UNIVERSIDAD
SAN IGNACIO
DE LOYOLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

EVALUACIÓN MECÁNICA E HIDRÁULICA DE UNA LOSA CONCREPM PARA DEMOSTRAR SU FUNCIONALIDAD FRENTE AL CONCRETO CONVENCIONAL Y PERMEABLE

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

RUSSO BENJAMIN YUPANQUI MEDINA

MISAEL ORÉ QUISPE

Asesor:
MSc. Raúl Iván Contreras Fajardo

Lima - Perú
2019

ÍNDICE

Introducción **1**

Problema de investigación 3

Planteamiento del problema. 3

Formulación del problema. 5

Justificación de la investigación. 5

Alcances y limitaciones 6

Marco referencial 7

Antecedentes 7

Marco teórico 11

Objetivos e hipótesis 29

Objetivos. 29

Hipótesis 29

Variables 30

Variables Independientes 30

Variables dependientes 30

Relación de variables independiente y dependiente. 31

Metodología del Trabajo **34**

Tipo de investigación. 34

Diseño de investigación. 34

Diseño con posprueba única y grupo de control 34

Población y muestra 38

Primera etapa: Ensayos preliminares 38

Segunda etapa: Ensayos oficiales 39

Instrumentos de investigación 40

Procedimientos de recolección de datos 41

Generalidades 41

Obtención de data preliminar 41

Obtención de data oficial 54

Recursos y cronograma **79**

Calendario de actividades 79

Recursos 80

Recursos humanos. 80

Recursos materiales. 80

Recursos financieros de los investigadores. 80

Presupuesto 81

Resultados **82**
Estudio Experimental 82
Ensayos De Flexión 82
Ensayos de Compresión 98
Ensayos De Permeabilidad 106
Análisis de Resultados **117**
Análisis de los Resultados 117
Del ensayo de flexión 117
Del ensayo de Compresión 118
Del ensayo de coeficiente de permeabilidad 120
Conclusiones 121
Recomendaciones 122
Propuestas para futuras investigaciones 123
Propuesta de instalación de CONCREPM 125
Referencias **126**
Normativa - Libros: 126
Referencias de investigación: 126
Papers de investigación: 128
Anexos **129**
Anexo 1: Cronograma de mezclado y ensayos de laboratorio 130
Anexo 2: Matriz de operacionalización 130
Anexo 3: Matriz de consistencia 131
Anexo 4: Permeámetro 132
Anexo 5: Control de calidad de agregado fino 133
Anexo 6: Control de calidad de agregado grueso 134
Anexo 7: Diseño de concreto Convencional 135
Anexo 8: Diseño de concreto Permeable 136
Anexo 9: Esquema de ensayo de compresión 139
Anexo 10: Esquema de ensayo a flexión 140
Anexo 11: Propuesta de diseño de subdrenaje (para futuras investigaciones) 141
Anexo 12: Ficha técnica Sika® Fiber Force PP 48 142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resistencia a la compresión vs edad de los diseños tipo I y tipo II. 8
Figura 2. Relación entre contenido de vacíos y resistencia a la compresión. 11
Figura 3. Planteamiento del teorema de Bernoulli para el estudio de flujo. 23
Figura 4. Pérdida de carga generada a lo largo de un conducto cerrado. 23
Figura 5. Esquema de coeficiente de permeabilidad y gradiente hidráulico. 24
Figura 6. Esquema de tasa de flujo en función al índice de vacíos y porosidad del medio. 25
Figura 7. Ensayo de compresión simple en el concreto. 26
Figura 8. Equipo para determinar la resistencia a flexión del concreto. 28
Figura 9. Esquema de causa -Efecto 31
Figura 10. Relación de variables independiente y dependiente. 31
Figura 11. Relación de variables independiente y dependiente, definido como grupo experimental 1. 32
Figura 12. Relación de variables independiente y dependiente, definido como grupo experimental 2. 32
Figura 13. Simbología de parámetros. 35
Figura 14. Diagrama de diseño experimental 35
Figura 15. Diagrama de diseño experimental para medición de resistencia a compresión 36
Figura 16. Diagrama de diseño experimental para medición de resistencia a flexión. 36
Figura 17. Diagrama de diseño experimental para medición de coeficiente de permeabilidad 37
Figura 18. Esquema de ruta crítica para experimento CONCREPM 38
Figura 19. Sistema para entubado de encofrados 44
Figura 20. Esfuerzo generado por carga vehicular 45
Figura 21. Distribución y separación de drenes para el modelo Tipo A (Drenes de 5/8" espaciados 100mm) 45
Figura 22. Distribución y separación de drenes para el modelo Tipo B (Drenes de 5/8" espaciados 50mm) 46
Figura 23. Distribución y separación de drenes para el modelo Tipo C (Drenes de 5/8" espaciados 25mm) 46
Figura 24. Relación de resistencia a la compresión entre los modelos A1, A2, B1 B2 y el parámetro de diseño 47
Figura 25. Determinación del espaciamiento óptimo entre drenes verticales (32mm a un MR de 28 Kg/cm2) 49
Figura 26. Fabricación de encofrado para especímenes prismáticos 50
Figura 27. Encofrado para espécimen prismático CONCREPM 50
Figura 28. Moldes prismáticos para CONCREPM con desmoldante CHEMALAC 51
Figura 29. Verificación del asentamiento mediante el ensayo del Cono de Abrams 51
Figura 30. Colocación y compactación de mezcla de concreto 52
Figura 31. Vaciado de especímenes prismáticos y cilíndricos 52
Figura 32. Desmoldado de especímenes prismáticos y preparación para curado 53
Figura 33. Rotura de especímenes prismáticos preliminares- falla al tercio central 53
Figura 34. Rotura de especímenes cilíndricos para verificar la resistencia de diseño - Falla tipo Cono 54
Figura 35. Plano de ensamble para el molde prismático. 58
Figura 36. Tiempo estimado de control de calidad y elaboración de especímenes. 59
Figura 37. Medición correcta de temperatura. 60
Figura 38. Medición de asentamiento con el cono Abrams 61
Figura 39. Consideraciones para la ejecución del ensayo de Slump 62
Figura 40. Medición de peso unitario del concreto. 63
Figura 41. Medición de contenido volumétrico. 64
Figura 42. Elaboración y cura de muestra de concreto 65
Figura 43. Disposición de compactación de especímenes cilíndricos 65
Figura 44. Disposición de compactación de especímenes prismáticos 66
Figura 45. Influencia de la relación A/C en la durabilidad del concreto 67
Figura 46. Ensayo de compresión de especímenes cilíndricos 68
Figura 47. Prensa para ensayo de resistencia a la compresión y flexión 69
Figura 48. Colocación apropiada de los especímenes para el ensayo de compresión 70
Figura 49. tipo de falla de especímenes 70
Figura 50. prensa para ensayo de resistencia a la compresión y flexión 71

Figura 51. Falla al tercio medio 74
Figura 52. Falla fuera del tercio medio <5% de variación 74
Figura 53. Falla fuera del tercio medio >5% de variación 74
Figura 54. Especímenes prismáticos de modelos CONCREPM y concreto convencional apoyado sobre rodillos para el ensayo de flexión. 84
Figura 55. Distribución de agujero de 5/8" y dimensiones 84
Figura 56. Armado de especímenes prismáticos 84
Figura 57. instalación de tubos de 5/8" 85
Figura 58. Limpieza de moldes para especímenes 87
*Figura 59. D*osificación de materiales 87
Figura 60. Preparación del concreto 88
Figura 61. Verificación de Slump 88
*Figura 62. C*ontrol de vacíos 89
*Figura 63. C*ontrol de temperatura 89
Figura 64. Control de peso específico de concreto 90
Figura 65. Colocación de concreto 90
Figura 66. Acabado de la superficie 91
Figura 67. Desencofrado de especímenes prismáticos 91
Figura 68 . Proceso de curado 92
*Figura 69 . D*emarcación de los tercios de falla y posición de ensayo 92
*Figura 70 . E*nsayo de espécimen prismático y falla del tercio interior 93
Figura 71 . Posición de carga en especímenes prismáticos 94
Figura 72 . Pantalla digital para reportar resultado de ensayo 95
Figura 73 . disposición de aplicación de cargas y apoyo 96
Figura 74 . Falla al tercio medio de la luz libre del espécimen prismático 96
Figura 75 . Módulo de rotura de espécimen prismático de los tres tipos de concreto 98
Figura 76. Especímenes para el ensayo de compresión 99
Figura 77. especímenes cilíndricos para concreto CONCREPM 101
Figura 78. Curado de especímenes cilíndricos para el concreto CONCREPM y concreto convencional 101
Figura 79. Ensayo de compresión de espécimen cilíndrico 102
Figura 80. Pantalla digital para reportar resultado de ensayo 103
Figura 81. Disposición del sistema de medición para el ensayo de compresión 104
Figura 82. ensayo de compresión en especímenes cilíndricos cilíndricas 104
Figura 83. Resistencia a la compresión de los tres tipos de concreto. 106
Figura 84. Especímenes de concreto para ser ensayados a permeabilidad 107
Figura 85. Ensayo de permeabilidad para los tres tipos de concreto 110
Figura 86. Disposición de los equipos para ensayos de permeabilidad 111
Figura 87. Ubicación de espécimen y dirección de flujo 113
Figura 88. Caída de presión para diferentes tiempos 114
Figura 89. Coeficiente de permeabilidad en m/s de 25 ensayos de CONCREPM 115
Figura 90. Coeficientes de permeabilidad de los diferentes tipos de concreto ensayados y desarrollados en diferentes investigaciones 116
Figura 91. Resistencia a la flexión de especímenes prismáticos. 117
Figura 92. Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos. 118
Figura 93. Coeficiente de permeabilidad del concreto CONCREPM frente a otros tipos de concreto permeable 120
Figura 94. Propuesta para configuración de losa CONCREPM (Modelo diagonal) y viga para ensayo de flexión 124
Figura 95. Propuesta para configuración de losa CONCREPM (Modelo espiral) y viga para ensayo de flexión 124
Figura 96. Sistema de subdrenaje con el concreto CONCREPM 125
Figura 97. Detalle de junta de aislamiento entre concreto. 125
Figura 98. Diseño del permeámetro de carga constante 132
Figura 99. Ensayo de control de calidad del agregado fino 133

FIGURA 100. ENSAYO DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGREGADO GRUESO 134

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE CONCRETO TIPO, ICO, V Y MS. 9
TABLA 2. CONFIGURACIÓN DE ESPECÍMENES PRISMÁTICOS PARA ENSAYOS PRELIMINARES 39
TABLA 3. CONFIGURACIÓN DE ESPECÍMENES Y ENSAYOS OFICIALES 39
TABLA 4. RESUMEN DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES 41
TABLA 5. DISTRIBUCIÓN DE DRENES DURANTE LA ETAPA PRELIMINAR (TIPO A, TIPO B Y TIPO C) 42
TABLA 6 CANTIDAD REQUERIDA DE CONCRETO PARA ESPECÍMENES CILÍNDRICOS (M3) 43
TABLA 7 CANTIDAD REQUERIDA DE CONCRETO PARA ESPECÍMENES PRISMÁTICOS (M3) 43
TABLA 8 REQUERIMIENTO DE MATERIALES PARA ESPECÍMENES CILÍNDRICOS (KG) 43
TABLA 9 REQUERIMIENTO DE MATERIALES PARA ESPECÍMENES PRISMÁTICOS (KG) 43
TABLA 10 ESFUERZO DE COMPRESIÓN TEÓRICO PARA 7, 14 Y 28 DÍAS 47
TABLA 11 ESFUERZO DE COMPRESIÓN REAL ENSAYADO A LOS 14 DÍAS Y PROYECTADO A LOS 7 Y 28 DÍAS 47
TABLA 12 RESISTENCIA A FLEXIÓN EN LOS ESPECÍMENES PRISMÁTICOS DE TIPO A, B Y C 48
TABLA 13 VARIABLES PARA DETERMINAR LA DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA 49
TABLA 14 CRITERIO DE ACEPTACIÓN DE TEMPERATURA. 60
TABLA 15 TOLERANCIA DE TIEMPO PERMISIBLE PARA CADA TIEMPO DE ENSAYO 68
TABLA 16 DIMENSIÓN DE ESPÉCIMEN PRISMÁTICO Y ESFUERZO A LA CARA DE TENSIÓN. 73
TABLA 17 VELOCIDAD DE CARGA EN ESPECÍMENES PRISMÁTICOS. 73
TABLA 18 PRIMER DÍA DE DISEÑO DE MEZCLA, CONCRETO CONCREPM Y CONVENCIONAL 76
TABLA 19 SEGUNDO DÍA DE DISEÑO DE MEZCLA, CONCRETO CONCREPM Y PERMEABLE 76
TABLA 20 TERCER DÍA DE DISEÑO DE MEZCLA, CONCRETO PERMEABLE Y CONVENCIONAL 77
TABLA 21 CONTROL DE CONCRETO FRESCO 78
TABLA 22 CONTROL DE CONCRETO ENDURECIDO EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS 78
TABLA 23 CONTROL DE CONCRETO ENDURECIDO EN ESPECÍMENES PRISMÁTICOS 79
TABLA 24 CALENDARIO DE ACTIVIDADES. 79
TABLA 25 PRESUPUESTO DE MATERIALES PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO. 81
TABLA 26 PRESUPUESTO DE PERSONAL, ADMINISTRATIVO Y OTROS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO 81
TABLA 27 CARACTERÍSTICAS DEL ESPÉCIMEN PRISMÁTICO SIMPLEMENTE APOYADA 85
TABLA 28 CARACTERÍSTICAS DEL ESPÉCIMEN PRISMÁTICO SIMPLEMENTE APOYADA 86
TABLA 29 RESULTADO DE ENSAYOS DE FLEXIÓN DE ESPECÍMENES PRISMÁTICOS PARA LOS TRES TIPOS DE CONCRETO SIN FIBRA DE POLIPROPILENO. 97
TABLA 30 RESULTADO DE ENSAYOS DE FLEXIÓN DE ESPECÍMENES PRISMÁTICOS PARA LOS TRES TIPOS DE CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO. 97
TABLA 31 CARACTERÍSTICAS DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS SIN FIBRA 100
TABLA 32 CARACTERÍSTICAS DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS CON FIBRA 100
TABLA 33 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES SIN FIBRA 105
TABLA 34 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON FIBRA 105
TABLA 35 DIMENSIONES DE LOS ESPECÍMENES PARA ENSAYO DE PERMEABILIDAD 108
TABLA 36 REGISTRO DE CAÍDA DE PRESIÓN PARA ESPECÍMENES CONCREPM 112
TABLA 37 COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DEL CONCRETO CONCREPM 114
TABLA 38 RESUMEN DE LOS DIFERENTES COEFICIENTES DE PERMEABILIDAD EXISTENTE EN DIFERENTES LUGARES, COMPARADOS CON EL CONCRETO CONCREPM PLANTEADO 115
TABLA 39 CRONOGRAMA DE MEZCLADO Y ENSAYOS. 130
TABLA 40 MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN. 130
TABLA 41 MATRIZ DE CONSISTENCIA 131

GLOSARIO

CONCREPM: Concreto Permeable Mixto

MR: Modulo de rotura del concreto

K: Coeficiente de permeabilidad

F'c: Resistencia a la compresión del concreto

P-M: Probeta de Concreto CONCREPM sin fibra

P-C: Probeta de Concreto Convencional sin fibra

P-P: Probeta de Concreto Permeable sin fibra

P-MF: Probeta de Concreto CONCREPM con fibra

P-CF: Probeta de Concreto Convencional con fibra

P-PF: Probeta de Concreto Permeable con fibra

V-M: Viga de Concreto CONCREPM sin fibra

V-C: Viga de Concreto Convencional sin fibra

V-P: Viga de Concreto Permeable sin fibra

V-MF: Viga de Concreto CONCREPM con fibra

V-CF: Viga de Concreto Convencional con fibra

V-PF: Viga de Concreto Permeable con fibra

a/c: Relación agua/cemento

DEDICATORIA

A nuestras familias por brindarnos
la confianza y apoyo
incondicional.

A la USIL por ser nuestro segundo
hogar y porque encontramos
ahí valiosos compañeros y una
segunda familia.

A los miembros del ACI-USIL
por el apoyo e interés
que nos brindaron.

A Dios por estar presente
en nuestras vidas
y guiar nuestro camino.

AGRADECIMIENTO

Al área investigación de la Universidad San Ignacio De Loyola y su programa "*Fondos concursables para la investigación*" a cargo de la Ing. Lourdes tapia Núñez, que nos brindaron un financiamiento para la adquisición de materiales y los ensayos de laboratorio, así como por el soporte continuo durante el desarrollo de la investigación.

A nuestro asesor, el Ing. Raúl contreras Fajardo, por sus consejos, por sus recomendaciones y paciencia en la elaboración de esta investigación. Un especial agradecimiento a la facultad de ingeniería civil y al laboratorio de estudios avanzados de Ingeniería Civil LEACIV a cargo de la directora Paula Rojas Julián, por brindarnos las facilidades para el desarrollo de los ensayos de laboratorio.

A nuestros familiares por su apoyo permanente durante la elaboración de la tesis. A todos aquellos que nos impulsaron a continuar y finalizar, aquellos compañeros, amigos que conocimos antes y durante el proceso de ejecución de la tesis. A todos: muchísimas gracias.

RESUMEN

Esta investigación nace principalmente por la necesidad de conocer los parámetros de resistencia a compresión, flexión y coeficiente de permeabilidad de un nuevo modelo de concreto para pavimentos denominado CONCREPM (Concreto Permeable Mixto). Para comparar su performance frente al concreto convencional y al concreto permeable. Puesto que estos parámetros describen de manera directa al concreto para pavimentos, se han estudiado los aspectos generales del concreto CONCREPM; tales como la definición del espaciamiento óptimo, la distribución critica de los drenes verticales, los parámetros mínimos de los elementos que lo conforman (agregados fino y grueso) y el proceso de elaboración y validación de ensayos. Además, se realizó la aplicación de los criterios de la normativa peruana e internacional, los cuales fueron fundamentos para el desarrollo del estudio experimental y el análisis de resultados, algunos de los cuales tuvieron que adaptarse de experiencias realizadas en otras investigaciones nacionales e internacionales.

