-68.29
18 h	65.14	318.53	460.98	-142.45
24 h	72.46	354.31	614.64	-260.33

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

$$V_{alm} = 90.06$$

Se puede apreciar que el valor máximo de almacenamiento corresponde a 90.06 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

$$p = 0.30$$

$$V_{subbase} = V_{alm} / p = 90.06 / 0.3$$

$$V_{subbase} = 300.0$$

y el espesor de la subbase e_s es:

$$e_s = V_{subbase} / A_{subbase} = 300 / 1707.4029 \quad \text{Donde } A_{subbase} \text{ es la superficie del pavimento}$$

$$e_s = 0.18 \text{ m}$$

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 a continuación:

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 subbase. 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 es de 47.5 cm.

- 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 distancia entre estos separadores debe ser menor que:

$$L_{max} = \frac{e_s}{2S_0}$$

$$L_{max} = 0.2 / (2 \times 0.009)$$

$$L_{max} = 11.11 \text{ m} \implies \text{Se colocara cada } 10.00 \text{ m}$$

Por lo tanto se colocaran separadores de concreto, no permeable, cada 10 m a lo largo del pasaje

A continuación se adjunta los detalles para dicho proyecto, incluyendo su ubicación, planta y detalles.

7.12. ANEXO XII: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS

TABLA N° 72. Especímenes ensayados a compresión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado

Datos de Especímenes Nomenclatura	Especímenes						Promedio
	ID-1	ID-2	ID-3	ID-4	ID-5	ID-6	
Edad de ensayo	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	--
Diámetro promedio (mm)	153	152	151	152	152	153	--
Alto promedio (mm)	303	304	301	304	303	303	--
Peso (kg)	11.65	11.36	11.13	11.37	11.70	11.56	--
Peso (N)	114.33	111.42	109.22	111.54	114.78	113.40	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2105.73	2072.59	2065.57	2061.15	2127.97	2075.12	2084.69
Carga máxima de rotura (Tn)	25.50	24.00	26.30	23.20	24.87	22.40	24.38
Carga máxima de rotura (N)	250155.00	235440.00	258003.00	227592.00	243939.43	219781.56	239151.83
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm ²)	139.61	133.14	146.86	127.85	137.04	121.86	134.39
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	13.70	13.06	14.41	12.54	13.44	11.95	13.18
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	5.48	5.22	5.76	5.02	5.38	4.78	5.27
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.53	0.41	0.18	0.40	0.55	0.06	0.35
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050
Deformación al 40% de la compresión	0.004392	0.005834	0.004917	0.002694	0.002583	0.003065	0.003914
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	1140.27	832.67	1147.63	1746.17	1903.92	1565.10	1389.29
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	15376.68	14662.93	15322.17	14250.27	15476.41	14053.72	14857.03
Tiempo de ensayo (min)	2.00	2.50	1.97	2.38	2.32	2.67	2.31
Velocidad de ensayo (MPa/min)	6.85	5.22	7.33	5.26	5.80	4.48	5.82
Tipo de falla	Tipo 05	Tipo 06	Tipo 05	Tipo 05	Tipo 06	Tipo 3	--
Modo de falla	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Dúctil	--
Tipo de especimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 73. Especímenes ensayados a compresión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno

Datos de Especímenes	Especímenes						Promedio
	Nomenclatura	I-D-FPP-1	I-D-FPP-2	I-D-FPP-3	I-D-FPP-4	I-D-FPP-5	
Edad de ensayo	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	--
Diámetro promedio (mm)	152	153	154	153	153	153	--
Alto promedio (mm)	304	303	302	302	303	303	--
Peso (kg)	11.26	11.53	11.78	11.55	11.76	11.45	--
Peso (N)	110.50	113.11	115.56	113.31	115.37	112.29	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2041.94	2069.73	2094.15	2080.19	2111.02	2054.65	2075.28
Carga máxima de rotura (Tn)	26.00	28.10	25.00	26.70	27.80	24.00	26.27
Carga máxima de rotura (N)	255060.00	275661.00	245250.00	261927.00	272718.00	235440.00	257676.00
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm ²)	143.28	152.84	134.22	145.22	151.21	130.54	142.88
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	14.06	14.99	13.17	14.25	14.83	12.81	14.02
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	5.62	6.00	5.27	5.70	5.93	5.12	5.61
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.38	0.55	0.05	0.21	0.57	0.35	0.35
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050
Deformación al 40% de la compresión	0.008287	0.002749	0.014620	0.009598	0.010719	0.010144	0.009353
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	636.15	2020.14	357.85	574.91	502.58	472.80	760.74
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	14875.24	15678.00	14952.64	15398.40	16063.01	14331.11	15216.40
Tiempo de ensayo (min)	1.57	2.25	1.75	1.90	2.52	1.83	1.97
Velocidad de ensayo (MPa/min)	8.97	6.66	7.52	7.50	5.89	6.98	7.26
Tipo de falla	Tipo 03	Tipo 05	Tipo 03	Tipo 03	Tipo 06	Tipo 6	--
Modo de falla	Dúctil	Frágil	Dúctil	Dúctil	Frágil	Frágil	--
Tipo de especimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 74. Especímenes ensayados a compresión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional

Datos de Especímenes	Especímenes						Promedio
	Nomenclatura	II-D-AP-1	II-D-AP-2	II-D-AP-3	II-D-AP-4	II-D-AP-5	
Edad de ensayo	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	--
Diámetro promedio (mm)	152	151	153	153	152	152	--
Alto promedio (mm)	303	304	303	303	302	303	--
Peso (kg)	11.63	11.37	11.28	11.59	11.38	11.35	--
Peso (N)	114.09	111.58	110.66	113.74	111.62	111.34	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2115.24	2089.28	2024.85	2081.22	2076.26	2064.32	2075.19
Carga máxima de rotura (Tn)	26.20	22.50	27.40	28.00	25.00	26.10	25.87
Carga máxima de rotura (N)	257022.00	220725.00	268794.00	274680.00	245250.00	256041.00	253752.00
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm ²)	144.39	125.64	149.03	152.29	137.77	143.83	142.16
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	14.16	12.33	14.62	14.94	13.52	14.11	13.95
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	5.67	4.93	5.85	5.98	5.41	5.64	5.58
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.36	0.45	0.44	0.50	0.19	0.17	0.35
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050
Deformación al 40% de la compresión	0.004909	0.009646	0.010287	0.009692	0.011340	0.009610	0.009247
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	1092.35	467.31	528.32	568.21	461.61	572.08	614.98
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	15743.64	14416.71	14980.71	15780.56	14955.72	15149.52	15171.14
Tiempo de ensayo (min)	3.05	4.23	4.57	3.15	2.22	3.72	3.49
Velocidad de ensayo (MPa/min)	4.64	2.91	3.20	4.74	6.10	3.80	4.23
Tipo de falla	Tipo 06	Tipo 06	Tipo 05	Tipo 05	Tipo 05	Tipo 05	--
Modo de falla	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	--
Tipo de especimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 75. Especímenes ensayados a compresión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno

Datos de Especímenes Nomenclatura	Especímenes						Promedio
	II-D-AP-FPP-1	II-D-AP-FPP-2	II-D-AP-FPP-3	II-D-AP-FPP-4	II-D-AP-FPP-5	II-D-AP-FPP-6	
Edad de ensayo	7 Días	--					
Diámetro promedio (mm)	152	153	154	152	152	151	--
Alto promedio (mm)	303	303	304	303	304	303	--
Peso (kg)	11.57	11.65	11.38	11.53	11.36	11.17	--
Peso (N)	113.48	114.25	111.60	113.15	111.46	109.62	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2103.97	2090.55	2009.02	2097.78	2059.70	2059.31	2070.06
Carga máxima de rotura (Tn)	27.10	28.50	26.00	27.50	31.00	29.00	28.18
Carga máxima de rotura (N)	265851.00	279585.00	255060.00	269775.00	304110.00	284490.00	276478.50
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm ²)	149.35	155.01	139.59	151.55	170.84	161.94	154.71
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	14.65	15.21	13.69	14.87	16.76	15.89	15.18
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	5.86	6.08	5.48	5.95	6.70	6.35	6.07
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.27	0.25	0.42	0.28	0.24	0.18	0.27
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050
Deformación al 40% de la compresión	0.010888	0.011478	0.010277	0.013104	0.005824	0.010467	0.010340
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	515.92	510.13	494.65	434.47	1119.21	592.92	611.22
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	15883.89	16028.07	14328.51	15930.20	16455.14	16016.35	15773.69
Tiempo de ensayo (min)	2.58	2.88	1.60	1.77	2.50	2.27	2.27
Velocidad de ensayo (MPa/min)	5.67	5.27	8.56	8.42	6.70	7.01	6.94
Tipo de falla	Tipo 03	--					
Modo de falla	Dúctil	Dúctil	Dúctil	Dúctil	Dúctil	Dúctil	--
Tipo de especimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 76. Especímenes ensayados a compresión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado

Datos de Especímenes	Especímenes						Promedio
	Nomenclatura	I-D-1	I-D-2	I-D-3	I-D-4	I-D-5	
Edad de ensayo	14 Días	14 Días	14 Días	14 Días	14 Días	14 Días	--
Diámetro promedio (mm)	152	152	152	154	152	153	--
Alto promedio (mm)	303	304	303	303	302	303	--
Peso (kg)	11.36	11.21	11.33	11.83	11.38	11.92	--
Peso (N)	111.46	110.01	111.11	116.05	111.64	116.94	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2066.50	2046.31	2059.95	2096.09	2076.63	2139.74	2080.87
Carga máxima de rotura (Tn)	29.60	34.00	28.00	25.50	30.00	31.30	29.73
Carga máxima de rotura (N)	290376.00	333540.00	274680.00	250155.00	294300.00	307053.00	291684.00
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm ²)	163.12	188.61	154.31	136.90	165.33	170.24	163.09
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	16.00	18.50	15.14	13.43	16.22	16.70	16.00
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	6.40	7.40	6.05	5.37	6.49	6.68	6.40
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.21	0.12	0.28	0.34	0.47	0.22	0.28
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050
Deformación al 40% de la compresión	0.009038	0.011830	0.002798	0.002853	0.008005	0.006241	0.006794
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	689.08	617.70	2100.02	1795.87	756.02	1042.86	1166.93
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	16158.94	17121.53	15641.51	15122.50	16387.49	17393.22	16304.20
Tiempo de ensayo (min)	3.55	2.67	3.85	2.82	2.40	2.63	2.99
Velocidad de ensayo (MPa/min)	4.51	6.94	3.93	4.77	6.76	6.34	5.54
Tipo de falla	Tipo 05	Tipo 05	Tipo 02	Tipo 03	Tipo 05	Tipo 5	--
Modo de falla	Frágil	Frágil	Dúctil	Dúctil	Frágil	Frágil	--
Tipo de especimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 77. Especímenes ensayados a compresión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno

Datos de Especímenes		Especímenes						Promedio
Nomenclatura	I-D-FPP-1	I-D-FPP-2	I-D-FPP-3	I-D-FPP-4	I-D-FPP-5	I-D-FPP-6		
Edad de ensayo	14 Días	14 Días	14 Días	14 Días	14 Días	14 Días	--	
Diámetro promedio (mm)	152	151	151	151	153	152	--	
Alto promedio (mm)	303	302	302	303	302	303	--	
Peso (kg)	11.45	11.02	11.60	11.36	11.29	11.43	--	
Peso (N)	112.30	108.11	113.80	111.48	110.75	112.13	--	
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2082.14	2037.66	2144.90	2094.33	2033.36	2078.87	2078.54	
Carga máxima de rotura (Tn)	30.00	27.00	28.40	29.50	33.00	31.00	29.82	
Carga máxima de rotura (N)	294300.00	264870.00	278604.00	289395.00	323730.00	304110.00	292501.50	
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm ²)	165.33	150.77	158.59	164.73	179.49	170.84	164.96	
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	16.22	14.79	15.56	16.16	17.61	16.76	16.18	
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	6.49	5.92	6.22	6.46	7.04	6.70	6.47	
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.58	0.40	0.13	0.33	0.18	0.13	0.29	
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	
Deformación al 40% de la compresión	0.003152	0.005075	0.003320	0.003725	0.005512	0.005341	0.004354	
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	1905.11	1098.03	1863.53	1668.12	1256.48	1241.95	1505.54	
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	16452.81	15211.05	16848.11	16567.59	16544.17	16685.34	16384.84	
Tiempo de ensayo (min)	3.33	2.83	2.17	3.08	2.75	3.20	2.89	
Velocidad de ensayo (MPa/min)	4.87	5.22	7.18	5.24	6.40	5.24	5.69	
Tipo de falla	Tipo 03	Tipo 03	Tipo 03	Tipo 03	Tipo 03	Tipo 03	--	
Modo de falla	Dúctil	Dúctil	Dúctil	Dúctil	Dúctil	Dúctil	--	
Tipo de especimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	--	

Fuente: Tesista

TABLA N° 78. Especímenes ensayados a compresión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional

Datos de Especímenes	Especímenes						Promedio
	Nomenclatura	II-D-AP-1	II-D-AP-2	II-D-AP-3	II-D-AP-4	II-D-AP-5	
Edad de ensayo	14 Días	14 Días	14 Días	14 Días	14 Días	14 Días	--
Diámetro promedio (mm)	151	152	151	152	153	153	--
Alto promedio (mm)	302	303	303	302	303	302	--
Peso (kg)	11.29	11.46	11.31	11.52	11.25	11.18	--
Peso (N)	110.74	112.46	110.93	113.01	110.36	109.68	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2087.21	2085.05	2084.01	2102.17	2019.47	2013.55	2065.24
Carga máxima de rotura (Tn)	31.00	29.50	30.00	28.50	29.40	30.50	29.82
Carga máxima de rotura (N)	304110.00	289395.00	294300.00	279585.00	288414.00	299205.00	292501.50
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm ²)	173.11	162.57	167.52	157.06	159.91	165.89	164.34
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	16.98	15.95	16.43	15.41	15.69	16.27	16.12
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	6.79	6.38	6.57	6.16	6.27	6.51	6.45
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.50	0.28	0.37	0.31	0.16	0.04	0.28
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050
Deformación al 40% de la compresión	0.0043323	0.003895	0.003182	0.007756	0.011963	0.010033	0.006860
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	1469.85	1585.58	1981.58	759.38	513.06	647.73	1159.53
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	16897.07	16349.34	16584.06	16268.20	15455.96	15673.27	16204.65
Tiempo de ensayo (min)	2.28	1.72	1.38	1.77	2.07	1.58	1.80
Velocidad de ensayo (MPa/min)	7.44	9.29	11.88	8.72	7.59	10.28	9.20
Tipo de falla	Tipo 05	Tipo 03	Tipo 03	Tipo 05	Tipo 06	Tipo 5	--
Modo de falla	Frágil	Dúctil	Dúctil	Frágil	Frágil	Frágil	--
Tipo de especimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 79. Especímenes ensayados a compresión, 14 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno

Datos de Especímenes	Especímenes						Promedio
	Nomenclatura	II-D-AP-FPP-1	II-D-AP-FPP-2	II-D-AP-FPP-3	II-D-AP-FPP-4	II-D-AP-FPP-5	
Edad de ensayo	14 Días	14 Días	14 Días	14 Días	14 Días	14 Días	--
Diámetro promedio (mm)	152	152	151	153	152	152	--
Alto promedio (mm)	303	302	302	303	303	303	--
Peso (kg)	11.48	11.57	11.30	11.75	11.39	11.39	--
Peso (N)	112.62	113.50	110.87	115.29	111.74	111.74	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2087.96	2111.30	2089.80	2109.58	2085.29	2071.59	2092.59
Carga máxima de rotura (Tn)	30.20	29.00	28.10	31.00	33.00	31.50	30.47
Carga máxima de rotura (N)	296262.00	284490.00	275661.00	304110.00	323730.00	309015.00	298878.00
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm ²)	166.43	159.82	156.91	168.61	183.06	173.59	168.07
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	16.33	15.68	15.39	16.54	17.96	17.03	16.49
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	6.53	6.27	6.16	6.62	7.18	6.81	6.60
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.30	0.09	0.99	0.09	0.15	0.12	0.29
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050
Deformación al 40% de la compresión	0.0070794	0.006469	0.002920	0.010467	0.008179	0.009636	0.007458
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	887.02	963.54	1801.79	626.57	865.44	697.87	973.70
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	16576.82	16517.24	16117.26	16945.02	17352.07	16731.15	16706.59
Tiempo de ensayo (min)	2.00	1.75	1.33	1.15	1.27	1.83	1.56
Velocidad de ensayo (MPa/min)	8.16	8.96	11.54	14.38	14.18	9.29	11.09
Tipo de falla	Tipo 03	Tipo 03	Tipo 03	Tipo 03	Tipo 03	Tipo 03	--
Modo de falla	Dúctil	Dúctil	Dúctil	Dúctil	Dúctil	Dúctil	--
Tipo de especimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 80. Especímenes ensayados a compresión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado

Datos de Especímenes	Especímenes						Promedio
	I-D-1	I-D-2	I-D-3	I-D-4	I-D-5	I-D-6	
Edad de ensayo	28 Días	28 Días	28 Días	28 Días	28 Días	28 Días	--
Diámetro promedio (mm)	152	152	153	153	153	152	--
Alto promedio (mm)	303	304	302	304	303	304	--
Peso (kg)	11.42	11.45	11.48	11.28	11.55	11.55	--
Peso (N)	112.01	112.36	112.62	110.66	113.31	113.31	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2076.68	2076.38	2067.58	2018.19	2086.94	2093.78	2069.93
Carga máxima de rotura (Tn)	30.00	34.20	31.20	33.40	28.90	32.30	31.67
Carga máxima de rotura (N)	294300.00	335502.00	306072.00	327654.00	283509.00	316863.00	310650.00
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm ²)	165.33	188.47	169.70	181.67	158.22	178.00	173.57
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	16.22	18.49	16.65	17.82	15.52	17.46	17.03
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	6.49	7.40	6.66	7.13	6.21	6.98	6.81
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.02	0.34	0.06	0.09	0.21	0.50	0.20
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050
Deformación al 40% de la compresión	0.006973	0.006424	0.005187	0.004983	0.006861	0.006813	0.006207
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	934.70	1106.85	1284.75	1426.49	880.64	959.37	1098.80
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	16388.17	17493.93	16494.43	16458.26	16151.09	17215.23	16700.18
Tiempo de ensayo (min)	0.95	1.25	0.88	1.13	1.35	1.10	1.11
Velocidad de ensayo (MPa/min)	17.13	14.79	18.85	15.72	11.50	15.87	15.64
Tipo de falla	Tipo 05	Tipo 06	Tipo 05	Tipo 05	Tipo 06	Tipo 05	--
Modo de falla	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	--
Tipo de espécimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 81. Especímenes ensayados a compresión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno

Datos de Especímenes Nomenclatura	Especímenes						Promedio
	I-D-FPP-1	I-D-FPP-2	I-D-FPP-3	I-D-FPP-4	I-D-FPP-5	I-D-FPP-6	
Edad de ensayo	28 Días	28 Días	28 Días	28 Días	28 Días	28 Días	--
Diámetro promedio (mm)	154	152	152	154	152	152	--
Alto promedio (mm)	303	304	304	302	303	304	--
Peso (kg)	11.44	11.05	11.42	11.45	11.46	11.41	--
Peso (N)	112.19	108.38	112.01	112.34	112.46	111.97	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2026.28	2002.78	2083.54	2035.84	2085.05	2069.13	2050.44
Carga máxima de rotura (Tn)	29.40	32.10	33.70	35.93	31.36	35.08	32.93
Carga máxima de rotura (N)	288414.00	314901.00	330597.00	352473.30	307641.60	344134.80	323026.95
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm ²)	157.84	176.90	186.95	192.90	172.82	193.32	180.12
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	15.48	17.35	18.34	18.92	16.95	18.96	17.67
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	6.19	6.94	7.34	7.57	6.78	7.59	7.07
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.41	0.13	0.15	0.23	0.14	0.13	0.20
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050
Deformación al 40% de la compresión	0.0035572	0.003805	0.003837	0.003573	0.005501	0.005648	0.004320
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	1648.74	1815.18	1897.31	2084.20	1217.50	1332.56	1665.91
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	15433.39	16055.23	17513.07	17182.27	16856.88	17624.84	16777.61
Tiempo de ensayo (min)	1.20	1.45	1.52	1.13	1.05	1.23	1.26
Velocidad de ensayo (MPa/min)	12.90	11.97	12.09	16.70	16.15	15.38	14.20
Tipo de falla	Tipo 03	Tipo 03	Tipo 03	Tipo 03	Tipo 03	Tipo 2	--
Modo de falla	Dúctil	Dúctil	Dúctil	Dúctil	Dúctil	Dúctil	--
Tipo de especimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 82. Especímenes ensayados a compresión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional

Datos de Especímenes	Especímenes						Promedio
	II-D-AP-1	II-D-AP-2	II-D-AP-3	II-D-AP-4	II-D-AP-5	II-D-AP-6	
Nomenclatura							
Edad de ensayo	28 Días	28 Días	28 Días	28 Días	28 Días	28 Días	--
Diámetro promedio (mm)	152	151	151	153	151	152	--
Alto promedio (mm)	302	303	303	303	303	302	--
Peso (kg)	11.35	11.41	11.25	11.58	11.15	11.34	--
Peso (N)	111.32	111.89	110.32	113.58	109.40	111.25	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2070.79	2102.07	2072.58	2078.35	2055.26	2069.33	2074.73
Carga máxima de rotura (Tn)	34.20	33.10	34.70	30.20	32.80	34.50	33.25
Carga máxima de rotura (N)	335502.00	324711.00	340407.00	296262.00	321768.00	338445.00	326182.50
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm ²)	188.47	184.84	193.77	164.26	183.16	190.13	184.10
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	18.49	18.13	19.01	16.11	17.97	18.65	18.06
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	7.40	7.25	7.60	6.45	7.19	7.46	7.22
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.04	0.14	0.09	0.34	0.09	0.03	0.12
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050
Deformación al 40% de la compresión	0.0045473	0.002129	0.003374	0.007104	0.013913	0.005822	0.006148
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	1635.49	3420.49	2260.85	865.91	512.09	1287.46	1663.72
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	17423.30	17646.78	17689.41	16354.88	16983.12	17481.05	17263.09
Tiempo de ensayo (min)	1.38	0.93	1.05	1.30	0.88	1.32	1.14
Velocidad de ensayo (MPa/min)	13.37	19.43	18.10	12.40	20.34	14.17	16.30
Tipo de falla	Tipo 06	Tipo 06	Tipo 05	Tipo 05	Tipo 05	Tipo 06	--
Modo de falla	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	--
Tipo de especimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 83. Especímenes ensayados a compresión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno

Datos de Especímenes	Especímenes						Promedio
	Nomenclatura	II-D-AP-FPP-1	II-D-AP-FPP-2	II-D-AP-FPP-3	II-D-AP-FPP-4	II-D-AP-FPP-5	
Edad de ensayo	28 Días	28 Días	28 Días	28 Días	28 Días	28 Días	--
Diámetro promedio (mm)	152	153	153	154	152	152	--
Alto promedio (mm)	303	304	303	302	303	303	--
Peso (kg)	11.51	11.57	11.49	11.51	11.55	11.01	--
Peso (N)	112.91	113.48	112.70	112.91	113.31	108.03	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2093.42	2069.72	2062.19	2046.15	2100.69	2016.08	2064.71
Carga máxima de rotura (Tn)	36.20	33.40	35.10	33.90	36.40	33.80	34.80
Carga máxima de rotura (N)	355122.00	327654.00	344331.00	332559.00	357084.00	331578.00	341388.00
Resistencia a la compresión máxima (kg/cm ²)	199.49	181.67	190.91	182.00	200.60	187.50	190.36
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	19.57	17.82	18.73	17.85	19.68	18.39	18.67
Resistencia al 40% de compresión (MPa)	7.83	7.13	7.49	7.14	7.87	7.36	7.47
Resistencia a la deformación de 50 millonésima (MPa)	0.30	0.09	0.50	0.08	0.23	0.08	0.21
Deformación base de 50 millonésima	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050	0.000050
Deformación al 40% de la compresión	0.00808	0.004079	0.002834	0.007388	0.005448	0.004692	0.005420
Módulo de elasticidad (ASTM C 469) (MPa)	938.07	1747.59	2512.24	962.81	1414.67	1567.92	1523.88
Módulo de elasticidad (ACI 318.S) (MPa)	18220.16	17092.59	17425.64	16816.78	18365.75	16694.23	17436.02
Tiempo de ensayo (min)	1.52	1.73	1.87	1.13	1.68	1.12	1.51
Velocidad de ensayo (MPa/min)	12.90	10.28	10.03	15.75	11.69	16.47	12.86
Tipo de falla	Tipo 03	Tipo 03	Tipo 06	Tipo 02	Tipo 03	Tipo 03	--
Modo de falla	Dúctil	Dúctil	Frágil	Dúctil	Dúctil	Dúctil	--
Tipo de especimen	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 84. Especímenes ensayados a flexión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado

Datos de Especímenes	Especímenes						Promedio
	I-D-1	I-D-2	I-D-3	I-D-4	I-D-5	I-D-6	
Edad de ensayo	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	--
Ancho promedio (mm)	151	152	152	151	149	150	--
Alto promedio (mm)	150	151	149	149	148	148	--
Largo promedio (mm)	498	499	499	496	498	498	--
Peso (kg)	23.10	23.45	21.97	22.95	22.35	22.10	--
Peso (N)	226.65	230.04	215.53	225.14	219.25	216.80	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2048.28	2047.49	1944.02	2056.54	2035.17	1998.99	2021.75
Longitud de tramo de ensayo (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	--
Carga máxima de rotura (Tn)	1.10	1.00	0.96	1.15	0.97	0.97	1.03
Carga máxima de rotura (N)	10791.00	9810.00	9417.60	11281.50	9515.70	9515.70	10055.25
Resistencia a la flexión máxima (kg/cm ²)	21.85	19.48	19.20	23.16	20.06	19.93	20.61
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	2.14	1.91	1.88	2.27	1.97	1.95	2.02
Tiempo de ensayo (min)	1.03	1.45	1.13	1.55	1.38	1.23	1.30
Velocidad de ensayo (MPa/min)	2.07	1.32	1.66	1.47	1.42	1.59	1.59
Ancho mayor de fisura (mm)	6.00	8.00	6.50	11.00	6.00	9.00	7.75
Longitud de fisura (mm)	120.00	139.00	125.00	130.00	90.00	110.00	119.00
Tipo de especimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 85. Especímenes ensayados a flexión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno

Datos de Especímenes		Especímenes					Promedio
Nomenclatura	I-D-FPP-1	I-D-FPP-2	I-D-FPP-3	I-D-FPP-4	I-D-FPP-5	I-D-FPP-6	
Edad de ensayo	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	--
Ancho promedio (mm)	150	151	149	149	148	149	--
Alto promedio (mm)	150	150	151	151	150	151	--
Largo promedio (mm)	498	499	495	498	498	499	--
Peso (kg)	23.13	22.67	22.70	22.51	22.46	22.87	--
Peso (N)	226.94	222.37	222.69	220.82	220.33	224.35	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2064.61	2005.60	2038.25	2009.01	2031.55	2037.05	2031.01
Longitud de tramo de ensayo (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	--
Carga máxima de rotura (Tn)	1.10	1.10	1.10	1.07	1.12	1.05	1.09
Carga máxima de rotura (N)	10791.00	10791.00	10791.00	10496.70	10987.20	10300.50	10692.90
Resistencia a la flexión máxima (kg/cm ²)	22.00	21.85	21.86	21.26	22.70	20.86	21.76
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	2.16	2.14	2.14	2.09	2.23	2.05	2.13
Tiempo de ensayo (min)	0.80	0.63	0.80	1.20	0.77	1.03	0.87
Velocidad de ensayo (MPa/min)	2.70	3.39	2.68	1.74	2.90	1.98	2.56
Ancho mayor de fisura (mm)	4.00	5.50	9.00	5.00	6.00	4.00	5.58
Longitud de fisura (mm)	120.00	107.00	123.00	110.00	100.00	114.00	112.33
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 86. Especímenes ensayados a flexión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional

Datos de Especímenes	Especímenes						Promedio
	Nomenclatura	II-D-AP-1	II-D-AP-2	II-D-AP-3	II-D-AP-4	II-D-AP-5	
Edad de ensayo	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	--
Ancho promedio (mm)	149	148	150	151	150	149	--
Alto promedio (mm)	151	150	151	151	150	150	--
Largo promedio (mm)	494	495	498	498	498	500	--
Peso (kg)	22.83	22.30	22.59	23.10	22.82	22.64	--
Peso (N)	224.00	218.76	221.61	226.61	223.86	222.10	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2054.43	2029.30	2002.71	2034.36	2036.59	2025.95	2030.56
Longitud de tramo de ensayo (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	--
Carga máxima de rotura (Tn)	1.06	0.82	1.22	1.00	0.92	1.12	1.02
Carga máxima de rotura (N)	10398.60	8044.20	11968.20	9810.00	9025.20	10987.20	10038.90
Resistencia a la flexión máxima (kg/cm ²)	21.06	16.62	24.08	19.61	18.40	22.55	20.39
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	2.07	1.63	2.36	1.92	1.81	2.21	2.00
Tiempo de ensayo (min)	0.90	0.83	0.80	0.67	1.49	0.92	0.93
Velocidad de ensayo (MPa/min)	2.30	1.96	2.95	2.88	1.21	2.41	2.29
Ancho mayor de fisura (mm)	6.00	5.00	6.00	8.00	8.00	7.00	6.67
Longitud de fisura (mm)	120.00	124.00	130.00	123.00	108.00	100.00	118.33
Tipo de especimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 87. Especímenes ensayados a flexión, 7 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno

Datos de Especímenes	Especímenes						Promedio
	II-D-AP-FPP-1	II-D-AP-FPP-2	II-D-AP-FPP-3	II-D-AP-FPP-4	II-D-AP-FPP-5	II-D-AP-FPP-6	
Edad de ensayo	7 Días	--					
Ancho promedio (mm)	151	150	150	151	149	150	--
Alto promedio (mm)	149	149	151	151	150	149	--
Largo promedio (mm)	498	498	498	499	499	498	--
Peso (kg)	22.89	22.60	22.88	23.11	22.76	23.01	--
Peso (N)	224.55	221.71	224.45	226.69	223.28	225.73	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2042.93	2030.49	2028.42	2030.99	2040.77	2067.33	2040.16
Longitud de tramo de ensayo (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	--
Carga máxima de rotura (Tn)	1.10	0.95	1.35	1.30	0.98	1.25	1.16
Carga máxima de rotura (N)	10791.00	9319.50	13243.50	12753.00	9613.80	12262.50	11330.55
Resistencia a la flexión máxima (kg/cm ²)	22.15	19.26	26.64	25.49	19.73	25.34	23.10
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	2.17	1.89	2.61	2.50	1.94	2.49	2.27
Tiempo de ensayo (min)	2.27	2.95	2.58	1.70	1.75	2.17	2.24
Velocidad de ensayo (MPa/min)	0.96	0.64	1.01	1.47	1.11	1.15	1.06
Ancho mayor de fisura (mm)	6.00	6.00	4.00	4.00	5.00	4.00	4.83
Longitud de fisura (mm)	12.00	105.00	135.00	98.00	134.00	125.00	101.50
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 88. Especímenes ensayados a flexión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado

Datos de Especímenes	Especímenes						Promedio
	I-D-1	I-D-2	I-D-3	I-D-4	I-D-5	I-D-6	
Edad de ensayo	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	--
Ancho promedio (mm)	151	150	150	149	151	149	--
Alto promedio (mm)	149	150	148	150	150	149	--
Largo promedio (mm)	498	499	498	498	499	499	--
Peso (kg)	22.82	22.84	22.76	22.58	22.97	22.75	--
Peso (N)	223.90	224.06	223.28	221.51	225.34	223.18	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2037.04	2034.29	2058.69	2028.70	2032.32	2053.56	2040.77
Longitud de tramo de ensayo (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	--
Carga máxima de rotura (Tn)	1.21	1.14	1.30	1.25	1.32	1.28	1.25
Carga máxima de rotura (N)	11870.10	11183.40	12753.00	12262.50	12949.20	12556.80	12262.50
Resistencia a la flexión máxima (kg/cm ²)	24.36	22.80	26.71	25.17	26.23	26.12	25.23
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	2.39	2.24	2.62	2.47	2.57	2.56	2.48
Tiempo de ensayo (min)	3.02	2.92	2.40	2.25	3.23	2.83	2.78
Velocidad de ensayo (MPa/min)	0.79	0.77	1.09	1.10	0.80	0.90	0.91
Ancho mayor de fisura (mm)	3.00	11.00	7.00	4.00	6.00	10.00	6.83
Longitud de fisura (mm)	118.00	125.00	130.00	114.00	105.00	118.00	118.33
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 89. Especímenes ensayados a flexión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno

Datos de Especímenes	Especímenes						Promedio
Nomenclatura	I-D-FPP-1	I-D-FPP-2	I-D-FPP-3	I-D-FPP-4	I-D-FPP-5	I-D-FPP-6	
Edad de ensayo	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	--
Ancho promedio (mm)	149	150	150	150	148	149	--
Alto promedio (mm)	150	150	150	149	149	149	--
Largo promedio (mm)	498	499	498	498	499	499	--
Peso (kg)	22.68	23.40	23.18	22.91	22.43	22.87	--
Peso (N)	222.49	229.55	227.38	224.73	220.04	224.35	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2037.68	2084.17	2068.54	2058.17	2038.36	2064.40	2058.55
Longitud de tramo de ensayo (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	--
Carga máxima de rotura (Tn)	1.30	1.45	1.40	1.38	1.50	1.43	1.41
Carga máxima de rotura (N)	12753.00	14224.50	13734.00	13537.80	14715.00	14028.30	13832.10
Resistencia a la flexión máxima (kg/cm ²)	26.17	29.00	28.00	27.97	30.81	29.18	28.52
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	2.57	2.84	2.75	2.74	3.02	2.86	2.80
Tiempo de ensayo (min)	2.60	3.82	3.47	2.93	3.10	3.43	3.23
Velocidad de ensayo (MPa/min)	0.99	0.75	0.79	0.94	0.98	0.83	0.88
Ancho mayor de fisura (mm)	4.00	5.00	6.00	5.00	6.00	4.00	5.00
Longitud de fisura (mm)	120.00	124.00	115.00	105.00	98.00	87.00	108.17
Tipo de especimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 90. Especímenes ensayados a flexión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional

Datos de Especímenes		Especímenes					Promedio
Nomenclatura	II-D-AP-1	II-D-AP-2	II-D-AP-3	II-D-AP-4	II-D-AP-5	II-D-AP-6	
Edad de ensayo	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	--
Ancho promedio (mm)	150	150	148	148	149	148	--
Alto promedio (mm)	150	149	150	150	149	150	--
Largo promedio (mm)	499	498	498	499	499	498	--
Peso (kg)	22.87	22.78	22.91	22.61	22.76	22.69	--
Peso (N)	224.35	223.47	224.77	221.80	223.28	222.59	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2036.96	2046.67	2072.43	2041.02	2054.47	2052.35	2050.65
Longitud de tramo de ensayo (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	--
Carga máxima de rotura (Tn)	1.31	1.47	1.43	1.36	1.32	1.41	1.38
Carga máxima de rotura (N)	12851.10	14420.70	14028.30	13341.60	12949.20	13832.10	13570.50
Resistencia a la flexión máxima (kg/cm ²)	26.20	29.80	28.99	27.57	26.94	28.58	28.01
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	2.57	2.92	2.84	2.70	2.64	2.80	2.75
Tiempo de ensayo (min)	1.92	2.28	3.43	1.92	1.92	1.92	2.23
Velocidad de ensayo (MPa/min)	1.34	1.28	0.83	1.41	1.38	1.46	1.28
Ancho mayor de fisura (mm)	7.00	6.00	4.00	8.00	7.00	5.00	6.17
Longitud de fisura (mm)	109.00	121.00	94.00	123.00	129.00	104.00	113.33
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	--

Fuente: Tesista

TABLA N° 91. Especímenes ensayados a flexión, 28 días de edad, diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno

Datos de Especímenes	Especímenes						Promedio
	II-D-AP-FPP-1	II-D-AP-FPP-2	II-D-AP-FPP-3	II-D-AP-FPP-4	II-D-AP-FPP-5	II-D-AP-FPP-6	
Edad de ensayo	7 Días	--					
Ancho promedio (mm)	150	150	151	150	149	148	--
Alto promedio (mm)	150	149	150	149	148	149	--
Largo promedio (mm)	498	498	499	498	498	499	--
Peso (kg)	22.77	22.88	23.85	23.15	22.76	22.65	--
Peso (N)	223.39	224.45	233.97	227.10	223.28	222.20	--
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	2032.31	2055.65	2110.18	2079.91	2072.50	2058.35	2068.15
Longitud de tramo de ensayo (mm)	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	--
Carga máxima de rotura (Tn)	1.70	1.51	1.65	1.45	1.48	1.57	1.56
Carga máxima de rotura (N)	16677.00	14813.10	16186.50	14224.50	14518.80	15401.70	15303.60
Resistencia a la flexión máxima (kg/cm ²)	34.00	30.61	32.78	29.39	30.61	32.25	31.61
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	3.34	3.00	3.22	2.88	3.00	3.16	3.10
Tiempo de ensayo (min)	1.83	1.27	1.58	1.30	2.05	1.33	1.56
Velocidad de ensayo (MPa/min)	1.82	2.37	2.03	2.22	1.46	2.37	2.05
Ancho mayor de fisura (mm)	5.00	3.00	5.00	6.00	5.00	4.00	4.67
Longitud de fisura (mm)	96.00	84.00	102.00	115.00	112.00	97.00	101.00
Tipo de espécimen	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	Prismático	--

Fuente: Tesista

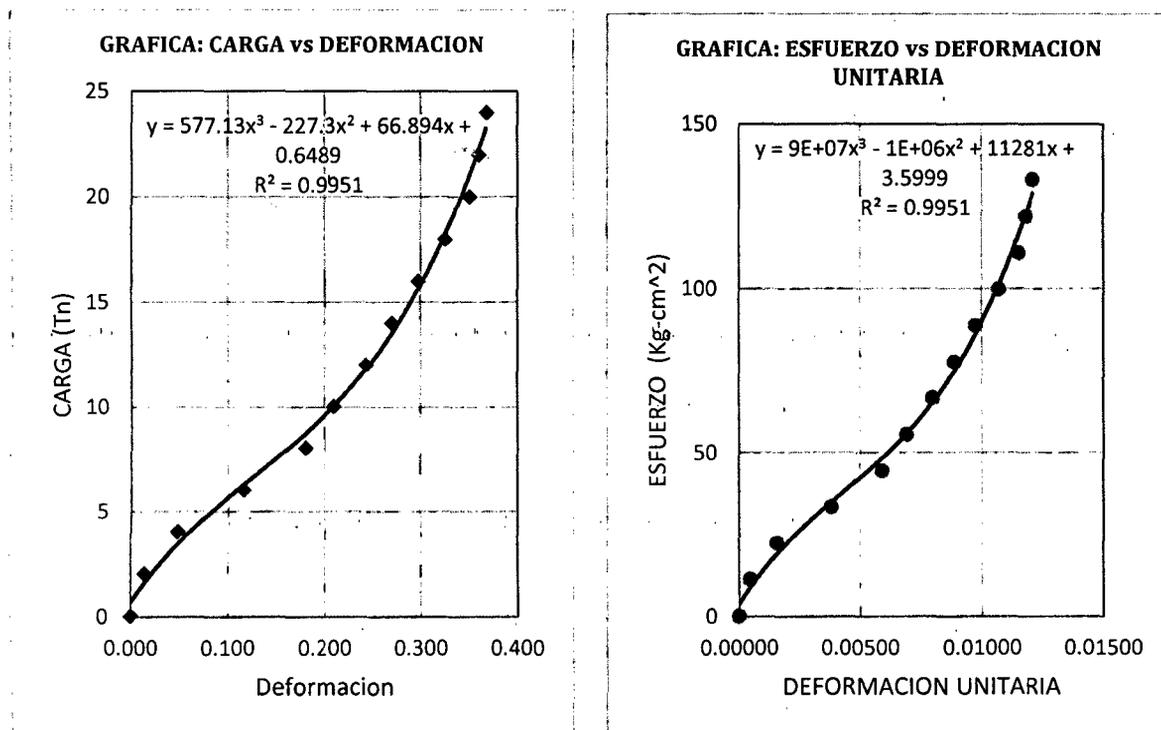
7.13. ANEXO XIII: CURVAS REPRESENTATIVAS DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA DEL ENSAYO A COMPRESIÓN

TABLA N° 92. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado (I-D-2), 7 días

Diámetro	Long. Inicial (cm)	Área (cm ²)
15.2	30.4	180.27

Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Defor. Unit.
0	0	0.000	0.00000	0.00000
2	2000	0.014	11.09468	0.00046
4	4000	0.048	22.18936	0.00158
6	6000	0.116	33.28405	0.00382
8	8000	0.180	44.37873	0.00592
10	10000	0.210	55.47341	0.00691
12	12000	0.243	66.56809	0.00799
14	14000	0.270	77.66277	0.00888
16	16000	0.297	88.75745	0.00977
18	18000	0.325	99.85214	0.01069
20	20000	0.350	110.94682	0.01151
22	22000	0.360	122.04150	0.01184
24	24000	0.368	133.13618	0.01211

Fuente: Tesista



Fuente: Tesista

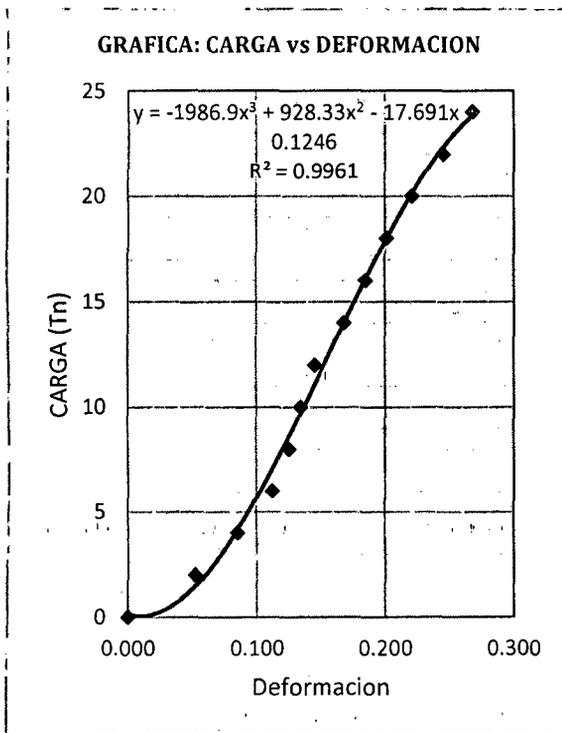
GRÁFICO N° 35. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado (I-D-2), 7 días