Se han estudiado tres tipos de concreto: Concreto Convencional, Concreto Permeable Mixto (CONCREPM) y Concreto Permeable (Denominación del concreto permeable para esta investigación). Empleándose para el concreto convencional y CONCREPM los mismos parámetros de diseño, mientras que para el concreto permeable se consideró un porcentaje de vacíos similares al del concreto CONCREPM.

Se realizaron un total de 36 ensayo de compresión, 36 ensayos de flexión y 26 ensayo de coeficientes de permeabilidad; por lo que ha sido factible entender el comportamiento y características de estos modelos de concretos para pavimentos. Se puede resaltar que, para el porcentaje de vacíos (Un valor evaluado en base a TMN del agregado grueso y la distribución crítica de los drenes verticales) de CONCREPM, Se observó un elevado performance de permeabilidad, pero esto hace que la resistencia de diseño para flexión y compresión se reduzca considerablemente. Sin embargo, se debe resaltar que para porcentajes de vacíos menores que los requeridos para el concreto permeable, COMPREPM presenta coeficientes de permeabilidad superiores. Por lo que es factible reducir los vacíos de CONCREPM para ganar una resistencia requerida para pavimentos. Finalmente se puede decir que este nuevo modelo CONCREPM, abre paso a muchas investigaciones en los diferentes niveles de desarrollo de su tecnología.

Palabras claves: coeficiente de permeabilidad, resistencia a compresión, resistencia a flexión, fibras, drenes, concreto mixto, pavimentos.

ABSTRACT

This research is mainly based on the need to know the parameters such as compressive strength, three-point bending strength and permeability coefficient of a new concrete model for pavements called CONCREPM (Mixed Permeable Concrete). To compare its performance against conventional concrete and porous concrete. Since these parameters describe concrete for pavements directly, the general aspects of CONCREPM concrete has been studied; such as the definition of optimal spacing, the critical distribution of vertical drains, the minimum parameters of the elements that comprise it (fine and coarse aggregates) and the process of preparation and validation of tests. In addition, the application of the criteria of the Peruvian and international regulations was made, which were fundamental for the development of the experimental study and the analysis of results, some of which ones had to be adapted from experiences carried out in other national and international investigations.

Three types of concrete have been studied: Conventional Concrete, Mixed Permeable Concrete (CONCREPM) and Porous Concrete (Name of permeable concrete for this investigation). The same design parameters were used for conventional concrete and CONCREPM, while a percentage of voids were like concrete CONCREPM was considered for porous concrete. A total of 36 compression tests, 36 three-point bending tests and 26 infiltration coefficients test were carried out. So, it has been feasible to understand the behavior and characteristics of these concrete models for pavements. It can be highlighted that, for the percentage of voids (A value evaluated based on TMN of the coarse aggregate and the critical distribution of the vertical drains) of CONCREPM, a high permeability performance was observed, but this makes the design resistance for Flexion and compression is reduced considerably. However, it should be noted that for percentages of voids are much lower than those required for porous concrete, COMPREPM has higher permeability coefficients. Therefore, it is feasible to reduce CONCREPM voids to gain a required resistance for pavements. Finally, it can be said that this new CONCREPM model opens a lot of research at different levels of technology development.

Keywords: coefficient of permeability, compressive strength, flexural strength, fibers, drains, mixed concrete, pavements.

EVALUACIÓN MECÁNICA E HIDRÁULICA DE UNA LOSA CONCREPM PARA DEMOSTRAR SU FUNCIONALIDAD FRENTE AL CONCRETO CONVENCIONAL Y PERMEABLE

Introducción

La presente investigación presenta y valida la funcionalidad de losas CONCREPM, la cuales representan una nueva alternativa para reducir los efectos del flujo pluvial en zonas urbanas causadas principalmente por la construcción de obras de infraestructura vial reduciendo la permeabilidad del agua en el suelo y provocando un deterioro prematuro de las estructuras viales, generación de escorrentía superficial, contaminación e inundaciones en las zonas de topografía baja.

Al respecto, Benites (2014) expresa que muchos países como EUA, México, Inglaterra, Francia, Japón entre otros han optado por medidas correctivas para evitar el aumento de la escorrentía superficial mediante la tecnología del concreto permeable aplicado en pavimentos, veredas, calles peatonales y parqueos, es decir en zonas con reducida carga de tráfico. Se consiguió buenos resultados ya que el agua pluvial no solo puede infiltrarse en el suelo natural, sino que mediante tuberías y geomembranas puede ser conducida a depósitos temporales donde puedan ser tratadas adecuadamente para luego ser vertidas a los cauces naturales o reutilizarlas con fines de regadíos de áreas verdes urbanas, uso industrial, etc. y de esta forma reducir el impacto ambiental (Benites, 2014, p.1.) De forma similar, en el Perú se viene adoptando la tecnología del concreto permeable de manera relativamente lenta, por ejemplo, el manual de carreteras, EG (2013) recomienda en el capítulo 4-sección 403.A, el uso del concreto permeable solamente como base que sirva de apoyo para el concreto convencional y elemento drenante.

Por otro lado, se ha podido observar que el concreto permeable como solución presenta múltiples limitaciones. Por ejemplo, tiene reducida durabilidad frente al concreto convencional y alta susceptibilidad al desgaste, uso limitado para tránsito pesado, su producción y colocación involucra equipos, técnicas y cuidado especial, mayor tiempo de curado, entre otros. Sin embargo, es ampliamente reconocido que sus características hidráulicas brindan grandes ventajas funcionales y medioambientales como el manejo efectivo de los escurrimientos de aguas de lluvia con reducción de alcantarillas y cunetas, reducción de la contaminación en cuerpos de agua, recarga de mantos acuíferos, aprovechamiento de terrenos adyacentes a las vías, reducción de islas de calor, eliminación de estancamiento de agua y crédito de obras LEED. (Tennis et al., 2004)

Por lo mencionado, en la presente investigación se busca mitigar dichas limitaciones mediante un nuevo modelo de concreto permeable al cual denominaremos concreto permeable mixto (CONCREPM). Este nuevo modelo conserva las propiedades mecánicas del concreto convencional y las propiedades hidráulicas del concreto permeable, además cuenta con la tecnología de los prefabricados, las losas cortas y la

incorporación de fibras para optimizar diversas etapas de la construcción y funcionamiento, con CONCREPM se busca brindar una nueva alternativa de una manera simplificada y altamente versátil, manteniendo las ventajas de los modelos existentes para lograr la generación de un producto sostenible.

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo y comparativo para generar un primer alcance numérico y una base de datos para el nuevo modelo planteado, esta información obtenida será útil para estudios más avanzados y con condiciones específicas. Los datos se obtuvieron mediante los ensayos de compresión en especímenes cilíndricos, flexión en especímenes prismáticos e índice de permeabilidad; parámetros de control que se encuentran en el lineamiento de las especificaciones de calidad y requerimientos técnicos de construcción.

Se pretende demostrar que el comportamiento mecánico del concreto CONCREPM es similar al concreto convencional y superior al del concreto permeable, además el concreto CONCREPM presenta un adecuado comportamiento hidráulico. En adición, el objetivo de la presente investigación fue evaluar las propiedades mecánicas e hidráulicas de un nuevo modelo denominado CONCREPM para demostrar su funcionalidad frente al concreto hidráulico convencional y al concreto permeable.

Mediante la presente investigación se brinda una solución simplificada a la problemática de impermeabilización de suelos que se vive en varias ciudades del país. Además de marcar el hito inicial para una nueva tecnología del concreto, demostrando que cuenta con alto potencial y versatilidad. Se pretende que en un futuro cercano CONCREPM sea estudiado a profundidad y que represente una fuerte alternativa para pavimentos como lo son actualmente el concreto convencional como a la tecnología del concreto permeable para pavimentación.

El estudio se realizó con revisión y aplicación de la literatura existente y principalmente trabajos en laboratorio. Cabe mencionar que se acotó de manera superficial una nueva metodología para la elaboración de los especímenes de CONCREPM ya que no existe especificación o antecedente del mismo, y para hallar su coeficiente de permeabilidad se utilizó la metodología utilizada para el concreto permeable. Al concluir el proceso, se presentó un prototipo piloto de CONCREPM.

La presente investigación se divide en cinco capítulos. En el capítulo 1 se presenta la problemática y los hechos que se viven actualmente en el Perú, también se establece el estado del arte y el área de intervención del CONCREPM. En el capítulo 2 se describe la metodología, instrumentos y variables de investigación para el desarrollo del concreto CONCREPM. El capítulo 3 comprende información adicional como: los recursos utilizados,

costos asociados al estudio y calendario de actividades. En el capítulo 4 se presentan los resultados, análisis, contrastación de hipótesis y discusión. En el capítulo 5 se realiza la discusión de los resultados, conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones. Por último, En la parte final del presente informe, se exponen algunas conclusiones y recomendaciones acerca de este primer estudio con el CONCREPM. Se espera la utilidad para futuras investigaciones y aporte en el desarrollo sostenible de la sociedad.

Problema de investigación

Planteamiento del problema.

A nivel Mundial, el cambio climático ha generado problemas de inundaciones en zonas urbanas a causa de la impermeabilización de los suelos debido a la infraestructura vial, causando escorrentías superficiales que perjudican a los peatones, viviendas y transportistas. Perales & Andrés (2008) en España, realizaron un estudio de sistemas urbanos de drenaje sostenibles, donde identifica, que los sistemas de drenajes sostenibles en el tiempo pueden mitigar los efectos adversos que la escorrentía urbana provoca al medio ambiente y los beneficios obtenidos son la reducción de los caudales para disminuir riesgos de inundaciones, aumentar la calidad de agua de escorrentía y restituir flujos subterráneos hacia los cursos naturales mediante infiltración.

En los primeros meses del año 2017, el Perú presenció la llegada periódica del El Niño Costero. Según el ENFEN (2017) se registró lluvias frecuentes e intensas entre los meses de febrero y marzo, llegando a registrarse en la estación meteorológica Partidor (Tambo grande, Piura) una precipitación de 258.5mm/24horas en la primera semana de marzo, calificado como precipitación extrema. Lo cual genero una serie de inundaciones en las zonas norte y similarmente en los departamentos centrales del Perú, donde se pudo observar que muchas ciudades del país y sus habitantes son propensas a sufrir pérdidas o daños materiales debido a estos fenómenos naturales. En general, estas ciudades no cuentan con un control eficiente de agua pluvial que fluye sobre las calles, en temporadas de lluvias el sistema de drenaje superficial es deficiente causando inundaciones, produciendo pérdidas económicas, malestar emocional y generando focos infecciosos.

El concreto hidráulico convencional es ampliamente utilizado para pavimentación debido a que presenta alto grado de desempeño mecánico y durabilidad, no obstante, tiene coeficientes de permeabilidad muy bajos con

características impermeables para la carpeta de rodadura de un pavimento, no solamente incrementa la posibilidad de ocurrencia de inundaciones, sino que incrementa la probabilidad de ocurrencia de accidentes vehiculares. Debido a ello surgió como una alternativa el empleo de concretos permeables con la finalidad de mejorar las características de drenaje; a pesar de presentar buenas características drenantes, presentan limitaciones en otras propiedades, como la baja resistencia frente a altos niveles de tráfico, tiempo de vida reducido y vulnerabilidad frente a factores climáticos. Por ello, su aplicación se redujo solamente para una estructura de concreto como capa de rodadura en tráfico ligero o liviano, implementándose en estacionamientos, ciclo vías, andenes peatonales, entre otras." (Castañeda & Moujir, 2014, p. 85).

Entre las múltiples causas que pueden estar originando este problema, se detectó el incremento de la impermeabilización de los suelos debido al crecimiento de las zonas urbanas pavimentadas con diversas consecuencias entre ellos las inundaciones, pérdida económica, malestar emocional para peatones, para transportistas y la generación de focos infecciosos. Es necesario generar las bases de una estructura para pavimentos que incluya un sistema interno de drenaje pluvial; mejorando las características de permeabilidad partiendo con la implementación de una carpeta de rodadura de CONCREPM, que cuente con una adecuada resistencia mecánica y permeabilidad.

Teniendo en cuenta el problema planteado y la situación actual de los pavimentos rígidos en el Perú, se propone una nueva alternativa mediante un modelo de pavimento rígido que capta las ventajas del concreto convencional y el concreto permeable. Este nuevo modelo denominado concreto permeable mixto (CONCREPM) no presenta antecedentes directamente relacionados, por ello para demostrar su funcionalidad frente a los concretos convencional y permeable, en base a los cuales fue ideado, se ejecutaron evaluaciones físicas y mecánicas para generar el primer antecedente de este nuevo modelo, el cual tiene mucho potencial y puede ser muy versátil. En funcionamiento, se espera que presente alta resistencia a la carga vehicular, que sea duradero y además tenga la propiedad de drenar el agua pluvial a través de un sistema de secciones tubulares, el cual para el presente estudio contó con una distribución crítica para un diámetro de sección determinado por el tamaño máximo de los agregados a utilizar. Además, para mejorar el modelo propuesto se incorporaron los conceptos de losas cortas, prefabricados y la adición de fibras PET al diseño.

Formulación del problema.

En diversos países se viene utilizando la tecnología del concreto permeable para mitigar los problemas generados por las lluvias, además en los últimos años dicha tecnología se aplica también en el Perú, pero presentando algunas limitaciones; entre las más importantes, su baja resistencia ante el tráfico pesado, su baja durabilidad y su vulnerabilidad frente a factores climáticos. Por otro lado, el concreto convencional para pavimentos, no representa una solución al problema en mención, pero sus propiedades mecánicas y de durabilidad la hacen una alternativa altamente eficiente para pavimentación.

Problema General.

Las consideraciones expuestas nos llevan a plantear las siguientes interrogantes:

¿Qué relación existe entre las propiedades mecánicas e hidráulicas de una losa de CONCREPM frente al concreto hidráulico convencional y el concreto permeable en zonas pavimentadas que presentan inundaciones?

Problemas específicos.

a) ¿Qué relación existe entre las propiedades mecánicas de una losa de CONCREPM frente al concreto hidráulico convencional en zonas pavimentadas que presentan inundaciones?

b) ¿Qué relación existe entre las propiedades hidráulicas de una losa de CONCREPM frente al concreto permeable en zonas pavimentadas que presentan inundaciones?

Justificación de la investigación.

Mediante la presente investigación se pretende marcar el hito inicial de una nueva alternativa para solucionar la problemática, previamente presentada, que se vive en diversas ciudades del país. Se pretende que en un futuro cercano CONCREPM planteado sea estudiado a profundidad e incorporado como una alternativa en la ejecución de pavimentos con la finalidad de reducir los efectos del flujo pluvial no controlado. Sus efectos positivos, en adición a las propiedades mecánicas del concreto convencional, serán muy similares a los brindados por el concreto permeable, por ejemplo, mitigación del efecto de hidro-planeo y salpicadura, manteniendo la fricción entre el pavimento y los neumáticos del vehículo reduciendo

el riesgo de accidentes de tránsito, atenuará las inundaciones que claramente generan peligro y malestar entre los usuarios, simplificará los sistemas de drenaje reduciendo costos y protegerá el equilibrio del ecosistema.

En este estudio se ha elaborado una metodología para la preparación del encofrado utilizado para elaborar los especímenes ensayados y se utilizaron los estándares establecidos para el concreto convencional y el concreto permeable para la evaluación mecánica y física. Se obtuvieron parámetros como la resistencia a la flexión en especímenes prismáticos, resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos y coeficiente de permeabilidad. Esta información sirvió para comparar y verificar la funcionalidad del nuevo prototipo con respecto a los otros dos modelos existentes. Consecuentemente, se definió un modelo base de CONCREPM.

La industrialización de los productos genera mayor rentabilidad, por ello CONCREPM con la tecnología de los prefabricados y otras teorías incluidas, permite la posibilidad de generar un proceso de fabricación masiva en planta, para posteriormente colocarla rápida y eficientemente en la zona a pavimentar. Los beneficiarios directos de la implementación de este nuevo modelo son los usuarios, tanto peatones como conductores en las ciudades donde existen problemas de escorrentía superficial e inundaciones, debido a las frecuentes precipitaciones. Además, de manera indirecta se contribuirá con la conservación del medio ambiente, preservando el ciclo natural del agua y regenerando los acuíferos del subsuelo.

Alcances y limitaciones

Teniendo en consideración el concepto de TRL (Technology Readiness Levels), el alcance de la presente investigación se encuentra clasificado con el nivel de madurez de la tecnología TRL-4, el cual conceptualmente implica el desarrollo del prototipo a pequeña escala con la validación de sus componentes en un entorno de laboratorio (US Department of energy, 2012). Temporalmente se inició con la idea en el año 2017 y la ejecución de la investigación se dio durante los años 2018 y 2019.

El alcance de la presente tesis es desarrollar un prototipo CONCREPM evaluando las características de resistencia mecánica y propiedades de permeabilidad frente al concreto hidráulico convencional.

Las limitaciones que se presentaron para esta investigación fueron diversas, entre ellas cabe mencionar; las condiciones climáticas que afectaron a los agregados (finos y gruesos) con el incremento o reducción de humedad y adiciones de partículas de polvo; puesto que estos estaban almacenados a la intemperie e hicieron que el diseño de mezcla se someta a algunos reajustes, la capacidad de volumen de mezcla del "trompo" puesto que solo nos permitía realizar 3 especímenes prismáticos y 3 especímenes cilíndricos por tanta de mezcla, la disponibilidad de equipos específicos para cada tipo de ensayos (especímenes prismáticos y especímenes cilíndricos), puesto que para cada tipo de ensayo se tuvo que realizar el montaje y desmontaje para la adecuación de cada tipo de ensayo y finalmente, las limitaciones de manipulación de los especímenes prismáticos (especímenes prismáticos) puesto que su peso estuvo entre los 23kg a 25kg.

Marco referencial

Antecedentes

Antecedentes Internacionales

Moujir & Castañeda sustentaron la tesis "diseño y aplicación de concreto permeable para pavimentos" cuyo objetivo fue "Diseñar un concreto permeable aplicado a estructuras de pavimento rígido, comparando la inclusión o no de agregados finos a la mezcla" (2014, p. 14). El estudio fue realizado para dos tipos de mezclas: tipo I con finos y tipo II sin finos, ambos con un porcentaje de vacíos del 20%. De esta investigación se destaca que el contenido de agregado fino en la mezcla influye de una manera determinante en la resistencia a compresión del concreto, lo cual representa una característica desfavorable para el concreto permeable y es resuelto por el concreto CONCREPM. Como se mencionó previamente, el diseño del concreto CONCREPM tiene la proporción adecuada de agregados finos y grueso que ayudan al buen desempeño en pavimentos. Los resultados del experimento se muestran en la *Figura 1*.

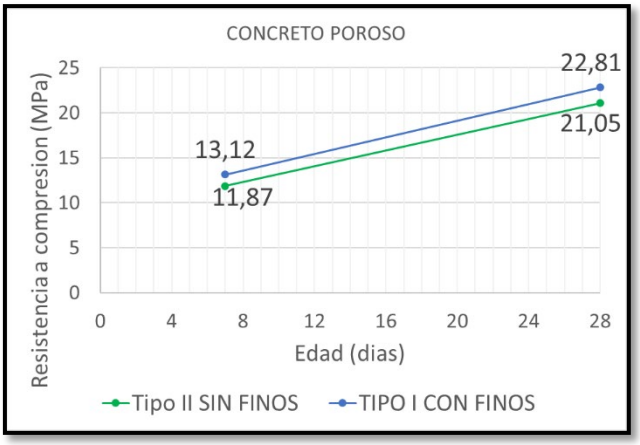


Figura 1. Resistencia a la compresión vs edad de los diseños tipo I y tipo II.
Fuente: Moujir & Castañeda. (2014). *Diseño y aplicación de concreto permeable para pavimentos*

En la tesis sustentada por Flores & Prieto "Caracterización del concreto permeable, usando el módulo de rotura y el porcentaje de desgaste", se desarrolló "la caracterización del concreto permeable considerando los requerimientos de los métodos de diseño de espesores de pavimentos más usados a nivel mundial, el del American Association of State Highways and Transportation officials (AASHTO) y Portland Cement Association (PCA)", donde la variable de diseño principal es el módulo de rotura. Teniendo en consideración el factor de módulo de rotura, el autor caracteriza las muestras de concreto permeable usando el módulo de rotura (Flores & Prieto, 2010).

Dentro de sus objetivos, consideró el parámetro de la obtención de módulo de rotura en donde se obtuvieron resultados en el rango de 0.54 y 2.69 MPa (5.4 a 26.9kg/cm2) (Flores & Prieto, 2010).

Salgado (2014, Argentina) presentó las "Conclusiones de los pavimentos de losas cortas construidos en Latinoamérica" en el PRE-XVII congreso argentino de vialidad y tránsito, donde realiza una comparativa entre los esfuerzos máximos que sufre una losa convencional, para diferentes dimensiones y comprueba que los esfuerzos máximos de tensión se reducen considerablemente a medida que la losa reduce sus dimensiones. Además, empleando las losas cortas se podría reducir el espesor de la losa, ya que esta sufre menores esfuerzos de tensión. Este estudio plantea que "las reducciones de espesor pueden ir entre un 10% y un 30% dependiendo en cada caso de la configuración de cargas, suelo y

clima que se presente" (p.10). También, se implementó el uso de fibras en las losas cortas con la finalidad de optimizar el diseño (espesor de losa) y controlar la retracción causada por el cambio brusco de temperatura (p.18).

En la investigación realizada por López & Uriarte "Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico", se evaluó el costo-beneficio de este tipo de losa mediante el modelo HDM-4, brindando resultados del análisis técnico-económico para diferentes alternativas de pavimentos en la carretera Nejapa-Izapa (Managua). Demostraron que las losas cortas para pavimento representan un menor costo constructivo y mínimas intervenciones durante su vida útil (2013, Nicaragua).

Antecedentes Nacionales.

En el Perú se desarrollaron diversas investigaciones acerca las losas cortas y adición de fibras en el concreto convencional y otras investigaciones para mejorar la tecnología del concreto permeable

En cuanto a la resistencia de compresión de especímenes cilíndricos Sánchez & Tapia (2015) en su estudio de la evaluación comparativa de tres tipos de concreto (tipo Ico, Tipo V y Tipo MS) validaron sus ensayos a los 28 días, encontraron que la resistencia de los tres tipos de concreto superó a la requerida por el ACI a los 28 días para una determinada relación a/c.

Tabla 1.
Resistencia a la compresión a los 28 días de concreto tipo, Ico, V y MS.

	Fcr (kg/cm2)			
a/c	ACI	Ico	V	MS
0.80	150	156	167	157
0.75	175	190	212	197
0.68	210	214	227	217
0.58	280	299	316	305

Fuente: Sánchez & Tapia (2015). *Relación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edades de 3,7, 14, 28 y 56 días respecto a la resistencia a la compresión de cilindros de concreta edad de 2 días según ACI.*

Respecto a la resistencia a la tracción, Cusquisivan & Sáenz (2016) encontraron que para concreto de f'c de 210kg/cm2 y 280kg/cm2 la resistencia a flexión se incrementa en un 8.35% y 9.5% de resistencia a flexo tracción de los concretos elaborados con el diseño tradicional para 1.2% fibras de acero. De acuerdo con Vélez (2010), quién preparo un concreto permeable de una proporción de 350kg/m3 y con 11% de huecos reales, se obtuvo una permeabilidad de 2,342 mm/s y resistencia de flexo tracción y compresión a los 28 días respectivamente de 30kg/cm2 y 330kg/cm2.

En lo que respecta a la relación de permeabilidad y adición de fibras Flores & Pacompia (2015) en su tesis "Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos f'c =175 kg/cm2 en la ciudad de puno", concluyen que si a un diseño de concreto permeable con resistencia a la compresión de F'c=175kg/cm2 se le incorpora fibras de polipropileno, su resistencia a la compresión se incrementa, sin embargo, las magnitudes de las propiedades como el contenido de vacíos y coeficiente de permeabilidad tienden a reducirse (p. 235).

Los resultados de su estudio se aprecian en la *Figura 2*. En la cual el incremento de contenido de vacíos genera que la resistencia a la compresión disminuya. Para el concreto CONCREPM, el diseño de mezcla fue realizado con la misma metodología que para el concreto convencional y la porosidad fue simulada mediante drenes verticales de sección tubular, de esta forma la adición de fibras u otro elemento que mejore la performance mecánica del concreto no afecta al contenido de vacíos o índice de permeabilidad.

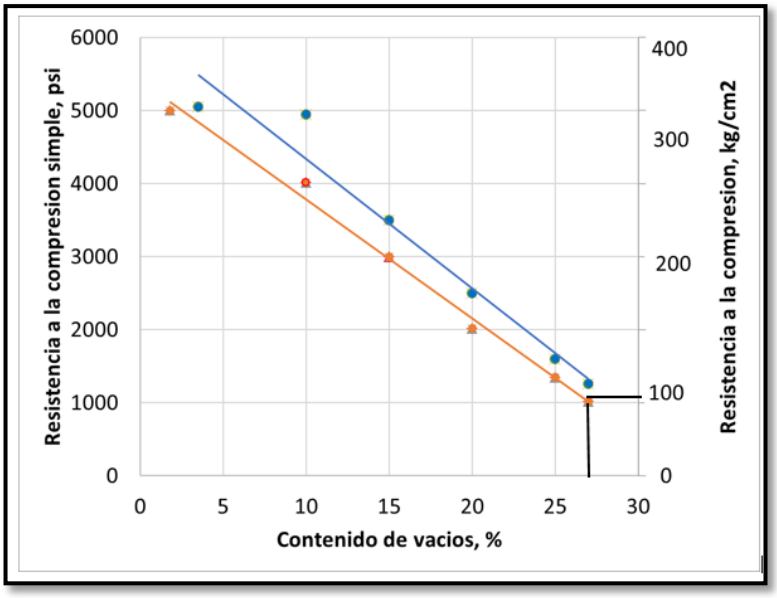


Figura 2. Relación entre contenido de vacíos y resistencia a la compresión. Fuente: Flores & Pacompia. (2015). *Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos f'c= 175 kg/cm2 en la ciudad de puno.*

Benites (2014, Cajamarca) presentó la investigación "características físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregados de la cantera río Jequetepeque y el aditivo Chema plast" donde evaluó un concreto permeable con 5/8" de TM de agregados y 20% de vacíos, con una cantidad de 6 muestras. Del experimento se obtuvo un promedio de 0.321 cm/s de coeficiente de permeabilidad, donde los resultados estuvieron en un rango casi uniforme (p. 48). Según la literatura se indica que el coeficiente dependerá del tamaño nominal del agregado grueso y su densidad. Pero se considera que está en el rango de 2 a 18 gal/min/ft2 (81 a 730 L/min/m2) o de 192 a 1724 in/h (0.14 a 1.22cm/s) (ACI 522R-10, 2010).

Marco teórico

Marco histórico

Resumen histórico del concreto

Los concretos de cemento no hidráulico son los más antiguos utilizados en la historia humana. Alrededor de 6500 A.C., los concretos no hidráulicos fueron utilizados por los sirios y se propagaron a través de Egipto, Oriente Medio, Creta, Chipre y la antigua Grecia. Sin embargo, fueron los romanos quienes refinaron el uso de la mezcla. Los cementos no hidráulicos utilizados en esas

épocas eran constituidos por yeso y cal. Los romanos usaron una mezcla primigenia para su concreto. Consistía en pequeños trozos de grava y arena gruesa mezclados con cal y agua caliente, y a veces incluso sangre animal. Los romanos eran conocidos por haber hecho un amplio uso de concreto para la construcción de carreteras. Es interesante saber que construyeron unas 5300 millas de carreteras con concreto. La evidencia histórica también señala que los romanos usaban puzolana, grasa animal, leche y sangre como aditivos para la construcción de concreto. Para reducir el agrietamiento por contracción, se sabe que han utilizado el pelo de caballo. La evidencia histórica muestra que los Asirios y los Babilonios usaban arcilla como material de Unión. Los egipcios usaban yeso en lugar de cal porque podía ser calcinado a temperaturas mucho más bajas. Alrededor de 3000 A.C., los egipcios utilizaron mortero de yeso en la construcción de la pirámide de Keops. (Li, 2011)

Una cal hidráulica fue desarrollada por los griegos y romanos utilizando piedra caliza que contiene impurezas arcillosas. Los griegos incluso utilizaron ceniza volcánica de la isla de Santorini, mientras que los Romanos utilizaron ceniza volcánica de la bahía de Nápoles para mezclar con cal y producir cal hidráulica. Se encontró que el mortero hecho de tal cal hidráulica podría resistir al agua. Por lo tanto, los morteros de cal hidráulica se utilizaron extensamente para las estructuras hidráulicas desde la segunda mitad del siglo I A.C. hasta el siglo II A.C. En 1756, John Smeaton fue Comisionado para reconstruir la casa de la luz de Eddystone frente a la costa de Cornwall, Inglaterra. Al darse cuenta de la función de las impurezas silíceas en la resistencia al agua, Smeaton llevó a cabo extensos experimentos con diferentes limas y puzolanas, y descubrió que la piedra caliza con una alta proporción de materiales arcillosos producía la mejor cal hidráulica para mortero para ser utilizado en el agua. Eventualmente, Smeaton usó un mortero preparado a partir de una lima hidráulica mezclada con puzolana importada de Italia. Hizo concreto mezclando áridos gruesos (guijarros) y ladrillo en polvo y mezclado con cemento, muy cerca de las proporciones de concreto moderno. (Li, 2011)

Después de Smeaton, el desarrollo del cemento hidráulico creció rápidamente. James Parker de Inglaterra presentó una patente en 1796 para un cemento hidráulico natural hecho por los nódulos de calcinación de piedra caliza impura que contiene arcilla. Vicat de Francia produjo cal hidráulica artificial por calcinación de mezclas sintéticas de piedra caliza y arcilla. El cemento Portland fue inventado por Joseph Aspdin de Inglaterra. El nombre de Portland fue acuñado por Aspdin porque el color del cemento después de la hidratación era similar al de la cantera de piedra caliza en Portland, una ciudad en el sur de Inglaterra. El cemento Portland fue preparado por calcinación de piedra caliza finamente molida, mezclándola con arcilla finamente dividida, y calcinando la mezcla de nuevo en un horno hasta que el CO2 fuera expulsado. Esta mezcla fue finamente molida y utilizada como cemento. Sin embargo, la temperatura reclamada en la invención de Aspdin no era lo suficientemente alta como para producir cemento Portland verdadero. Fue Isaac Johnson quien primero quemó las materias primas a la temperatura de clinkerización en 1845 para producir cemento Portland moderno. Después de eso, la aplicación del cemento Portland se extendió rápidamente por toda Europa y América del Norte. La principal aplicación del cemento Portland es hacer concreto. Fue en Alemania que la primera prueba sistemática de concreto tuvo lugar en 1836, la prueba mide la resistencia a la tracción y la compresión del concreto. Los agregados son otro ingrediente principal del concreto, y que incluyen arena, piedra triturada, arcilla, grava, escoria y esquisto. El concreto hecho de cemento Portland y agregado se llama generalmente la primera generación de concreto. La segunda generación de concreto se refiere a concreto reforzado con barras de acero. (Li, 2011)

Como material estructural, la resistencia a la compresión a una edad de 28 días es el principal Índice de diseño del concreto. Hay varias razones para elegir la fuerza de compresión como el índice representativo. En primer lugar, el concreto se utiliza en una estructura principalmente para resistir la fuerza de compresión. En segundo lugar, la medición de la resistencia a la compresión es relativamente más fácil. Finalmente, se cree que otras propiedades

del concreto pueden estar relacionadas con su resistencia a la compresión a través de la microestructura. Perseguir una alta resistencia a la compresión ha sido una importante dirección de desarrollo de concreto. Tan pronto como 1918, Duff Adams descubrió que la resistencia a la compresión de un concreto era inversamente proporcional a la relación agua-cemento. Por lo tanto, una alta resistencia a la compresión podría lograrse reduciendo la relación *w*/*c*. Sin embargo, para mantener un concreto viable, hay un requisito mínimo sobre la cantidad de agua; por lo tanto, la reducción de la relación *w*/*c* es limitada, a menos que se provean otras medidas para mejorar la trabajabilidad del concreto. Por esta razón, el progreso en lograr una alta resistencia a la compresión fue muy lento antes de la década de 1960. En ese momento, el concreto con una resistencia a la compresión de 30 MPa fue considerado como concreto de alta resistencia. Desde la década de 1960, el desarrollo de concreto de alta resistencia ha hecho progresos significativos debido a dos factores principales: la invención de aditivos reductores de agua y la incorporación de aditivos minerales, tales como emanaciones de sílice, cenizas volantes y escoria. (Li, 2011)

Hubo dos desarrollos innovadores en concreto contemporáneo: concreto auto compacto (SCC) y concreto de ultra alto rendimiento (UHPC). SCC es un tipo de concreto de alto rendimiento. El concreto de alto rendimiento es un concepto desarrollado en la década de 1980. Se define como un concreto que puede satisfacer requisitos especiales de rendimiento y uniformidad, que no siempre se puede lograr rutinariamente mediante el uso de materiales convencionales y prácticas normales de mezcla, colocación y curado. Los requisitos pueden implicar la mejora de las características del concreto, tales como la colocación y la compactación sin segregación, propiedades mecánicas a largo plazo, mayor fuerza de edad temprana, mejor tenacidad, mayor estabilidad del volumen, o vida útil más larga en ambientes severos. (Li, 2011)

El concreto autocompactante es un ejemplo típico de concreto de alto rendimiento que puede rellenar el encofrado de

forma compactada sin necesidad de vibración mecánica. SCC fue desarrollado inicialmente por el profesor Okamura y sus estudiantes en Japón a finales de 1980 (Ozama et al., 1989). En ese momento, la construcción de concreto estaba floreciendo en todas partes en Japón. Okamura y sus estudiantes realizaron investigaciones para desarrollar un concreto con alta fluidez. Con la ayuda de la invención del reductor de agua de gama alta o del Plastificador, se desarrolló un concreto de este tipo. Estaban tan emocionados que llamaron a este concreto "concreto de alto rendimiento" al principio. Se corrigió posteriormente a SCC, ya que la HPC abarca significados más amplios. La durabilidad es un requisito principal de la HPC. Se ha encontrado que muchas estructuras de concreto no podían cumplir con el requisito de servicio, debido no a la falta de fuerza, sino a la falta de durabilidad. Por esta razón, el concreto con alto rendimiento para cumplir con el requisito de prolongar la vida útil del concreto fue muy necesario. (Li, 2011)

En la década de 1990, se desarrolló un nuevo concreto con una fuerza de compresión superior a 200 MPa en Francia. Debido a la gran cantidad de humo de sílice incorporado en un material de este tipo, fue inicialmente llamado concreto reactivo en polvo y más tarde cambiado a concreto de ultra alta resistencia (rendimiento) (UHSC), debido a su extremadamente alta resistencia a la compresión (Richard y Cheyrezy, 1995). El concreto de ultra alta resistencia ha alcanzado una resistencia a la compresión de 800 MPa con tratamiento de calentamiento. Sin embargo, es muy frágil, por lo tanto, es necesario incorporar fibras en UHSC. (Li, 2011)

Resumen histórico del concreto Permeable

El concreto permeable ha sido un material utilizado históricamente por los países europeos desde principio del siglo XIX. Inglaterra registra el uso de este material como muros de carga en edificaciones, debido a sus propiedades físicas, haciéndolo ideal para la insolación térmica. El registro oficial más antiguo lo tiene dos casas, las cuales fueron construidas en dicho país con concreto permeable, estas casas fueron mejor conocidas como las casas Wimpey, en honor a quien hizo uso de la tecnología, un constructor

de nombre George Wimpey. Para 1942 se registró la construcción de más de 900 casas de concreto permeable. Es así como Wimpey dio a conocer al mundo un nuevo material, que a través de los años fue utilizado como paneles y blocks curados a vapor, para posteriormente utilizarse en muros para la insolación térmica de las edificaciones. (Cabrera, 2015)

No fue sino hasta después de la Segunda Guerra Mundial, que el concreto permeable tuvo su auge en la construcción como un material novedoso, de nuevas y distintas características al concreto convencional. El uso del concreto permeable se expandió al resto de Europa, Estados Unidos de América, Venezuela, África, el Medio Oriente y Australia. El concreto permeable requiere muy poco cemento para su elaboración en comparación al concreto convencional, motivo por el cual estímulo el uso de este, pero este fue restringido debido a sus propiedades mecánicas, siendo la baja resistencia a esfuerzos de compresión, la que restringió principalmente el uso de este material. (Cabrera, 2015)