TABLA N° 93. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno (I-D-FPP-3), 7 días

Diámetro	Long. Inicial (cm)	Área (cm ²)
15.4	30.2	186.27

Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deform. Unit.
0	0	0.000	0.00000	0.00000
2	2000	0.052	10.73739	0.00172
4	4000	0.085	21.47478	0.00281
6	6000	0.112	32.21217	0.00371
8	8000	0.125	42.94955	0.00414
10	10000	0.134	53.68694	0.00444
12	12000	0.145	64.42433	0.00480
14	14000	0.168	75.16172	0.00556
16	16000	0.185	85.89911	0.00613
18	18000	0.201	96.63650	0.00666
20	20000	0.221	107.37389	0.00732
22	22000	0.245	118.11128	0.00811
24	24000	0.268	128.84866	0.00887

Fuente: Tesista



Fuente: Tesista

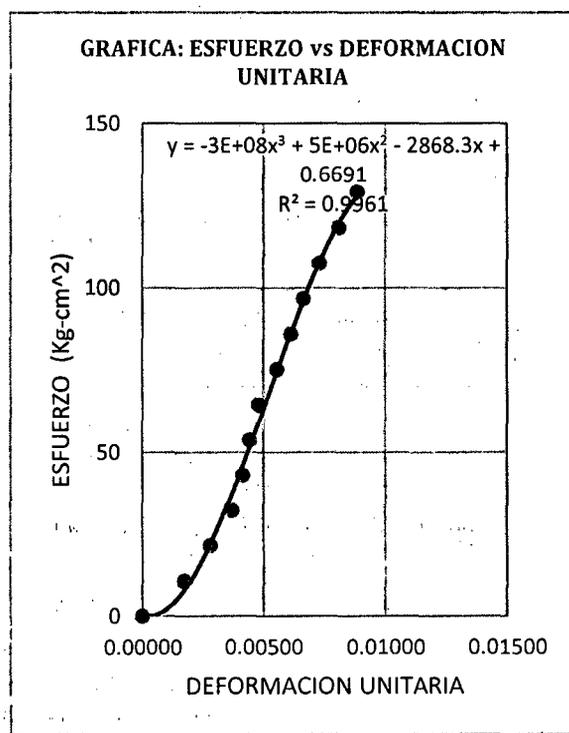


GRÁFICO N° 36. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con fibras de polipropileno (I-D-FPP-3), 7 días

TABLA N° 94. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional (II-D-AP-5), 7 días

Diámetro	Long. Inicial (cm)	Área (cm ²)
15.2	30.2	181.46

Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deform. Unit.
0	0	0.000	0.00000	0.00000
2	2000	0.055	11.02181	0.00182
4	4000	0.185	22.04362	0.00613
6	6000	0.245	33.06543	0.00811
8	8000	0.300	44.08724	0.00993
10	10000	0.340	55.10905	0.01126
12	12000	0.385	66.13086	0.01275
14	14000	0.420	77.15267	0.01391
16	16000	0.495	88.17448	0.01639
18	18000	0.545	99.19629	0.01805
20	20000	0.610	110.21810	0.02020
22	22000	0.640	121.23992	0.02119
24	24000	0.665	132.26173	0.02202

Fuente: Tesista

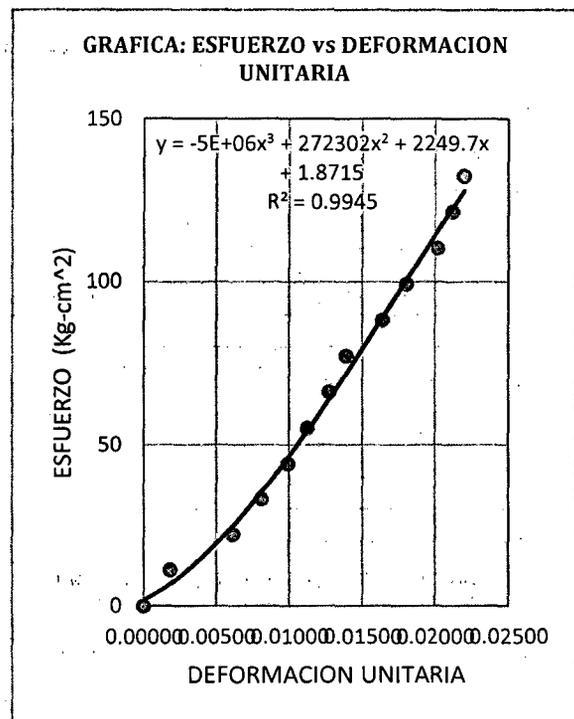
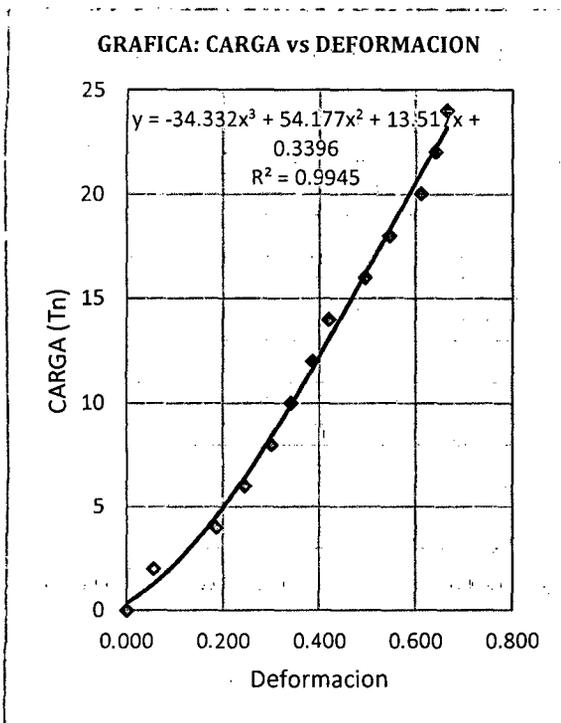


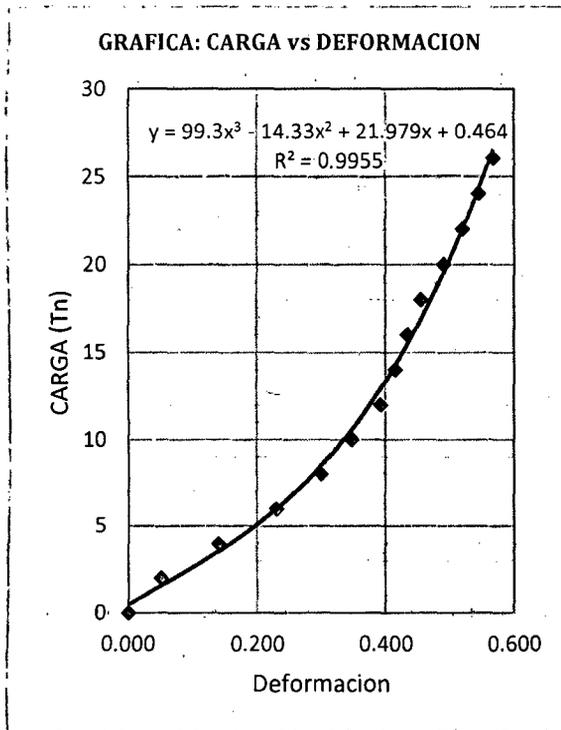
GRÁFICO N° 37. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional (II-D-AP-5), 7 días

TABLA N° 95. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno (II-D-AP-FPP-1)

Diámetro	Long. Inicial (cm)	Área (cm ²)
15.2	30.3	181.46

Carga (Tn)	Carga (Kg)	Deformación	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deform. Unit.
0	0	0.000	0.00000	0.00000
2	2000	0.050	11.02181	0.00165
4	4000	0.140	22.04362	0.00462
6	6000	0.230	33.06543	0.00759
8	8000	0.300	44.08724	0.00990
10	10000	0.348	55.10905	0.01149
12	12000	0.392	66.13086	0.01294
14	14000	0.415	77.15267	0.01370
16	16000	0.434	88.17448	0.01432
18	18000	0.455	99.19629	0.01502
20	20000	0.490	110.21810	0.01617
22	22000	0.520	121.23992	0.01716
24	24000	0.545	132.26173	0.01799
26	26000	0.567	143.28354	0.01871