En los Estados Unidos de América el concreto permeable fue una medida implementada para mitigar los efectos de la escorrentía, causada por la rápida expansión urbana, lo cual incrementaba considerablemente las áreas impermeables, acumulando grandes caudales en los medios de evacuación. El estado de Florida fue uno de los primeros en utilizar el concreto permeable en carreteras de tráfico liviano, principalmente en vías que divergían de carreteras principales a las zonas residenciales. El uso del concreto permeable lentamente fue desplazándose a estados como Nuevo México y Utah. (Cabrera, 2015)

En 1990 la administración de protección ambiental de Estados Unidos implementó la Ley de Agua Limpia, que más tarde dio lugar a otras fases de ejecución para preservar los cursos de agua libre de contaminantes trasmitidos por la escorrentía de las aguas pluviales. Básicamente requiere que el propietario o desarrollador del proyecto que conlleve a la impermeabilización del suelo logre mantener dentro de la propiedad, tanto como sea posible

las aguas pluviales y evitar así el arrastre de sólidos, sedimentos, químicos y otros contaminantes. (Cabrera, 2015)

Las aguas pluviales al dejar la propiedad deben de estar los más limpias posibles, libres de sólidos y el menor contenido de contaminantes. El concreto permeable fue reconocido como una de las mejores prácticas para el manejo de las aguas pluviales, debido a que permite la filtración, limpieza y retención de las aguas pluviales. Luego de la implementación de esta ley a finales de 1990, los estados de California, Illinois, Oklahoma, Kansas y Wisconsin decidieron adoptar similares medidas para el manejo de aguas pluviales, utilizando concreto permeable en aparcamientos, vías peatonales y otras estructuras planas de paso. (Cabrera, 2015)

La primera implementación de concreto permeable a gran escala se dio en el Metro de SugarCreek de la ciudad de Kansas, estado de Misuri. Fue utilizado también como bermas de carreteras principales y carreteras de tráfico liviano, especialmente en zonas residenciales, donde se pudo apreciar muchas de las ventajas en el uso de este material, como lo fue una notoria reducción de la contaminación de sonido y la reducción de inundaciones de las carreteras. A partir de 2005, después de la exitosa construcción del metro de SugarCreek, otras ciudades han implementado sistemas de drenas, carreteras y estructuras para el manejo de aguas pluviales mediante el uso de concreto permeable, práctica que recientemente se ha expandido por todo el país norteamericano. (Cabrera, 2015)

En Guatemala el uso de concreto permeable ha sido limitado, debido a la falta de conocimiento de este material, su preparación e implementación, puesto que registros no oficiales dan a conocer que la principal restricción es por su poca resistencia a la compresión. Sus usos principales han sido para pasos peatonales y muros en jardines ecológicos para la filtración del agua hacia al suelo y áreas donde pueda ser aprovechado por la flora. (Cabrera, 2015)

Resumen histórico de Losas Cortas

Durante la última década, el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile - ICH ha sido participe de actividades que han permitido consolidar una base de conocimiento referente a los pavimentos de hormigón con losas de geometrías de distintas dimensiones. Motivados en análisis preliminares que indicaban que utilizando losas de dimensiones menores era posible reducir los espesores de pavimentos sin afectar su comportamiento se ha continuado trabajando en el tiempo reciente. Los seguimientos y auscultaciones realizadas en el tiempo a diferentes pavimentos complementados con los análisis teóricos efectuados han permitido comprobar las bondades de modificar el tamaño de las losas. Ante la necesidad de responder a frecuentes consultas sobre el tema, el ICH ha venido trabajando en una metodología capaz de comprobar analíticamente las bondades de las losas cortas, a partir de la predicción del deterioro del pavimento para unas condiciones dadas; tomando como base un proceso analítico de tensiones y fatigas acumuladas por repetición de solicitaciones, pudiendo así con los resultados obtenidos relacionarlos y compararlos con lo observado en experiencias reales realizadas en Chile. (COGOLLO FORERO & SILVA BERNAL, 2018)

Resumen histórico de la incorporación de fibras al concreto

La idea de reforzar con materiales fibrosos manufacturas resistentes, pero de elevada fragilidad se remonta a muchos años atrás; en el antiguo Egipto se introducía paja al macizo arcilloso con el cual confeccionaban ladrillos para conferirle una mayor resistencia y por lo tanto una buena manejabilidad después de la cocción al sol. (DE LA CRUZ MERCADO & QUISPE CCAHUIN, 2014)

A lo largo del tiempo, el hombre ha ido perfeccionando los materiales de construcción para mejorar su condición de vida en la sociedad. Así fue como empezó a añadir paja a los bloques de adobe, pelos de caballo a la mampostería de mortero, entre otras técnicas de construcción que se remontan a tiempos memorables. Existen otros ejemplos históricos: revoques reforzados con crin de caballo, o también con paja en las construcciones más precarias,

para evitar fisuras antiestéticas de retiro. La orientación científica al problema del fibro-refuerzo es indudablemente más reciente. Son de los años 50 los primeros estudios sobre la utilización de fibras en acero y en vidrio en el hormigón; en los años 60 en cambio aparecen los primeros estudios sobre hormigones fibro -reforzados con fibras sintéticas. La utilización de fibras en el interior de la matriz del hormigón tiene como finalidad la formación de un material diverso en el cual el conglomerado, que ya puede ser considerado un material diferente constituido por un esqueleto lítico dispersado en una matriz de pasta de cemento hidratada, está unido a un agente reforzante formado por un material fibroso de distinta naturaleza. (DE LA CRUZ MERCADO & QUISPE CCAHUIN, 2014)

En tiempos recientes, las industrias de la producción de materiales de construcción optaron por usar fibras en tos diversos productos como cerámicos, plásticos, cementos con el fin de mejorar las propiedades tales como la resistencia a la tracción, a la compresión, mejor comportamiento ante el impacto, control de fisuras entre otros. Por otro lado, las fibras de acero son usadas como el principal refuerzo para losas de piso industriales, segmentos de túneles, dovelas prefabricadas y cada día se revela como el mejor producto para carreteras que soportan tráfico pesado. (DE LA CRUZ MERCADO & QUISPE CCAHUIN, 2014)

Marco Teórico

Concreto

El concreto es un material de construcción artificial que luce como piedra, la palabra "concreto" deriva del latín “*concretus*”, que significa "crecer juntos", es un material compuesto de material granular grueso (el agregado o relleno) incrustado en una matriz dura (el cemento o el aglutinante) que llena el espacio entre las partículas agregadas y las pega juntas. Dependiendo del aglutinante utilizado, el concreto puede denominarse de diferentes maneras. Por ejemplo, si un concreto es hecho con cemento no hidráulico, se llama concreto de cemento no hidráulico; si un concreto es hecho de cemento hidráulico, se llama concreto de cemento hidráulico; si un concreto está hecho de asfalto, se llama concreto asfaltico; si un concreto está

hecho de polímero, se llama concreto polimérico. Tanto el cemento no hidráulico como el hidráulico necesitan agua para mezclarse y reaccionar. Se diferencian aquí en la capacidad de ganar fuerza en el agua. El cemento no hidráulico no puede ganar fuerza en el agua, mientras que el cemento hidráulico lo hace. (Li, 2011)

Concreto hidráulico

Es una mezcla homogénea conformada de cemento, agua, agregado fino y agregado grueso. Además, para mejorar algunas propiedades específicas se incorpora un determinado aditivo a la mezcla (EG, 2013, p. 801). Los materiales deben cumplir los requerimientos según los reglamentos correspondientes de la normativa peruana, ASTM y ACI.

Según la especificación técnica de construcción, para la aceptación de trabajos en campo, por cada 50 m^3 de concreto se tomarán 4 especímenes según MTC E 709 para ensayos de resistencia flexo-tracción, las cuales se ensayarán de la siguiente manera: 2 a 7 días para control de calidad y 2 a 28 días para comprobación de resistencia (EG, 2013). En tanto, para la presente investigación se elaboraron seis especímenes en laboratorio, que serán ensayados de tres en tres a los 7 y 28 días.

Losas cortas

Las losas cortas o delgadas son losas de concreto hidráulico con longitudes reducidas, las cuales reciben menores esfuerzos individualmente y esto le otorga la posibilidad de tener un menor espesor. El enfoque principal de las losas cortas es reducir la tensión superficial que se genera en el pavimento debido a la aplicación de la carga del vehículo, por lo que la dimensión de una losa se reducirá tal que la carga de una rueda de vehículo ocupe solo una losa corta y así los esfuerzos serán menores. Adicionalmente, se reducirá considerable el alabeo en las losas por cambios de temperatura. (Salgado, 2014, Argentina).

El instituto del cemento y concreto de chile, mediante el diseño e implementación de pavimentos semirrígidas de losa corta, sugiere que es factible disminuir espesores de pavimento en

concordancia con los diseños del AASHTO, siendo así que una losa corta de 50 000 ejes equivalentes con espesor de 10 cm tiene un performance factible. Los cuales generan una reducción de costos en el uso de pavimentos de concreto hidráulico (ICH, 2010).

Tomando en consideración, los beneficios de las losas cortas y la clasificación de carreteras según demanda. El estudio se realizó en torno a una carretera de primera clase con un IMDA entre 4 000 y 2 001 veh/día y ancho mínimo de carril de 3.6m (DG, 2019). Por tanto, se planteó que la losa corta por presentar sea de dimensiones 1.8m x 1.8m.

Concreto prefabricado

El concreto prefabricado se define como aquel que es elaborado en un lugar distinto al de su colocación final, se produce de manera industrial y cuidando al producto de las adversidades del clima durante su fabricación. El diseño y proceso de construcción debe realizarse conforme a la normativa existente ACI 318-05 (2005). Lane y Kazmierowski (2005) mencionan que las ventajas potenciales de los paneles de concreto prefabricado incluyen mayor calidad para el concreto, mejor curado, menor riesgo de los efectos del clima y reduce el tiempo de apertura al tráfico (Norbert J. & Delatte 2014, p. 35).

En conclusión, el nuevo modelo se realizó como un prefabricado por las ventajas de esta metodología y por la inclusión de los conductos que hacen tediosa su fabricación in situ.

Concreto permeable

Según ACI-522R "*Report on Pervious Concrete*" el concreto permeable se define como un material de estructura abierta, con revenimiento cero, compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de finos, aditivos y agua. La combinación de estos materiales produce un material endurecido con poros interconectados, cuyo tamaño varía de 2 a 8 milímetros, lo que permite el paso de agua. El contenido de vacíos puedes variar desde 15% a 35%, con una resistencia a la compresión típica de 28 Kg/cm2 a 280 Kg/cm2. La tasa de drenaje del pavimento de concreto

permeable variará de acuerdo con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla, pero en general se encuentra en el rango de 81 a 730 L/min/m2 o 0.14 a 1.22 cm/s.

El NRMCA (2008) define al concreto permeable como aquel con “alta porosidad, usado para aplicaciones en superficies de concreto que permita el paso a través de él de agua proveniente de precipitación y otras fuentes, reduciendo la escorrentía superficial de un sitio y recargando los niveles de agua subterránea". Una alta porosidad está asociada a una baja resistencia tanto a ensayos de compresión y flexión, mientras que cantidades mínimas de porosidad aumentan la resistencia del concreto.

La normativa peruana, especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras (EG, 2013) considera usar el concreto hidráulico permeable como una capa anticontaminante, siendo especificado para una base que consiste en capas drenantes de gradación abierta, las cuales sirven de apoyo al pavimento de concreto hidráulico (p. 379). En otros casos solo se emplea en áreas donde la carga vehicular es baja, como en parqueos y veredas.

Principio de Darcy para coeficiente de permeabilidad.

El principio considera que, bajo las condiciones de flujo laminar, existe una proporcionalidad lineal entre la velocidad de flujo y el gradiente hidráulico. El gradiente hidráulico es un parámetro que depende de las condiciones de energía para un flujo a través de un conducto. La energía en flujo puede ser descrita mediante la ecuación de Bernoulli, *Figura 3* constituida por tres componentes: energía de elevación, energía de presión y energía de velocidad las cuales tienen unidades de longitud o columna de agua. Además, en términos de condiciones de fluidos o flujo al interior de una masa, la energía se mide en metros (m). Para fluidos en medios permeables se generan pérdidas de energía "ΔJ" o "ΔH". La línea roja (*Figura. 4)* muestra la energía total del flujo tanto en la entrada y salida del conducto. Las pérdidas de energía a lo largo del transporte son mucho más evidentes en un medio permeable (Gerley, 2012).

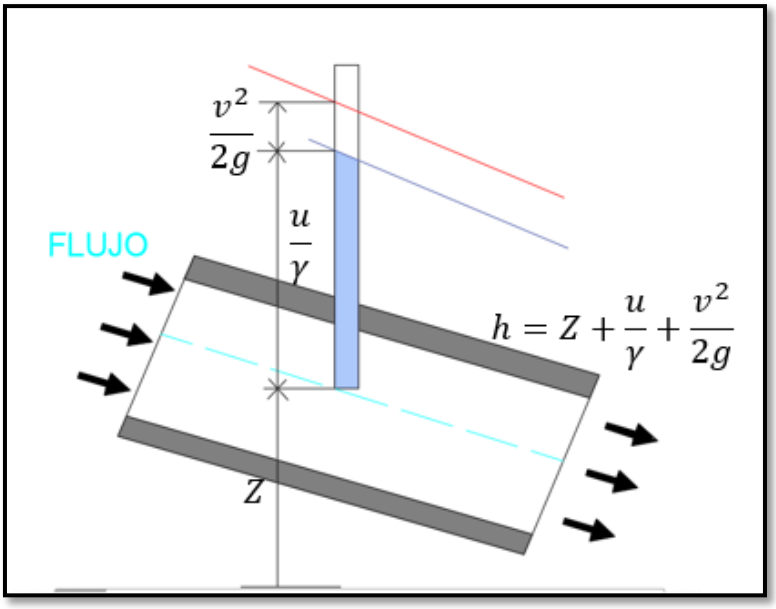


Figura 3. Planteamiento del teorema de Bernoulli para el estudio de flujo.

Fuente: Gerley. (2012). *Propiedades hidráulicas de los suelos.*

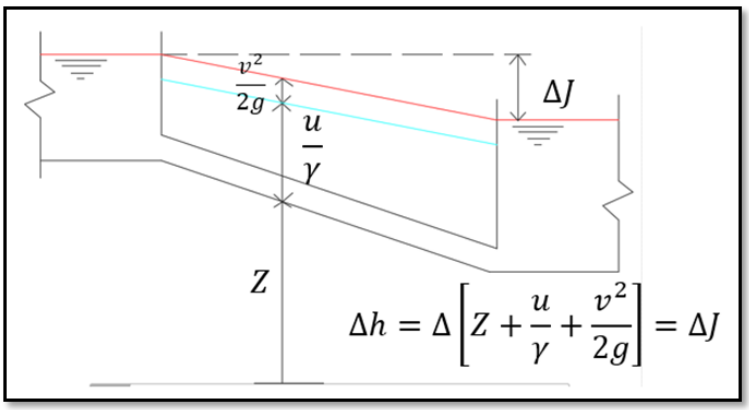


Figura 4. Pérdida de carga generada a lo largo de un conducto cerrado.

Fuente: Gerley. (2012). *Propiedades hidráulicas de los suelos.*

Se plantea lo siguiente simplificación para medios permeables:

- ✓ **Canales pequeños**: Los flujos se mueven por conductos muy pequeños y por unos ductos irregulares debido a la incorporación de partículas que dificulten la correcta infiltración del agua en condiciones casi reales.
- ✓ **Velocidades pequeñas**: Para flujos laminares, las velocidades presentan valores pequeños siendo razonable despreciar la energía cinética por presentar poca influencia frente a las demás componentes de la energía del fluido.

- ✓ **Flujo laminar**: Teniendo en claro que los flujos de baja velocidad se conciben como flujos laminares.

Donde la ecuación de Bernoulli quedaría de la siguiente manera:

$$h = Z + \frac{u}{\gamma} \qquad \textit{Ecuación 01}$$

Donde:

H: energía piezométrica
Z: energía potencial gravitatoria
u/y: presión atmosférica

En la Figura 5 se muestra una esquematización del ensayo de permeabilidad donde se va a extraer los datos requeridos para contrarrestar los valores con lo que indica la normativa ACI 522r-06.

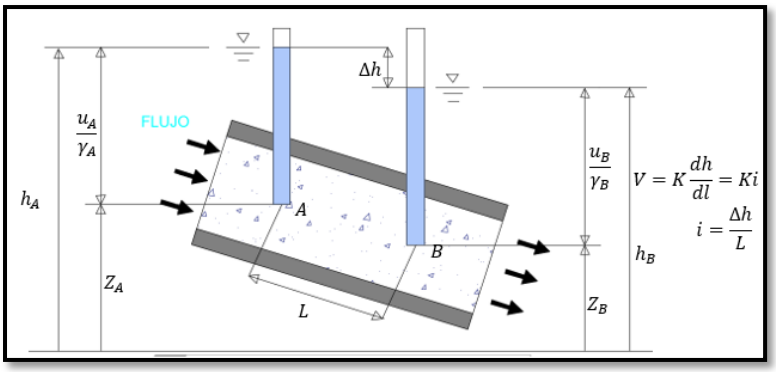


Figura 5. Esquema de coeficiente de permeabilidad y gradiente hidráulico.

Fuente: Gerley. (2012). *Propiedades hidráulicas de los suelos.*

La velocidad a la salida del sistema será expresada como lo muestra en la fig.5, la cual está formada por el producto de "k" que expresa velocidad e "i" como un factor de corrección que se denomina gradiente hidráulico. Por tanto, la permeabilidad "Ki" expresada en unidades de velocidad, muestra cuan eficiente es el medio permeable para dejar fluir el agua.

Determinación del caudal en un medio permeable.

En el caso aplicativo para determinar el caudal "q" que se muestra en la *Figura 6*, Se debe considerar que las condiciones de entrada y salida del sistema no son las mismas. En la primera se tendrán las

condiciones de filtración y a la salida las condiciones de descarga, donde hay una relación de la velocidad de filtración y la velocidad de descarga (el flujo ya tuvo pérdidas de energía a lo largo del medio permeable de longitud L). La velocidad de filtración suele ser mayor que la velocidad de descarga, la cual está relacionada a la relación de vacíos o porosidad (e=Vv/Vs) la cual se indica con la variable "n" en la ecuación respectiva. Gerley, (2012)

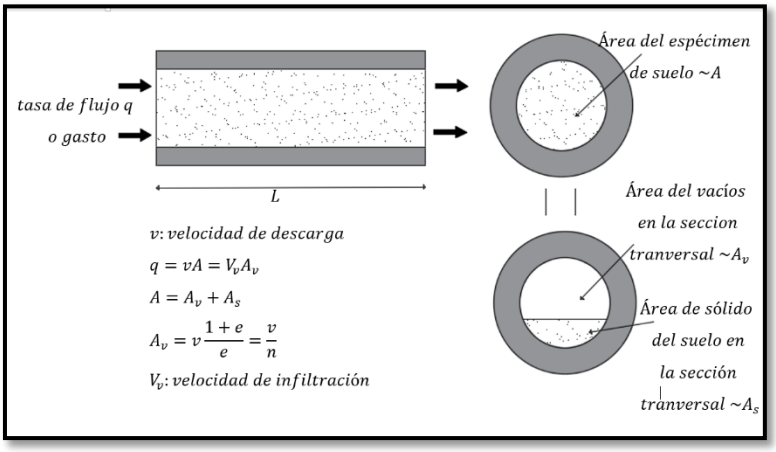


Figura 6. Esquema de tasa de flujo en función al índice de vacíos y porosidad del medio.

Fuente: Gerley. (2012). *Propiedades hidráulicas de los suelos.*

Para la aplicación del flujo que atravesará el concreto CONCREPM, se plantea el siguiente suministro de caudal.

- ✓ **Carga constante:**

Este ensayo se aplica para medios permeables que faciliten el paso del agua a través de su estructura.

- ✓ **Carga variable:**

No aplica puesto que solo es para medir la permeabilidad para materiales finos que impiden el flujo libre de agua.

Ensayo de compresión del concreto.

Esta prueba es una performance de la resistencia a la compresión del concreto, mediante el uso de cilindros de concreto y la aplicación de una carga axial a una velocidad estándar hasta lograr la falla del espécimen. Para el cálculo de la resistencia a la compresión

alcanzada por la muestra, se establece el cociente entre la carga máxima que se alcanza en el ensayo y el área de la sección transversal del espécimen. Se puede afirmar que este ensayo es el que determina la calidad de dosificación, mezclado y la colocación del concreto (ASTM C 39/C 39M-05, 2005).

Se debe tener en cuenta que la forma y tamaño de la muestra, el procedimiento de mezclado, edad, dosificación, temperatura, humedad, moldeo y muestreo, son determinantes que deben ser muy bien trabajadas. (ASTM C31/C31M-08a, 2008).

Figura 7. Ensayo de compresión simple en el concreto.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Ensayo de Flexión del concreto.

La resistencia a la flexión es una característica mecánica que tiene gran importancia, principalmente en estructuras de pavimentos en donde se dan esfuerzos de tracción producto de la flexión de las losas al pasar los vehículos o por acción de la temperatura. Cabe destacar que el concreto tiene muy baja resistencia a la tracción, sin embargo, esta propiedad tiene gran importancia para el diseño de pavimentos.

Los especímenes por ensayar deben estar en conformidad con los requisitos del ASTM C42/C42M o las prácticas ASTM C31/C31M y C-192. El ensayo consiste en colocar en su lado el espécimen moldeado y sentarlo en los bloques de soporte como

mínimo a 25mm desde sus extremos, la luz libre será de tres veces la medida del lado prismático y las cargas puntuales serán aplicadas a los dos tercios medios de la luz (ASTM C78/C78M-16, 2016).

Para el cálculo del esfuerzo máximo, denominado módulo de rotura (MR), la norma ASTM C78/C78M-16 expresa que:

Si la falla ocurre en la superficie de tensión dentro del tercio medio de la luz, el módulo de rotura se calcula como sigue:

$$R = \frac{PL}{BD^2} \qquad \textit{Ecuación 02}$$

Donde:
R = módulo de rotura del concreto en kg/cm2,
P = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo en kg,
L = Longitud de separación de apoyos en cm,
B = Ancho promedio del espécimen, en la fractura, en cm y
D = Altura promedio del espécimen, en la fractura, en cm.

Si la fractura se diera fuera del tercio medio del espécimen prismático, pero no se encuentra separada de esta por más de una longitud equivalente al 5% de la luz libre, el módulo de rotura se calcula como sigue.

$$R = \frac{3Pa}{BD^2} \qquad \textit{Ecuación 03}$$

Donde:
a = distancia promedio entre la línea de rotura y el apoyo más próximo, medida a lo largo del eje longitudinal de la cara en tensión del espécimen prismático, en cm.

Finalmente, si la falla ocurre fuera del tercio medio del espécimen prismático y a una distancia mayor al 5% de la luz libre del espécimen prismático, el resultado del ensayo de debe descartar.

Figura 8. Equipo para determinar la resistencia a flexión del concreto.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Fibras de polipropileno.

Las fibras son elaboradas a partir de material sintético, de modo que no tienen ningún tipo de reacción química con el concreto y no influyen en el diseño de mezcla, también son compatibles con cualquier aditivo. Estas fibras reducen las fisuras por asentamiento a través de su sistema de soporte interno y la contracción plástica mediante el bloqueo mecánico, además incrementan la resistencia a la abrasión, al impacto y a la fractura; sin embargo, reducen la permeabilidad. Por otro lado, también pueden servir como un sistema alterno de refuerzo no estructural, secundario y por temperatura, tal como indica la NRMCA en el CIP 24 (2008).

Según la ASTM C-1116 (2003), las fibras sintéticas están clasificadas como Tipo III, especialmente por su largo periodo de duración o resistencia al deterioro en contacto con agentes contaminantes y álcalis que están presentes en el concreto (p. 2).

El tipo de fibra que se empleó en la presente investigación fue de polipropileno macro sintético estructural denominado SIKA Fiber force PP48, empleado como un refuerzo secundario en estructuras de concreto que básicamente pretende controlar las fisuras que se generan en éste, con una dosificación de 3 Kg/m3 de concreto de acuerdo con la ficha técnica del producto que indica una dosis entre

2 a 9 Kg/m3 de concreto, estos datos fueron recogidos en base a ensayos de laboratorio realizados por el proveedor, tan como lo indica la ficha técnica adjunta en el Anexo 12.

Objetivos e hipótesis

Objetivos.

Los objetivos de trabajo con relación al problema mencionado se dividen en objetivo general y objetivos específicos:

Objetivo general.

Evaluar la relación que existe entre las propiedades mecánicas e hidráulicas de una losa de concreto CONCREPM para demostrar su funcionalidad frente al concreto convencional y al concreto permeable para pavimentos.

Objetivos específicos.

a) Evaluar la relación que existe entre las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión de una losa de concreto CONCREPM para demostrar su funcionalidad frente al concreto convencional para pavimentos, haciendo uso de especímenes adicionados con fibras PET.

b) Evaluar la relación que existe entre las propiedades hidráulicas de permeabilidad y velocidad de infiltración de una losa de concreto CONCREPM para demostrar su funcionalidad frente al concreto permeable para pavimentos.

Hipótesis

La hipótesis de trabajo con relación al problema mencionado se divide en hipótesis principal e hipótesis específicas:

Hipótesis Principal.

El comportamiento mecánico de la losa CONCREPM tiende a ser el mismo que del concreto convencional (f'c CONCREPM >= 0.80 f'c convencional, y superior al del concreto permeable (0.60 f'c CONCREPM > f'c permeable) para pavimentos, además la losa CONCREPM presenta un adecuado

comportamiento hidráulico (K CONCREPM >= 1.22cm/s, según norma ACI-522R "*Report on Pervious Concrete*"

Hipótesis específicas.

a) El sistema de conductos de la losa CONCREPM reducirá parcialmente su resistencia a la compresión frente al concreto convencional, pero frente al concreto permeable presentará mejor performance. (f'c permeable < f'c CONCREPM < f'c convencional)

b) El sistema de conductos de la losa CONCREPM reduce parcialmente la resistencia a la flexión frente al concreto convencional para pavimentos, pero frente al concreto permeable presentará mejor performance. (MR permeable < MR CONCREPM < MR convencional)

c) La losa CONCREPM presentará similar coeficiente de permeabilidad frente al concreto permeable, sin embargo, será superior al presentado por el concreto convencional para pavimentos. K convencional < K CONCREPM <= K permeable)

Variables

Variables Independientes

Se abarcó hasta tres variables independientes; el concreto CONCREPM, el concreto permeable y el concreto convencional, los cuales son los tipos de concreto que se emplearon para elaborar los especímenes ensayados. Cada uno contó con una configuración específica, pero fue CONCREPM el que combinó las propiedades mecánicas e hidráulicas de los otros dos modelos, es decir el concreto CONCREPM se relaciona con el concreto convencional mediante las propiedades mecánicas de resistencia a compresión y resistencia a la flexión por otro lado, el concreto CONCREPM se relaciona con el concreto permeable por medio de su propiedad hidráulica que le permiten la infiltración de fluidos a través de su estructura.

Variables dependientes

Las variables dependientes estuvieron constituidas por los resultados brindados por el comportamiento de los especímenes ensayados, los cuales son la resistencia a la compresión (F'c), el módulo de rotura (MR) y el coeficiente de permeabilidad (K) para los tres tipos de concreto y su variante con fibras de polipropileno.

Relación de variables independiente y dependiente.

Se definió como variable independiente el concreto convencional para pavimentos y las variables dependientes como la resistencia a la compresión, flexión y el coeficiente de permeabilidad. Según el esquema mostrado en la figura 9 se puede establecer la relación de las variables que se muestran como causa y efecto (ver figura 10).

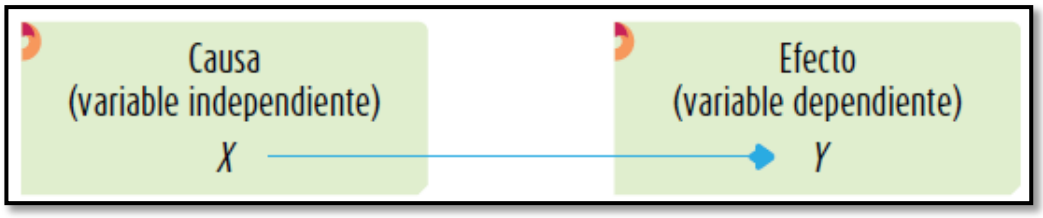


Figura 9. Esquema de causa -Efecto

Fuente: Hernández & Mendoza, 2018.

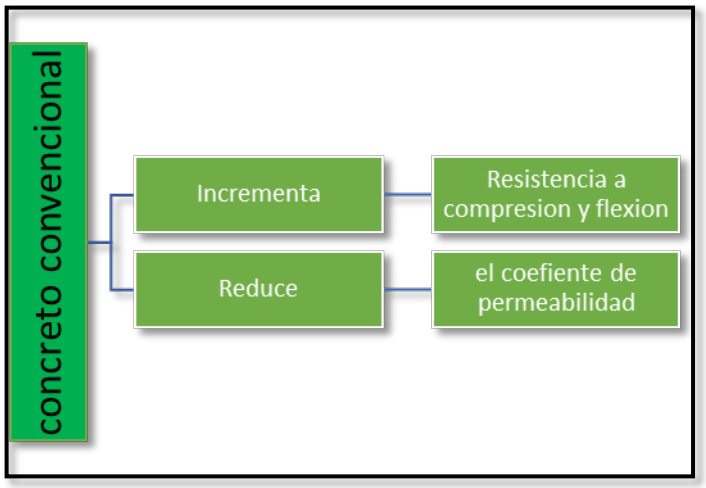


Figura 10. Relación de variables independiente y dependiente.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Más de dos grados

Para la presente investigación, se estableció manipular las variables independientes, las cuales fueron el concreto permeable y concreto permeable mixto (CONCREPM), donde lo mencionado anteriormente tendrán una influencia en las variables dependientes las cuales serán medidas en sus respectivas magnitudes como se muestran en las figuras 11 y 12. Y serán comparadas con el grupo control la cual se denomina concreto convencional, ver figura 10.

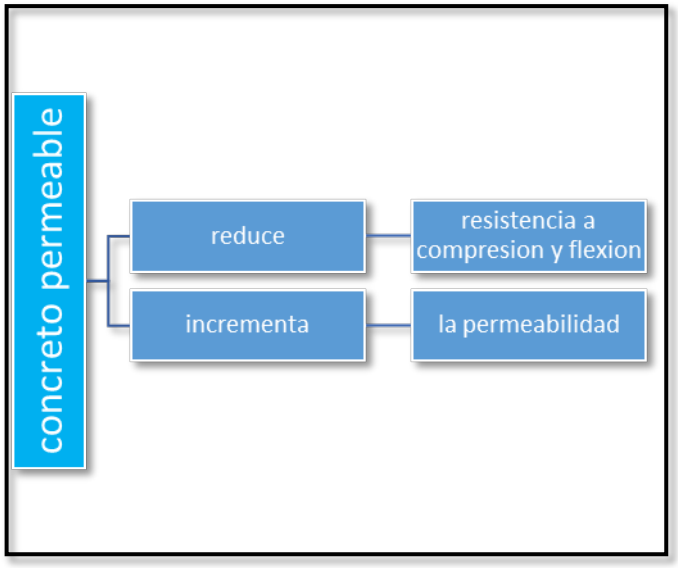


Figura 11. Relación de variables independiente y dependiente, definido como grupo experimental 1.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

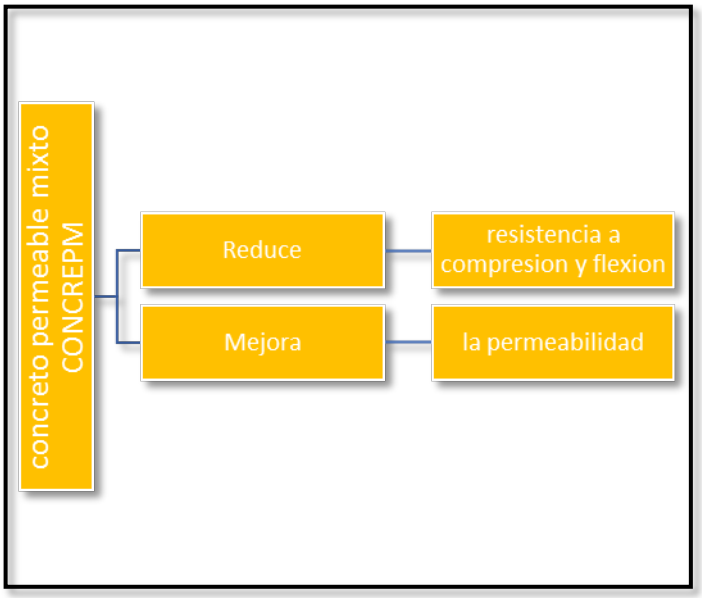


Figura 12. Relación de variables independiente y dependiente, definido como grupo experimental 2.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Las variables independientes se manipularon de la siguiente manera:

- **El concreto permeable:** Será operacionalizada mediante un cambio de diseño de mezcla considerando un porcentaje de vacíos teórico de 7.8%

- **El concreto mixto (CONCREPM):** Será operacionalizada mediante una adecuación de vacíos físico de 7.8% a través de drenes verticales (tubos PVC de 5/8”), sin cambiar el diseño de mezcla
- **El concreto convencional:** se estableció como grupo de control

Definición Conceptual

- **Resistencia a la compresión:** El concepto de la “Resistencia a la Compresión” dependerá del tipo de material que se puede emplear, la resistencia a la compresión es el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento axial.
- **Resistencia a la flexo- tracción:** El concepto de la “Resistencia a la flexo-tracción” dependerá del tipo de material que se puede emplear, la resistencia en tracción directa o en tracción por flexión del concreto, es una magnitud muy variable. La resistencia a la tracción directa (ft) del concreto varía entre el 8% y el 15% de la resistencia en compresión (f′c).
- **Velocidad de infiltración:** El concepto de “Velocidad de infiltración” dependerá del tipo de material que se puede emplear, la velocidad de infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie de un medio permeable.

Definición Operacional:

- **Resistencia a la compresión:** Esta propiedad mecánica del concreto fue medida mediante el ensayo de compresión en especímenes cilíndricos utilizando una maquina compresora que mide la carga máxima alcanzada por la muestra antes de la falla.
- **Resistencia a la flexo- tracción:** Esta propiedad mecánica del concreto fue medida mediante el ensayo de flexión en especímenes prismáticos con tres puntos de carga, utilizando una maquina compresora que mide la carga máxima alcanzada por la muestra antes de la falla.
- **Velocidad de infiltración:** Esta propiedad hidráulica del concreto fue medida mediante el ensayo de índice de permeabilidad en especímenes cilíndricos utilizando un permeámetro de caída de presión que permite medir la cantidad de agua que atraviesa la muestra en un tiempo determinado.

Metodología del Trabajo

Tipo de investigación.

La presente investigación es de tipo experimental aplicada, puesto que las variables independientes se manipulan para establecer efectos en las variables dependientes y estas deberán ser medidas para responder lo objetivos de la investigación. Esta medición se desarrolló con un enfoque cuantitativo a través de prototipos y pruebas que sirvieron para determinar valores numéricos a partir de ensayos físicos y mecánicos en los tres tipos de concretos para ser analizados comparativamente según lo mencionado en el diseño de investigación, “La esencia de esta concepción de experimento es que requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados” (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

Diseño de investigación.

Se considera como diseños experimentales cuando se tienen control y validez, adicionalmente se reúnen los dos requisitos: grupos de comparación (manipulación de variable independiente y equivalencia de los grupos. En el caso de estudio se incluirá tres variables independientes y tres variables dependientes. Y el diseño que más se adecua a la evaluación de la variable es el diseño con posprueba única y grupo de control. (Hernández & Mendoza, 2018).

Diseño con posprueba única y grupo de control

Para la siguiente investigación se consideró tres grupos: dos recibieron el tratamiento experimental (concreto permeable y concreto permeable mixto CONCREPM) y uno no (Concreto convencional) a la cual se le designa como grupo de control. Es decir que la manipulación de la variable independiente alcanza tres niveles. Mas de dos grados, la cual permite determinar si la presencia de la variable independiente (con tratamiento experimental) tiene un efecto y adicionalmente si distinto niveles de la variable independiente producen diferentes efectos. Una vez concluida la manipulación de los tres grupos se procedió a realizar la medición de las variables dependientes. Para ilustrar lo mencionado se muestra las siguientes simbologías y esquemas en la figura 13 y 14, las cuales facilitaran el entendimiento de manejo de las variables propuestas en la siguiente investigación.