Fuente: Tesista



Fuente: Tesista

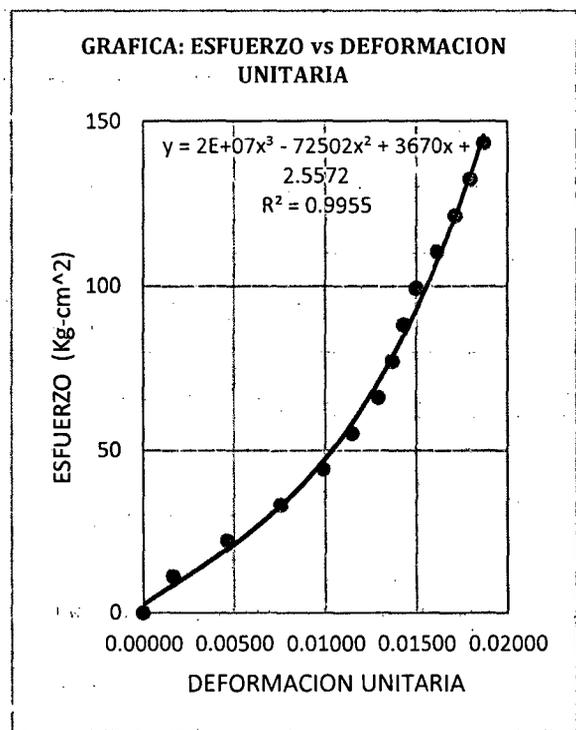


GRÁFICO N° 38. Esfuerzos y Deformaciones Unitarias del espécimen de diseño inicial reajustado con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno (II-D-AP-FPP-1), 7 días

7.14. ANEXO XIV: PANEL FOTOGRÁFICO



IMAGEN N° 28. Extracción de agregados de la cantera La Victoria

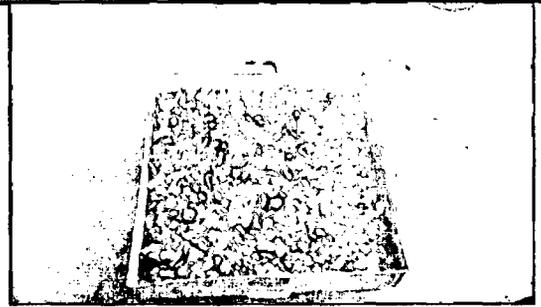


IMAGEN N° 29. Agregado grueso para la elaboración del concreto ecológico

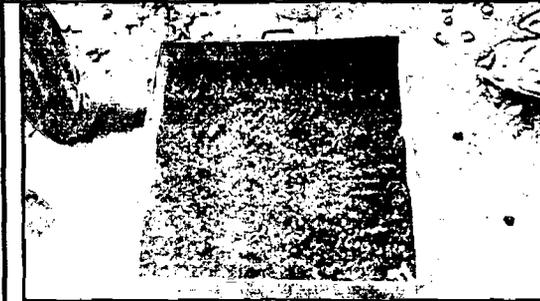


IMAGEN N° 30. Agregado grueso para la elaboración del concreto ecológico



IMAGEN N° 31. Tamizado del agregado grueso luego del ensayo de Abrasión



IMAGEN N° 32. Ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso



IMAGEN N° 33. Ensayo de peso unitario compactado del agregado fino



IMAGEN N° 34. Ensayo análisis granulométrico del agregado grueso



IMAGEN N° 35. Preparación del agregado grueso para el ensayo de peso específico



IMAGEN N° 36. Preparación del agregado fino para el ensayo de peso específico



IMAGEN N° 37. Ubicación de la cantera



IMAGEN N° 38. Ensayo de abrasión del agregado grueso en la Máquina de los Ángeles



IMAGEN N° 39. Ensayo de contenido de humedad del agregado grueso y fino.



IMAGEN N° 40. Proceso de mezclado de materiales



IMAGEN N° 41. Consistencia seca del concreto ecológico



IMAGEN N° 42. Proceso para el ensayo de revenimiento



IMAGEN N° 43. Ensayo de revenimiento



IMAGEN N° 44. Elaboración de testigos cilíndricos



IMAGEN N° 45. Compactado de la mezcla en la elaboración de testigos cilíndricos.



IMAGEN N° 46. Obteniendo el peso de los testigos cilíndricos

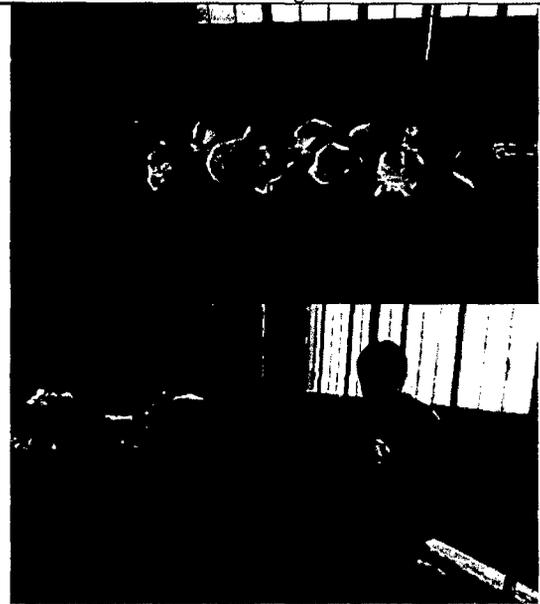


IMAGEN N° 47. Desencofrado de los especímenes cilíndricos.



IMAGEN N° 48. Curado de especímenes cilíndricos y prismáticos del concreto ecológico



IMAGEN N° 49. Medición de especímenes cilíndricos con el uso de vernier.



IMAGEN N° 50. Peso de especímenes cilíndricos en estado endurecido



IMAGEN N° 51. Colocación de especímenes cilíndricos en la maquina Hidráulica de compresión.



IMAGEN N° 52. Ensayo a compresión de especímenes cilíndricos.

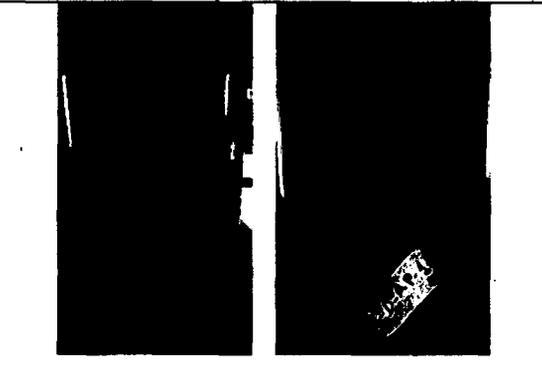


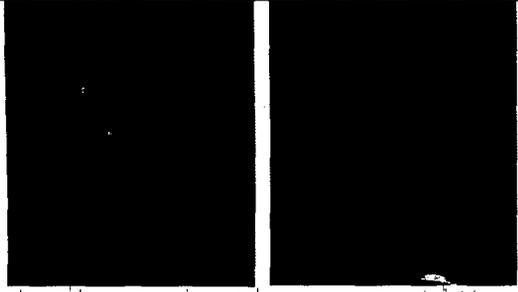
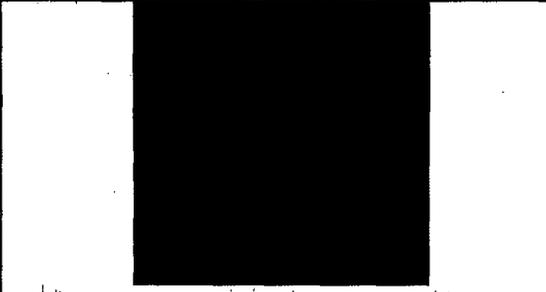
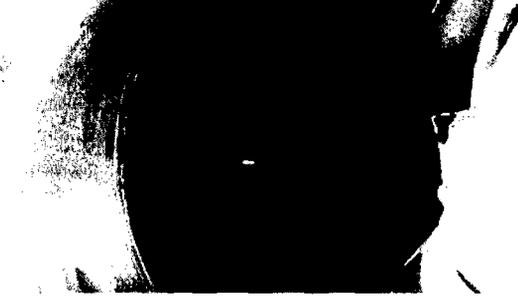
IMAGEN N° 53. Falla típica de especímenes cilíndricos de concreto ecológico.



IMAGEN N° 54. Fractura de especímenes cilíndricos de concreto ecológico



IMAGEN N° 55. Especímenes de concreto ecológico después del ensayo a compresión.