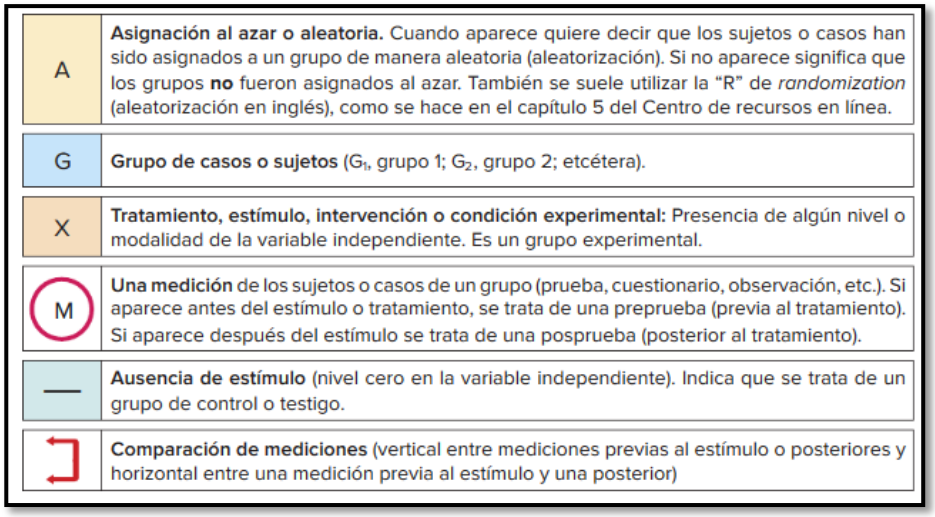


Figura 13. Simbología de parámetros.

Fuente: Hernández & Mendoza, 2018.

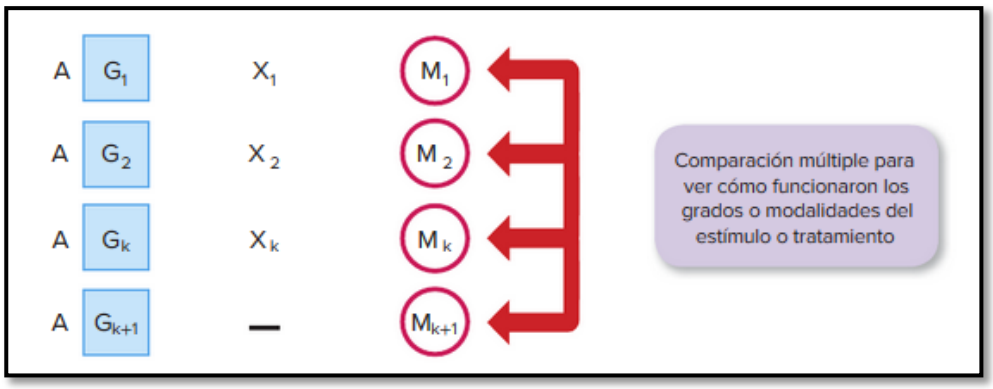


Figura 14. Diagrama de diseño experimental

Fuente: Hernández & Mendoza, 2018

Como se tiene tres variables independientes y tres variables dependientes, se elaboró diagramas para la medición de resistencia a compresión, resistencia a flexión y coeficiente de permeabilidad como se muestran en la figura 15,16 y 17 respectivamente.

Donde:

- Los grupos de estudio se establecieron como Concreto permeable (G1), CONCREPM (G2) y concreto convencional (G3).

- Las condiciones experimentales se establecieron como incremento de 7.2% de vacíos - teóricos (X1), incremento de 7.2% de vacíos - físicos (X2) y ausencia de condición experimental (X3).
- Las mediciones de los ensayos se definieron como **resistencia a compresión** (M1C, M2C y M3C), **resistencia a flexión** (M1F, M2F y M3F) y **coeficiente de permeabilidad** (M1CP, M2CP y M3CP)

Para Resistencia a compresión

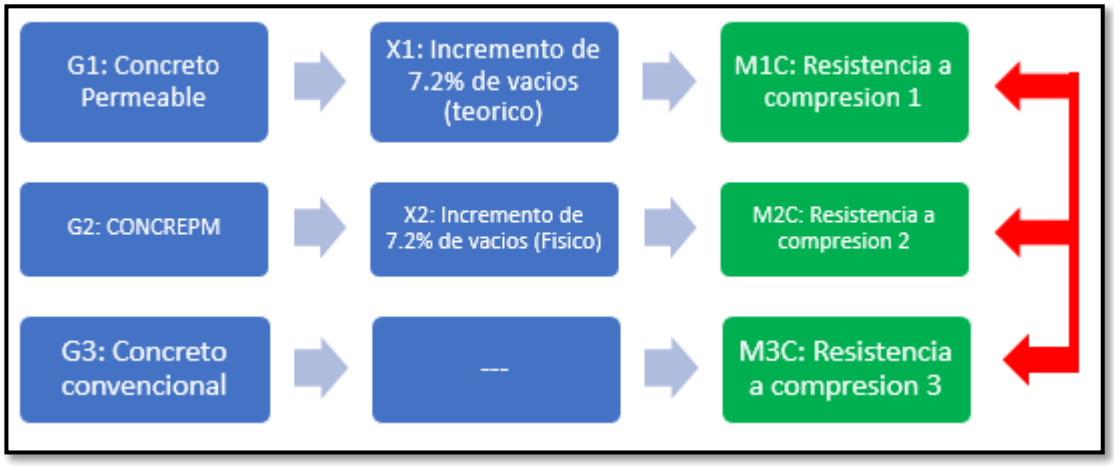


Figura 15. Diagrama de diseño experimental para medición de resistencia a compresión

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para Resistencia a flexión

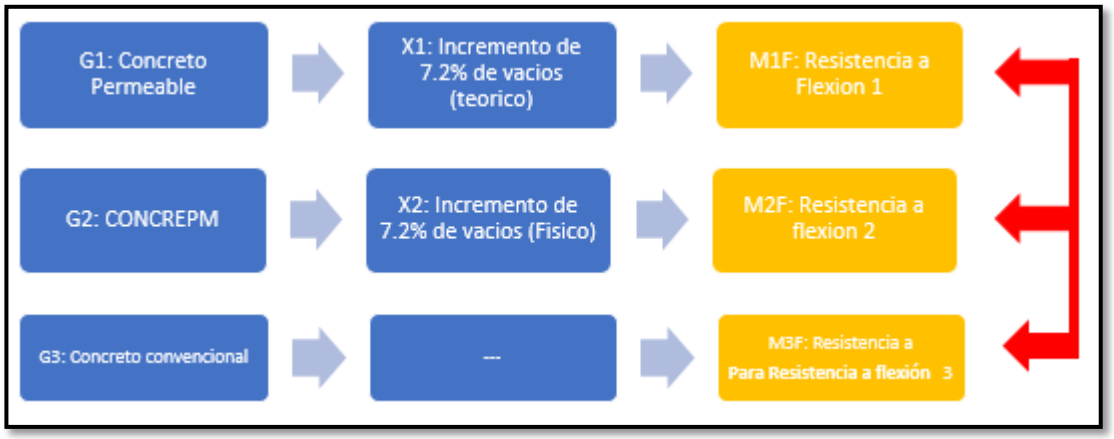


Figura 16. Diagrama de diseño experimental para medición de resistencia a flexión.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para Coeficiente de permeabilidad

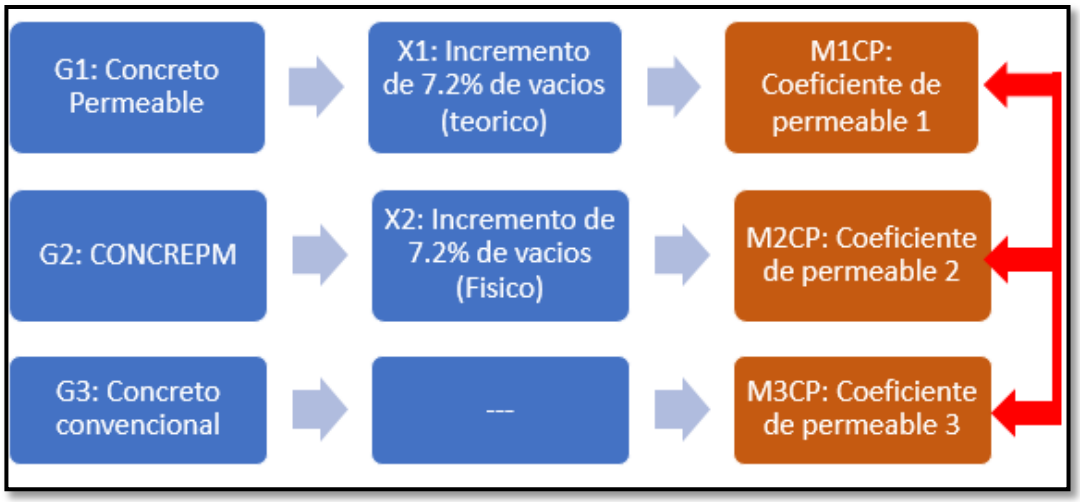


Figura 17. Diagrama de diseño experimental para medición de coeficiente de permeabilidad

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Una vez establecido las matrices del diseño experimental, se realizaron las mediciones de todas las variables dependientes y posterior a ello se compararon entre los tres niveles, las cuales respondieron los objetivos de la investigación.

Se propuso realizar el proyecto bajo el siguiente esquema para tener una ruta crítica sobre las acciones que se realizan desde el inicio del experimento hasta la generación de los resultados y conclusiones.

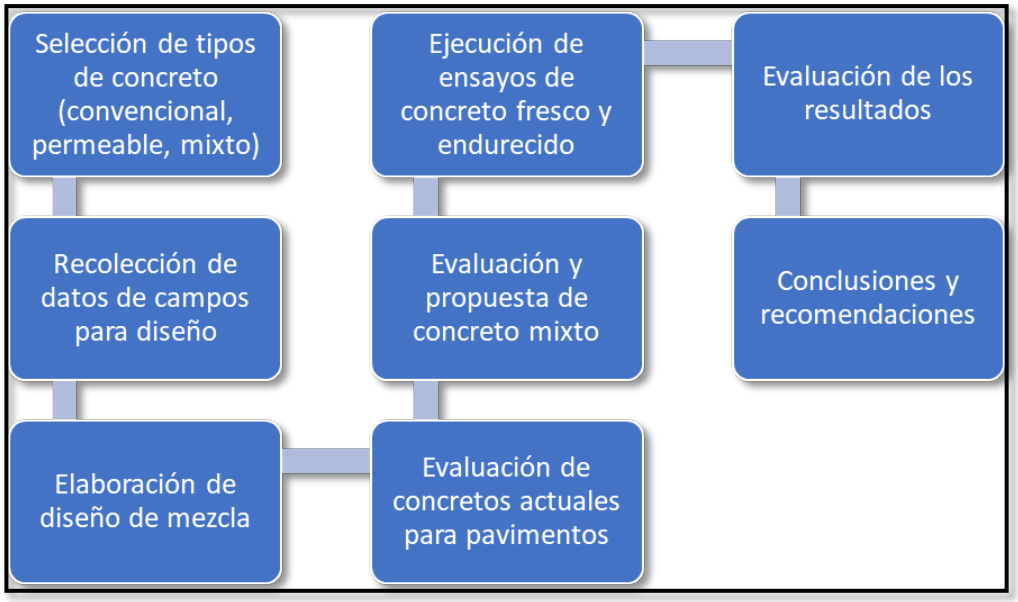


Figura 18. Esquema de ruta crítica para experimento CONCREPM

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Población y muestra

La población se definió como el conjunto de todos los concretos hidráulicos empleados en pavimentos y la selección de muestra fue no probabilística puesto que la decisión de la elección de las muestras obedece a criterios establecidos según reglamentos nacionales (RNE) e internacionales (ASTM, ACI, Etc.) que establecen una cantidad mínima de muestras según el volumen de concreto a utilizar.

Primera etapa: Ensayos preliminares

Con la premisa de ubicar los drenes paralelamente y asumiendo que ésta es la configuración crítica para el modelo (puesto que se puede generar un sinnúmero de configuraciones. Por ejemplo, de forma diagonal, en espiral, conforme un trazo áureo, etc.), se elaboraron tres (03) especímenes para cada tipo de espécimen prismático (Tipo A, Tipo B y Tipo C) con espaciamientos entre drenes de 25mm, 50mm y 100mm todos con drenes de 5/8” de diámetro; siendo un total de nueve (09) especímenes, tal como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2.

Configuración de especímenes prismáticos para ensayos preliminares

Elemento	Tipo	Dimensiones	Diámetro del dren	Espaciamiento	N° de especimenes por modelo
Viga	Tipo A	b = 150mm h = 150mm l = 550mm	5/8"	**25 mm**	3
Viga	Tipo B	b = 150mm h = 150mm l = 550mm	5/8"	**50mm**	3
Viga	Tipo C	b = 150mm h = 150mm l = 550mm	5/8"	**100mm**	3

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Segunda etapa: Ensayos oficiales

Posterior al muestreo y ensayos preliminares, se elaboraron oficialmente un total de 98 especímenes. Los cuales estuvieron conformados por treinta y seis (36) especímenes prismáticos para ensayos a flexión, treinta y seis (36) especímenes cilíndricos para ensayos de compresión y veintiséis (26) especímenes cilíndricos para ensayos de permeabilidad. Esto incluye a todas las variantes de concreto para pavimentos que se desarrollaron en este estudio, tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3.

Configuración de especímenes y ensayos oficiales

Elemento	Tipo	Ensayos a la edad de (dias)		Especímentes por diseño
		7	28	
Vigas	Viga CONCREPM	3.00	3.00	6.00
	Viga CONCREPM con fibra	3.00	3.00	6.00
	Viga Permeable	3.00	3.00	6.00
	Viga Permeable con fibra	3.00	3.00	6.00
	Viga convencional	3.00	3.00	6.00
	Viga Convencioanl con fibra	3.00	3.00	6.00
				36.00
Probetas	Probeta CONCREPM	3.00	3.00	6.00
	Probeta CONCREPM con fibra	3.00	3.00	6.00
	Probeta permeable	3.00	3.00	6.00
	Probeta permeable con fibra	3.00	3.00	6.00
	Probeta convencional	3.00	3.00	6.00
	Probeta convencional con fibra	3.00	3.00	6.00
				36.00
Probetas	Probeta CONCREPM (Ensayo de permeabilidad)		26.00	26
				26
TOTAL				98

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Instrumentos de investigación

En concordancia con la definición clásica del término, ampliamente difundida, medir significa “asignar números, símbolos o valores a las propiedades de objetos o eventos de acuerdo con reglas” (Stevens, 1951). Desde luego, no se asignan a los objetos, sino a sus propiedades (Bostwick y Kyte, 2005).

En consecuencia, la presente investigación se realizó mediante trabajos de laboratorio y procesamiento de datos en gabinete. A continuación, se presentan los instrumentos de investigación que fueron de utilidad para obtener los resultados y trabajar los datos.

Para elaborar el diseño de mezcla:

- Diseño de mezcla de concreto convencional, por el método de ACI
- Diseño de mezcla de concreto permeable por el método del ACI.
- Normativas peruanas y extranjeras

Para validar el diseño de mezcla:

- Pruebas en concreto fresco
    - ✓ Slump
    - ✓ Temperatura
    - ✓ Peso unitario
- Prueba en concreto endurecido
    - ✓ Ensayo de compresión
    - ✓ Ensayo de flexo tracción
    - ✓ Ensayo de permeabilidad

Para medir las variables dependientes:

- Máquina para ensayos de compresión y tracción
- Permeámetro de caída de presión

La validación de estos instrumentos está respaldada por las normativas peruanas (RNE) y norte americanas (NTP, ACI, ASTM)

En la tabla 4 se establece la siguiente matriz de operacionalización de las variables dependientes que muestra la transición de las variables a sus dimensiones o componentes, luego a los indicadores, índices y finalmente a los ítems.

Tabla 4.

Resumen de operacionalización de las variables dependientes

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICES	ITEMS
Variable1: Resistencia a compresión	capacidad del concreto a resistir fuerzas de compresión	kg/cm2	Para peso unitario mayor a 800kg/m3 1. 70% de resistencia a 7 días de ensayo 2. 80-90% de resistencia a 14 días de ensayo 3. 100% de resistencia a 28 días de ensayo	Tipo de falla: 1. Cono 2. Cono y separación 3. Cono y corte 4. Corte 5. Columna	A) Aceptable B) Otro tipo de falla Descartar
Variable2: Resistencia a flexión	capacidad del concreto a resistir fuerzas de tracción	kg/cm2	10-20% de la resistencia a compresión a los 28 días	Tipo de rotura: A) Rotura dentro del tercio medio. B) Rotura fuera del tercio medio, no mayor al 5% de L. C) Rotura fuera del tercio medio, mayor al 5% de L.	A) Aceptable B) Aceptable C) Descartar
Variable3: velocidad de permeabilidad	parámetro que muestra la eficiencia de un liquido que atraviesa por un medio poroso	cm/s	Contenido de vacíos 15-35% (81 a 730 L/min/m2)	Según normativa ACI 522R-10 (81 a 730 L/min/m2)	A) <81 Descartar B) 81<>730 Aceptable C) >730 Descartar

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Procedimientos de recolección de datos

Generalidades

Los datos se obtuvieron de los ensayos en las muestras establecidas para cada diseño. En general, para la etapa preliminar se ensayaron nueve (09) especímenes prismáticos y para la etapa oficial se ensayaron treinta y seis (36) especímenes prismáticos mediante ensayos a flexión, treinta y seis (36) especímenes cilíndricos mediante ensayos de compresión y otros veintiséis (26) especímenes cilíndricos mediante ensayos de permeabilidad. Finalmente, los resultados obtenidos se analizaron comparativamente con la finalidad responder al planteamiento del problema e hipótesis.

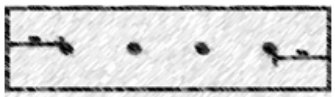
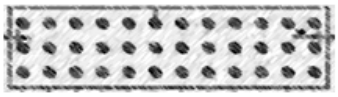
Obtención de data preliminar

Parámetros iniciales

Para la primera etapa se diseñaron las características mecánicas de resistencia a la compresión para el concreto convencional realizando un diseño base para obtener una resistencia a la compresión de 350 Kg/cm2 y se asignó el mismo diseño para el concreto CONCREPM. Durante este periodo se buscó hallar el espaciamiento óptimo entre drenes verticales para una configuración crítica de los mismos con un diámetro establecido en 5/8”.