	
<p>IMAGEN N° 56. Fibras de polipropileno, usadas como adición para el concreto ecológico</p>	<p>IMAGEN N° 57. Pesando la cantidad necesaria de las fibras de polipropileno para cada tanda</p>
	
	<p>IMAGEN N° 59. Mezcla de concreto ecológico con adición de fibras de polipropileno.</p>
<p>IMAGEN N° 58. Adición de la fibras de polipropileno a la preparación de tanda</p>	
	<p>IMAGEN N° 61. Dosificación del aditivo polifuncional Sikament 290N utilizado en la mezcla de concreto ecológico.</p>
<p>IMAGEN N° 60. Aditivo polifuncional Sikament 290N utilizado en la mezcla de concreto ecológico</p>	

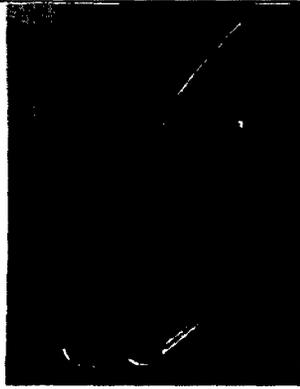


IMAGEN N° 62. Combinado del aditivo polifuncional Sikament 290N con el agua de mezcla utilizado en la mezcla de concreto ecológico



IMAGEN N° 63. Colocación de del aditivo combinada con el agua de mezcla en la preparación de la tanda para la mezcla de concreto ecológico.



IMAGEN N° 64. Elaboración de Vigas prismáticas, para el ensayo a flexión

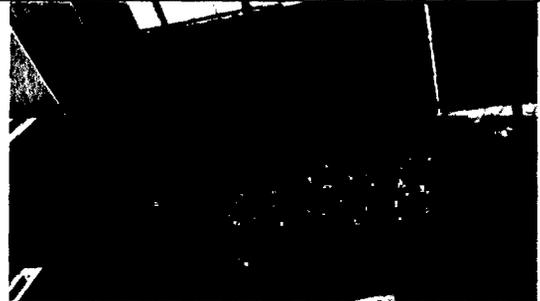


IMAGEN N° 65. Vigas prismáticas, para el ensayo a flexión en proceso de curado.

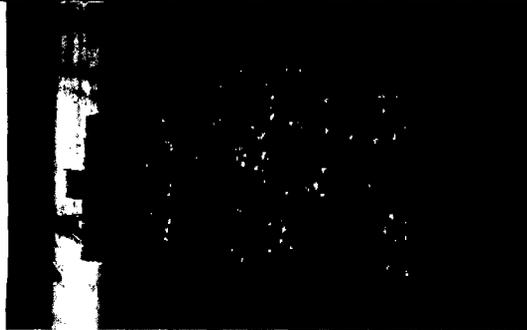


IMAGEN N° 66. Vigas prismáticas, para el ensayo a flexión

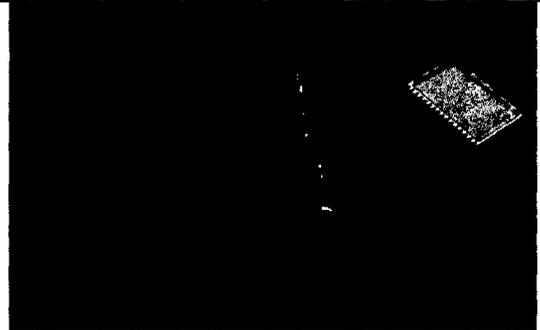


IMAGEN N° 67. Medición de las vigas prismáticas.



IMAGEN N° 68. Colocación de las vigas prismáticas en la maquina universal de ensayos, para el ensayo a flexión

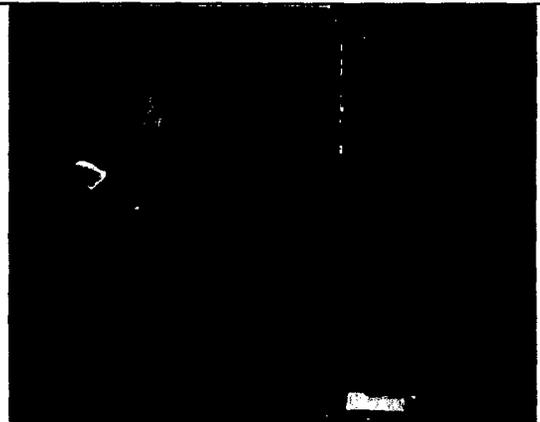


IMAGEN N° 69. Ensayos a flexión de vigas prismáticas



IMAGEN N° 70. Falla típica en la parte central de las vigas prismáticas de concreto ecológico



IMAGEN N° 71. Fractura de viga prismática de concreto ecológico.



IMAGEN N° 72. Verificando la permeabilidad del concreto ecológico en espécimen cilíndrico

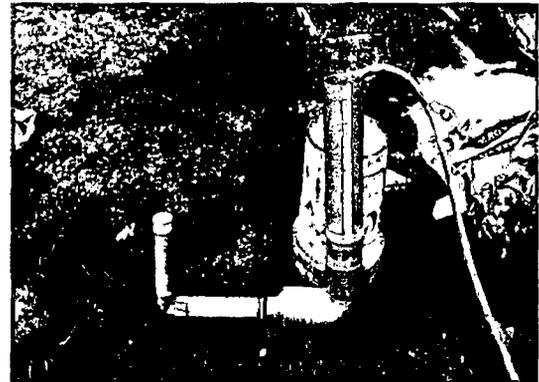
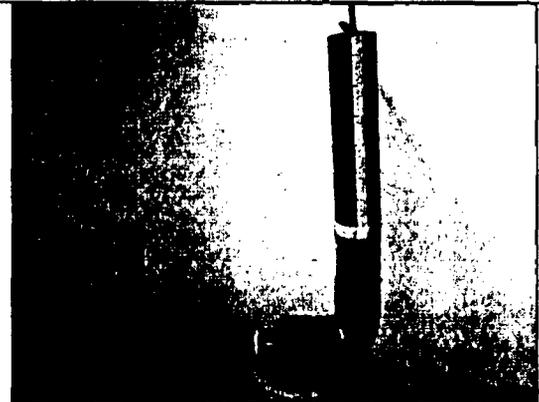


IMAGEN N° 73. Equipo de permeámetro de carga variable para realizar el ensayo de permeabilidad del concreto ecológico.



IMAGEN N° 74. Realizando los especímenes cilíndricos de 10cm x 15cm para el ensayo de permeabilidad

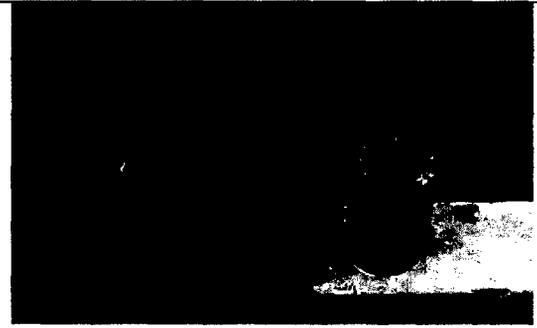


IMAGEN N° 75. Especímenes cilíndricos de 10cm x 15cm para ensayo de permeabilidad



IMAGEN N° 76. Inicio del ensayo de permeabilidad del concreto ecológico con el espécimen cilíndrico

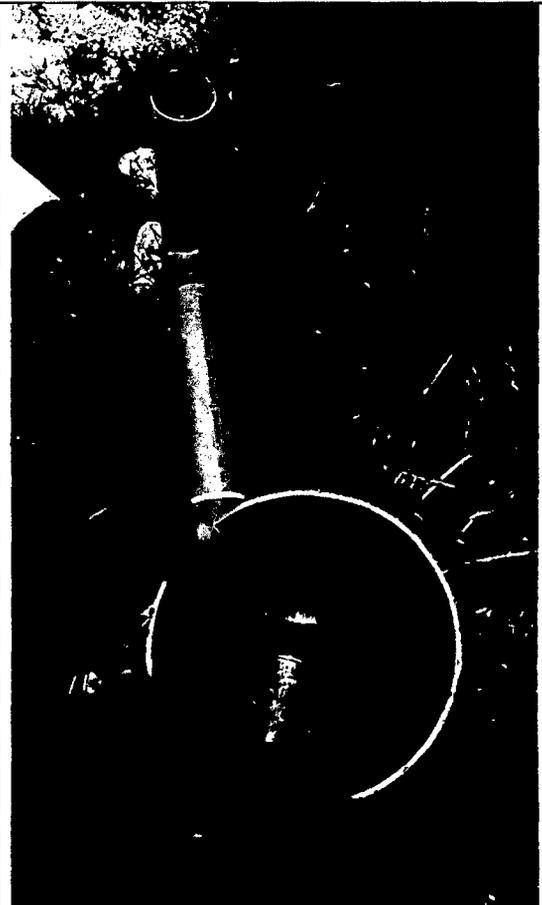


IMAGEN N° 77. Final del ensayo de permeabilidad del concreto ecológico con el espécimen cilíndrico