Se fabricaron nueve especímenes prismáticos de tres tipos, cuyas características se muestran en la tabla 5.

Tabla 5.
Distribución de drenes durante la etapa preliminar (Tipo A, Tipo B y Tipo C)

Espécimen	Modelo	Dimensiones	Diámetro del dren	Espaciamiento
Tipo A		b = 150mm h = 150mm l = 550mm	5/8"	100mm
Tipo B		b = 150mm h = 150mm l = 550mm	5/8"	50mm
Tipo C		b = 150mm h = 150mm l = 550mm	5/8"	25mm

Fuente: Elaboración propia, 2019

Posterior a ello, se utilizaron estos resultados para definir el contenido de vacíos que debería tener el concreto permeable. Se realizó el diseño y se definieron 09 muestras de espécimen cilíndrico para obtener el diseño Óptimo

Ajuste de diseño de mezcla

Se realizó un diseño de mezcla para un concreto f'c=350Kg/cm2, teniendo las consideraciones de Slump mayor a 7" para mantener una adecuada trabajabilidad del concreto fresco. Pero el slump debe ser el adecuado puesto que a un slump superior ocasionaría la segregación del concreto, haciendo que los agregados gruesos y finos desciendan a la base y el agua sube a la superficie. Para optar el diseño adecuado se manejó estas consideraciones realizando el ajuste del agua de diseño, sin variar la resistencia del concreto. Después de varias pruebas se definió las proporciones correctas de los materiales a emplearse para la elaboración del concreto.

En la tabla 6 y 7 se muestran los requerimientos de volúmenes de concreto para moldes cilíndricos 4x8 in y especímenes prismáticos de 150x150x550 mm respectivamente.

Tabla 6

Cantidad requerida de concreto para especímenes cilíndricos (m3)

cilindricas 4"x8"		
# de probetas	9	
factor desperdicio	1.2	
volumen	0.017	m3

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 7

Cantidad requerida de concreto para especímenes prismáticos (m3)

vigas de 55x15cm		
# de vigas	3	
factor desperdicio	1.2	
volumen	0.045	m3

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 8 y 9 se muestran los requerimientos de peso de cada componente del concreto para especímenes cilíndricos 4x8 in y especímenes prismáticos de 150x150x550 mm respectivamente.

Tabla 8

Requerimiento de materiales para especímenes cilíndricos (Kg)

PESO FINAL DE MEZCLA-PROBETAS		
MATERIALES	VOLUMEN (m3)	PESO (kg)
CEMENTO	0.003	8.66
AGUA	0.004	4.22
AGREGADO GRUESO	0.004	11.93
AGREGADO FINO	0.005	14.18
AIRE	0.000	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 9

Requerimiento de materiales para especímenes prismáticos (Kg)

PESO FINAL DE MEZCLA-VIGAS		
MATERIALES	VOLUMEN (m3)	PESO (kg)
CEMENTO	0.0072	22.74
AGUA	0.0111	11.08
AGREGADO GRUESO	0.0114	31.33
AGREGADO FINO	0.0139	37.24
AIRE		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Y con estos datos se procedió a realizar la mezcla que se colocó en las tres variantes de encofrados que se fabricaron para esta etapa, *(ver Figuras: 21, 22 y 23).*

Fabricación de encofrados para especímenes prismáticos

Se elaboraron en reducida cantidad (09 especímenes prismáticos) para los modelos por ensayar en esta primera etapa, el material escogido fue el triplay fenólico ya que es un material con alta durabilidad al ser utilizado como encofrado. Las dimensiones del encofrado prismático son de sección cuadrada de 15x15cm y una longitud de 55cm. Según la norma ASTM C78/C78M “Cuando se utilice especímenes moldeados, se debe girar el espécimen de ensayo sobre su lado con respecto a su posición como fue moldeado y centrarlo en los bloques soporte. Cuando se utilice especímenes cortados, colocar el espécimen de tal manera que la cara de tensión corresponda a la parte superior o inferior del espécimen como fue cortado del material original”. Tomando en cuenta ambos criterios se implementó el sistema de entubado como se muestra en la figura 19 (disposición de tubos horizontales). para que las secciones tubulares queden dispuesto verticalmente al momento del ensayo y al aplicar la carga los esfuerzo generados serán como se muestra en la figura 20, similares a las condicionales reales que tendrá el pavimento con la implementación de esta alternativa de concreto CONCREPM.

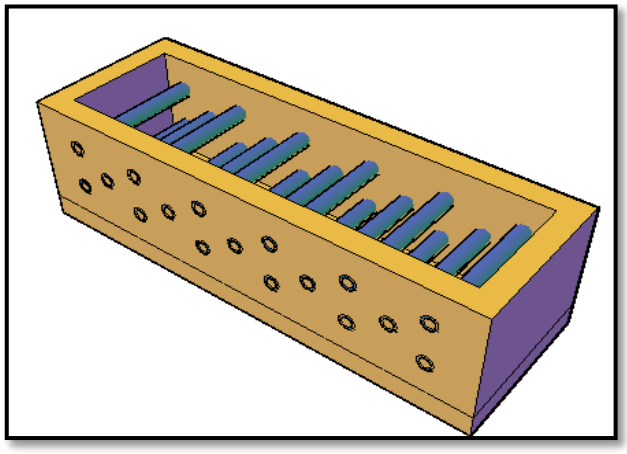


Figura 19. Sistema para entubado de encofrados

Fuente: Elaboración propia, 2019.

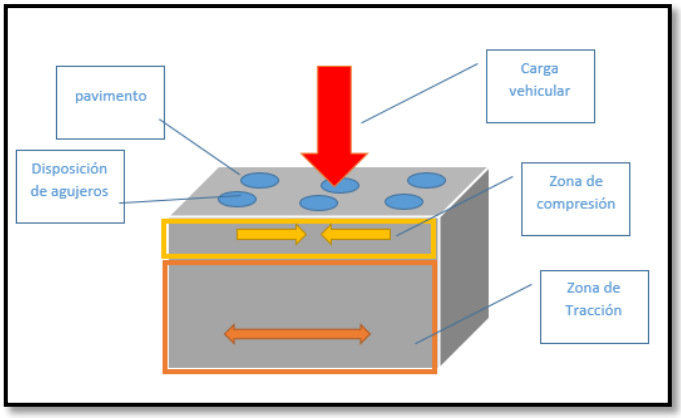


Figura 20. Esquema de esfuerzo generado por carga vehicular

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La distribución y separación de los agujeros se realizaron en AutoCAD a escala 1:1 para luego imprimirlo y usarlo de molde para el encofrado propuesto, en las Figuras 21, 22 y 23 se muestran las distribuciones de los agujeros, se consideró esta configuración puesto que se considera la más crítica por su alineación de falla a lo largo de una sección.

Además, se consideró algunos requerimientos básicos, como son el espaciamiento mínimo entre caras de agujeros, el cual tiene que ser el TMN (tamaño máximo nominal) del agregado grueso para evitar la segregación de la mezcla de concreto. Finalmente se modelaron distribuciones con espaciamientos mayores al TMN del agregado grueso utilizando drenes de 5/8” de diámetro. (Ver Figuras 21, 22 y 23).

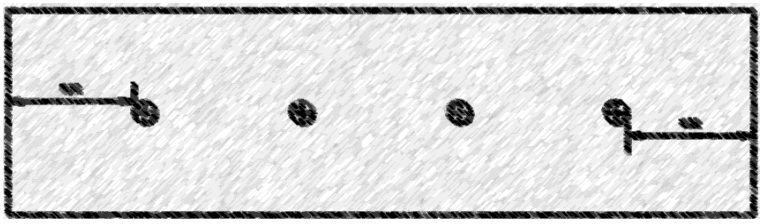


Figura 21. Distribución y separación de drenes para el modelo Tipo A (Drenes de 5/8” espaciados 100mm)

Fuente: Elaboración propia, 2019.

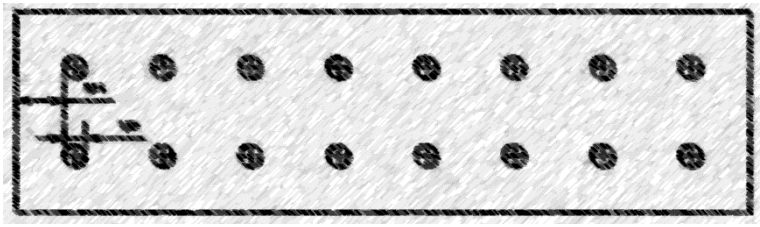


Figura 22. Distribución y separación de drenes para el modelo Tipo B (Drenes de 5/8” espaciados 50mm)

Fuente: Elaboración propia, 2019.

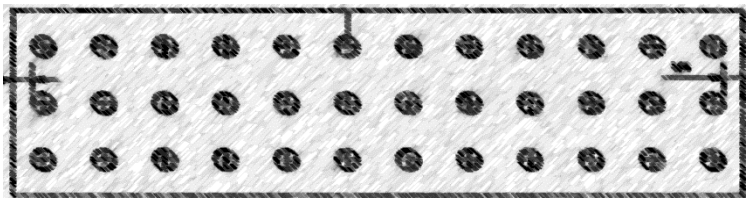


Figura 23. Distribución y separación de drenes para el modelo Tipo C (Drenes de 5/8” espaciados 25mm)

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Calibración de la velocidad de carga para ensayo de especímenes prismáticos.

Para calibrar la velocidad de carga, según la ASTM C78C se debe considerar ciertos requerimientos que se mencionan a continuación: la carga aplicada al centro del espécimen prismático debe ser constante y los esfuerzos que se pueden considerar a la cara del espécimen prismático van en el rango de 0.9 y 1.2 MPa/min hasta que la rotura ocurra. Para los ensayos se utilizó una velocidad de carga de r=0.02kg/cm2/s para el espécimen prismático planteado.

Ensayo de moldes cilíndricos

Para corroborar el diseño de mezcla se procedió a realizar las roturas de los especímenes cilíndricos, para este caso se elaboraron cuatro (04) especímenes cilíndricos de 4”x8” de dimensión. A continuación, se muestra en la tabla 11, el resumen de los resultados de rotura y se procede a contrastar con el diseño de resistencia de rotura a compresión teórica, planteada en la tabla 10.

Tabla 10

Esfuerzo de compresión teórico para 7, 14 y 28 días

diseño (7dias)	diseño (14dias)	Diseño (28dias)
70% de la resistencia	80% de la resistencia	f'c (kg/cm2)
245.00	280.00	**350**
245.00	280.00	**350**
245.00	280.00	**350**
245.00	280.00	**350**

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 11

Esfuerzo de compresión real ensayado a los 14 días y proyectado a los 7 y 28 días

Especimenes	Dimesiones		Resultados 14 dias	verificacion (14dias)	Proyeccion (7dias)	Proyeccion (28dias)
	D (cm)	H (cm)	f'c (kg/cm2)	>80% de la resistencia	70% de la resistencia	100% de la resistencia
A1	10.18	20.42	285.59	82%	249.89	356.99
A2	10.12	20.5	296.2	85%	259.18	370.25
B1	10.13	20.5	325.27	93%	284.61	382.67
B2	10.1	20.5	332.1	95%	290.59	390.71

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Posterior a realizar los ensayos, se consolida y presentan los valores obtenidos en el siguiente cuadro:

Figura 24. Relación de resistencia a la compresión entre los modelos A1, A2, B1 B2 y el parámetro de diseño

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Ensayo preliminar de especímenes prismáticos

Para el ensayo de los especímenes prismáticos, se procedió a dividirlo con un marcador en ambos extremos del espécimen prismático a una distancia de 2.5 cm y seguidamente la parte interior en 3 partes iguales para ver el tipo de falla del espécimen prismático. En la tabla 12 se muestra los resultados del ensayo a flexo-compresión. Todas las fallas del ensayo de los especímenes prismáticos se dieron al tercio central, *(Ver Figura 33)* por lo que se sugiere utilizar la siguiente formulación para obtener el módulo de rotura del espécimen prismático:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

$R =$ Modulo de rotura, MPa (psi).

$P =$ Máxima carga aplicada N (lbf).

$L =$Longitud libre de espécimen prismático, mm (in).

$b =$ Ancho del espécimen, mm (in), en el punto de fractura.

$d =$ Altura promedio del espécimen, en el punto de fractura.

Tabla 12

Resistencia a flexión en los especímenes prismáticos de tipo A, B y C

Espaciamiento (cm)	Especimenes	Resistencia flexion (kg/cm2)
10	V4-1	39.22
10	V4-2	39.53
5	V16-1	30.52
5	V16-2	30.36
2.5	V36-1	26.54
2.5	V36-2	28.37

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Obtención de distribución de optima

Para obtención de la distribución se realizará la intersección de las variables de porcentaje de vacíos y módulo de rotura promedio del espécimen prismático vs el espaciamiento planteado. En la tabla 13 se muestra las tres variables a emplear.

Tabla 13

Variables para determinar la distribución óptima

Elemento	Tipo	% de Vacios	Espaciamiento (mm)	MR (kg/cm2)
Viga	Tipo A	11.44	**25**	27.46
Viga	Tipo B	4.47	**50**	30.44
Viga	Tipo C	1.61	**100**	39.38

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para finalizar la etapa de ensayos preliminares, se calculó el valor óptimo de espaciamiento adecuado para drenes verticales de establecidos a 5/8” de acuerdo con el tamaño máximo nominal de agregado grueso. Estos resultados preliminares se presentan en la Figura 25.

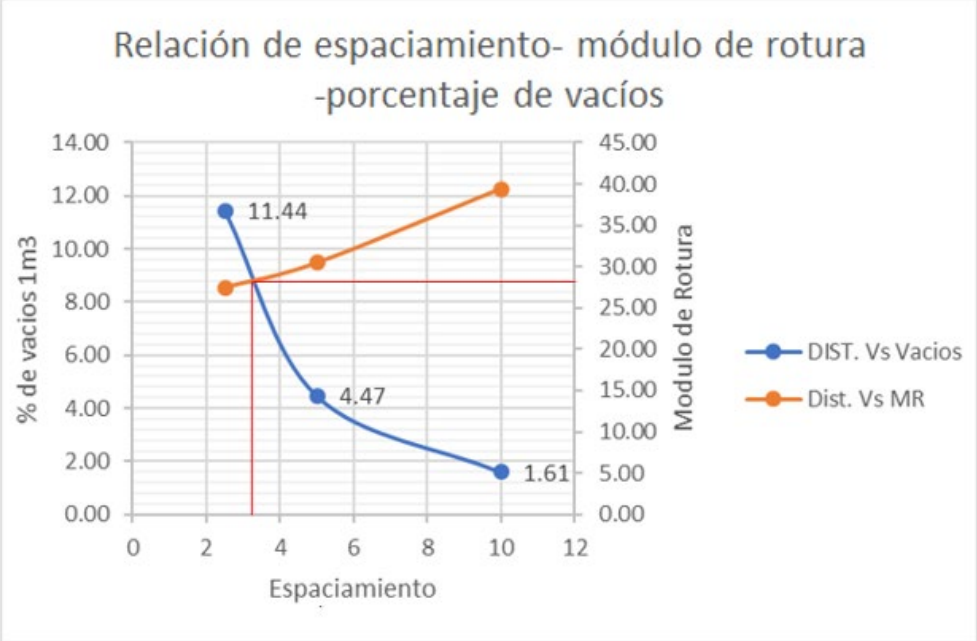


Figura 25. Determinación del espaciamiento óptimo entre drenes verticales (32mm a un MR de 28 Kg/cm2)

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Como se puede apreciar en la Figura 25, los resultados de los ensayos preliminares para especímenes prismáticos CONCREPM conforme con los parámetros establecidos y presentado previamente, indican que para drenes verticales de 5/8”, el espaciamiento y el porcentaje de vacíos óptimo serían de 32mm y 8.2% respectivamente, este último dato se tradujo en 30 drenes verticales para la elaboración de los especímenes oficiales.

Fotografías de los ensayos preliminares

A continuación, se muestran los procedimientos que se realizaron en el laboratorio:

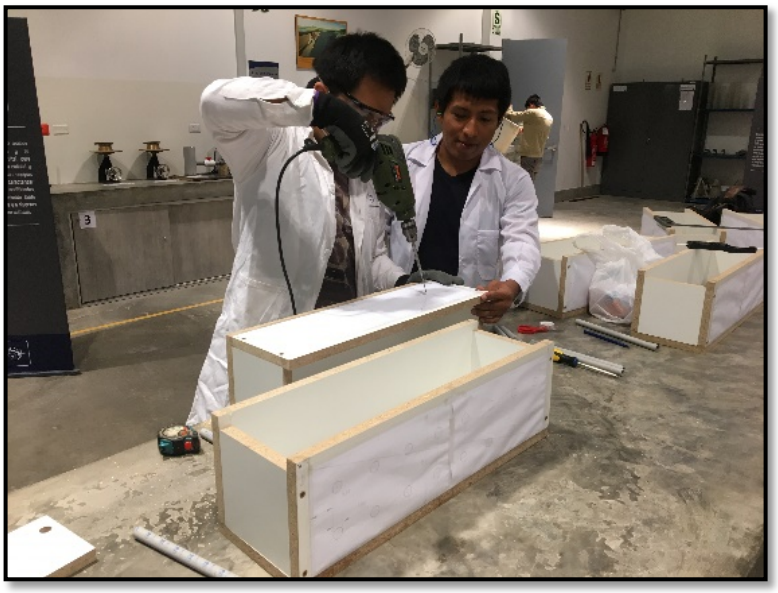


Figura 26. Fabricación de encofrado para especímenes prismáticos

Fuente: Elaboración propia, 2019.

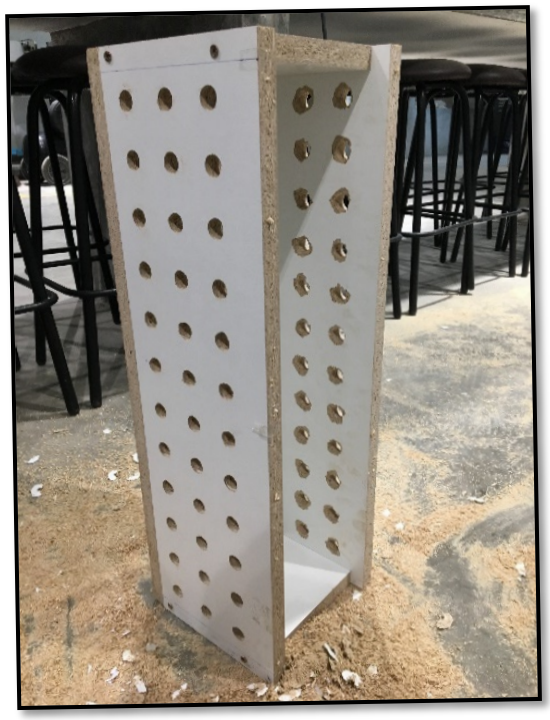


Figura 27. Encofrado para espécimen prismático CONCREPM

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 28. Moldes prismáticos para CONCREPM con desmoldante CHEMALAC

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 29. Verificación del asentamiento mediante el ensayo del Cono de Abrams

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 30. Colocación y compactación de mezcla de concreto

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 31. Vaciado de especímenes prismáticos y cilíndricos

Fuente: Elaboración propia, 2019.

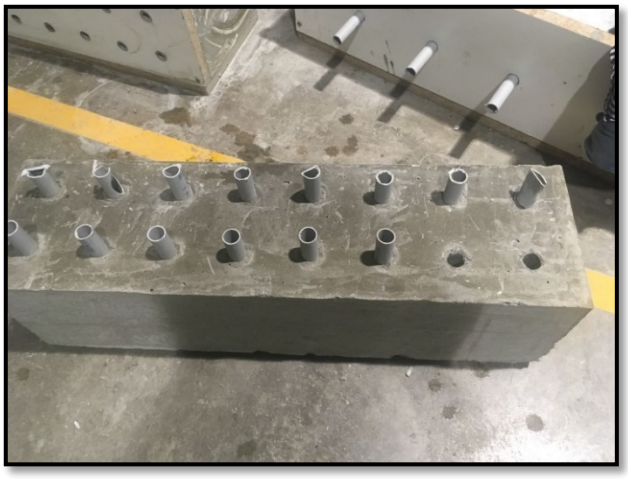


Figura 32. Desmoldado de especímenes prismáticos y preparación para curado

Fuente: Elaboración propia, 2019.

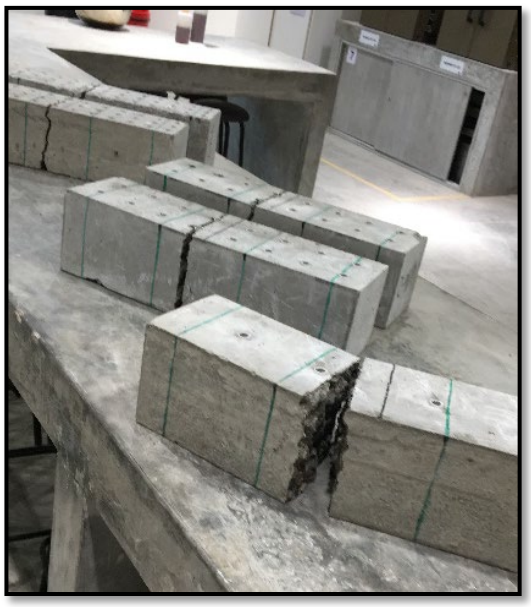


Figura 33. Rotura de especímenes prismáticos preliminares- falla al tercio central

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 34. Rotura de especímenes cilíndricos para verificar la resistencia de diseño - Falla tipo Cono
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Obtención de data oficial

Metodología

La metodología para la recolección y procesamiento de datos de laboratorio para el siguiente proyecto se realizó de acuerdo con las especificaciones de la ASTM y ACI, que regulan el muestreo y los ensayos.

Debido a que el global de esta investigación tiene un vasto alcance, inicialmente se delimitó el proyecto con la finalidad de cumplir con la expectativa de un producto final a nivel de laboratorio, el cual deberá ser evaluado a profundidad en futuras investigaciones. Se definieron parámetros como la cantidad de ensayos para tener el mínimo de datos confiables, características específicas de los especímenes a ensayar tanto cilíndricos como prismáticos, equipos de ensayos, entre otros; para lo cual se tomaron múltiples consideraciones, tales como las condiciones de manejo de mezclas de concreto, las condiciones climáticas que puedan afectar a los agregados los costos para la elaboración y ensayos de la muestra, entre otros.

Posteriormente, se definieron los ensayos que se deben realizar a los agregados (grueso y fino) para obtener sus propiedades físicas y mecánicas (porcentaje de humedad, cantidad de finos, porcentaje de absorción, peso específico suelto/compacto, tamaño máximo / máximo nominal) que son esenciales para realizar el diseño de mezcla. Seguidamente se realiza una memoria de cálculo según el método ACI, para determinar las proporciones de los componentes que conforman la mezcla de concreto (agregado grueso/fino, agua, cemento, aditivo y adiciones).

Seguidamente al diseño, se definió los tipos de moldes para realizar el encofrado para cada tipo de concreto, los cual se mencionan a continuación; para elemento cilíndricos se empleó un espécimen cilíndrico de 4”x8” la cual no debe deformarse al momento del colocado del concreto. Y para elementos prismáticos (especímenes de viga), acogiendo lo indicado a la ASTM C 78 /C78M-16, se planteó un encofrado de las siguientes dimensiones 15x15x55cm. Y para el concreto CONCREPM la variante de los moldes fue que estos llevaron insertos de tubos de 5/8” para simular drenes verticales.

Seguidamente se realizó la validación del diseño de mezcla, para lo cual se siguió la siguiente secuencia.

Selección y obtención de las características de los materiales para el diseño de mezcla

Para el desarrollo de la investigación, en primer lugar, se tomó en consideración el tipo de material granular a utilizar, se consideraron 3 tipos de agregados gruesos, que tienen las siguientes características: confitillo, agregado de TMN ½” y agregado de TMN ¾”. Estos fueron evaluados tomando en consideración que el diseño de mezcla de concreto tendría una limitante de resistencia y espaciamiento libre para el concreto permeable modificado. Debido a lo antes mencionado, el confitillo se descartó porque en condiciones de obra o planta se tiene la limitante de la producción en masa del agregado con dimensiones reducidas, puesto que requiere varios procesos de chancado antes de obtener la dimensión adecuada, por otra parte, el uso del agregado de TMN ¾” tiene mayor facilidad de producción, sin embargo, para la distribución de los ductos verticales que se determinó para el concreto permeable

modificado, se identificó que se tendría complicaciones para el proceso de colocado de concreto y esto generaría problemas de segregación y cangrejeras en las muestras elaboradas: por lo cual se optó usar el agregado de TMN ½" que se adecuó a las limitantes para los agregados. Posteriormente se procedió con la caracterización de este agregado mediante ensayos para determinar en contenido de humedad, porcentaje de absorción, uso granulométrico y pesos específicos.

En cuanto a la elección de agregados fino, se empleó una arena pasante a la malla N° 4 y que el porcentaje de fino pasante a la malla N°200 sea inferior del 5% del peso total de muestra representativa para ensayos de granulometría, con lo cual se asegura que la arena este limpio de material fino. Posteriormente se procedió a recolectar datos del agregado, las cuales son: contenido de humedad, porcentaje de absorción, uso granulométrico, peso específico suelo/ compacto.

Para el cemento, se consideró que sea comercialmente fácil de adquirir, por lo cual se escogió cemento sol, tipo I con una densidad de 3.15kg/cm3. En cuanto al almacenamiento se tomaron las siguientes consideraciones; aislamiento del contacto directo de humedad mediante una base de madera y cubierta de protección.

El agua debe ser potable y limpia para no alterar la mezcla de concreto, por lo cual se debe verificar que no contenga soluciones químicas como cloruros y sulfatos.

Diseño de mezcla de concreto y validación de diseño

Después de definir el tipo de material a emplear, se procede a realizar el diseño de mezcla para cada tipo de concreto; concreto convencional y concreto permeable. Para lo cual se toma las consideraciones brindadas por el comité 211 del ACI. Mencionadas en el siguiente párrafo:

Diseño de mezcla de concreto

Los parámetros utilizados en el diseño de mezcla de concreto se obtuvieron a partir de:

✓ Análisis granulométrico de los agregados Fino y grueso

✓ Peso unitario del agregado grueso

✓ Peso específico de masa, porcentaje de absorción y contenido de humedad de los agregados

✓ Tipo del cemento Portland

✓ Peso específico del cemento

✓ Requerimientos de agua en la mezcla, en base a los agregados disponibles.

El procedimiento de diseño de mezclas de concreto, en 8 pasos que son:

✓ Selección del asentamiento

✓ Selección del tamaño máximo del agregado

✓ Estimación del agua de mezclado y el contenido de aire

✓ Selección de la relación agua/cemento

✓ Cálculo del contenido de cemento

✓ Estimación del contenido de Agregado grueso

✓ Estimación del contenido de Agregado fino

✓ Ajuste por humedad del agregado

Selección y elaboración de materiales para moldes

Para la elaboración de los especímenes, se consideró lo siguiente:

Moldes de especímenes de concretos prismáticos (Vigas) se empleó como material de encofrado el triplay fenólico (e=18mm), la cual por tener la superficie laminar lisa facilito para temas de desencofrado y generación de superficie lisa del espécimen de concreto. Adicionalmente por su resistencia a la humedad se pudo reutilizar para los encofrados. Y para el concreto CONCREPM la variante de los moldes fue que estos llevaron insertos de tubos de 5/8” para simular drenes verticales. Las dimensiones internas de los moldes empleadas fueron 15cmx15cmx55cm. (ver Figura 35)

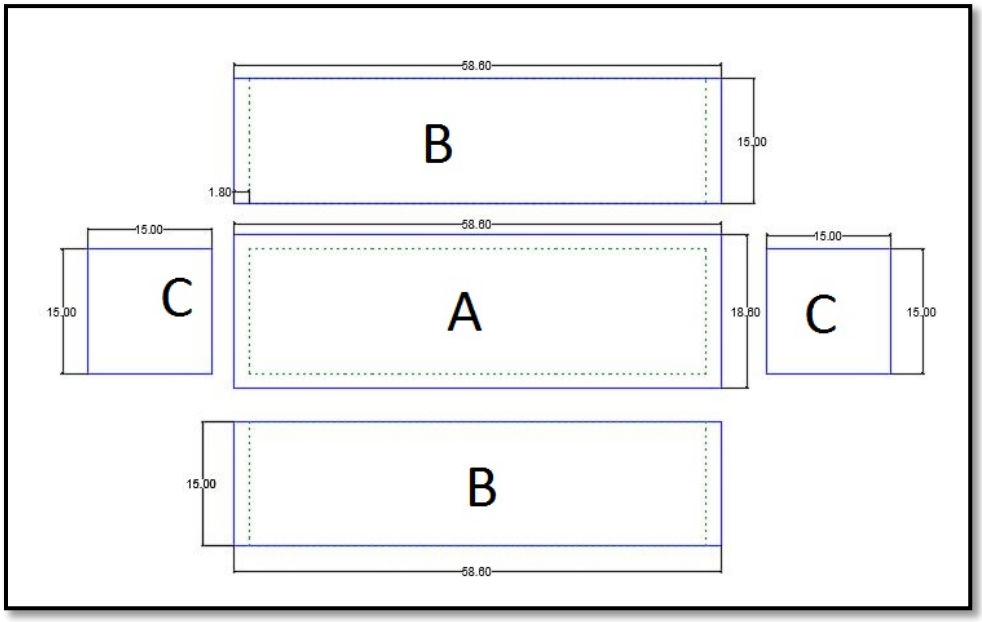


Figura 35. Plano de ensamble para el molde prismático.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Moldes de especímenes de concreto cilíndricos (probetas) se utilizaron probetas de PVC 4”X8”. Las cuales tienen un espesor 6mm la cual garantiza que no se genere deformaciones en el espécimen. Y para el concreto CONCREPM la variante de los moldes fue que estos llevaron insertos de tubos de 5/8” para simular drenes verticales.

Plan de ejecución de pruebas de concreto fresco y endurecido

Para el control de calidad del concreto fresco se tuvo en consideración lo siguiente:

Para el muestreo de especímenes, la NTP 339.036; ASTM C-172 menciona que el tiempo total de mezclado debe ser de aproximadamente quince minutos (15min), donde los controles de asentamiento, temperatura, contenido de aire y peso unitario tienen que durar entre cinco (5min) a diez minutos (10min), ver Figura 36. Adicionalmente se debe proteger a los especímenes de concreto fresco del sol, viento u otra fuente de evaporación y/o contaminación, evitar transportarlos distancias extensas después del vaciado y

finalmente perfilar la muestra fresca para tener una superficie uniforme.

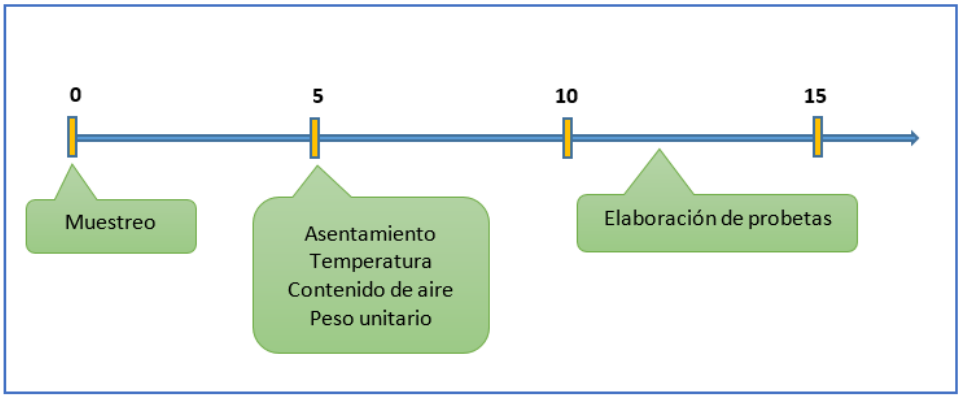


Figura 36. Tiempo estimado de control de calidad y elaboración de especímenes.

Fuente: NTP 339.036; ASTM C-172

A continuación, se detalla los ensayos de control de calidad de los especímenes:

Determinación de la temperatura; según especificaciones (NTP 339.184; ASTM C-1064) se determina la temperatura del concreto para verificar el cumplimiento de los requerimientos especificados (condiciones climáticas de lugar de aplicación) y ver el estado de hidratación de la mezcla, en la tabla 14 se menciona unos criterios que se deben tomar en consideración. Por ejemplo, en zonas de colocado de concreto a intemperie y en condiciones bajo 0°C se debe implementar microclimas, a través del uso de carpas zonales, para estabilizar la temperatura de la zona, utilizando en la práctica, dragones de aire caliente, buscando mantener una gradiente de temperatura entre el exterior e interior de aprox. 10°c a 12°c. durante las siguientes 12horas (ANDESCURA, Recomendaciones de hormigonado en tiempo frio -ficha técnica) y para climas con temperaturas superiores a 30°, se puede controlar la temperatura de agua para cuando el concreto este en el proceso de generación de calor de hidratación, esta no tenga un cambio brusco y genere

endurecimiento rápido del concreto lo cual genera micro fisura en el concreto .

Para la medición de la temperatura, se debe tener un recipiente no absorbente, con un recubrimiento de al menos de 3in en todas las direcciones o por lo menos 3 veces de TM del agregado grueso (Figura 37).

Figura 37. Medición correcta de temperatura.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 14

Criterio de aceptación de temperatura.

Descripción		Criterio de Aceptación ASTM C 94/C 94M-07 - NTP 339.114				
Clima frío	Temp. mínima	Sección mm	<300	300 - 900	900 - 1800	> 1800
		℃	13	10	7	5
	Temp. máxima	32 ℃				
Clima cálido	T = Mas baja posible. Si T ≈ 32 ℃ se puede encontrar dificultades					

Fuente: ASTM C94/C94M-07 – NTP 339.114.

Asentamiento con el cono de Abrams: Según las especificaciones 339.035; ASTM C-143, el asentamiento del concreto fresco puede variar en un rango de ½” a 9”, según los requerimientos establecidos. Para la toma de datos se utilizó los siguientes equipos e instrumentos:

- ✓ Cono de Abrams
- ✓ Diámetro inferior 200mm
- ✓ Diámetro superior 100mm
- ✓ Altura de 300mm
- ✓ Tolerancias de +- 3mm
- ✓ Espesor de 1.5mm
- ✓ Barra compactadora de acero liso con punta semiesférica de 5/8” (16mm) x 24” (600mm)
- ✓ Instrumento de medidas; regla o wincha.

Figura 38. Medición de asentamiento con el cono Abrams

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Consideraciones especiales:

- ✓ Se debe compactar en tres capas de 25 golpes en cada capa.
- ✓ El trono cónico se debe retirar a una velocidad constante durante aprox. 5 segundos.
- ✓ Todo el ensayo no debe superar un tiempo máximo de 2 minutos y medio.

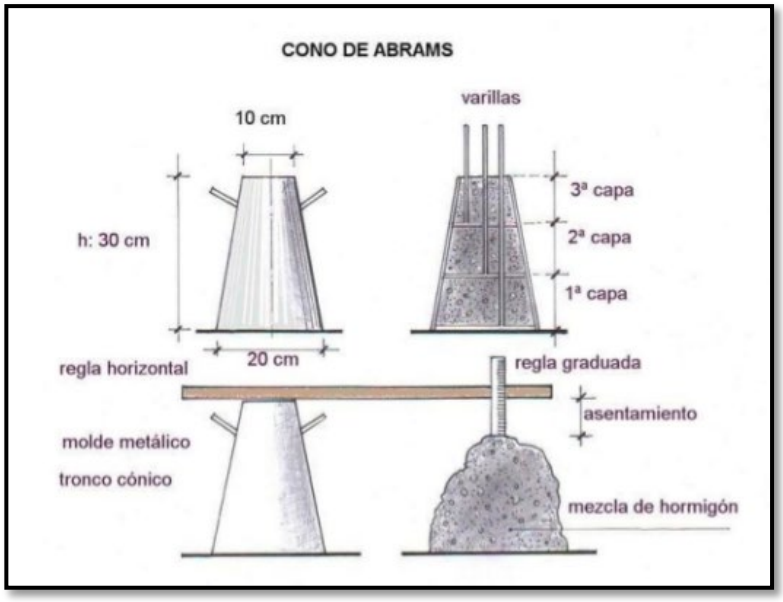


Figura 39. Consideraciones para la ejecución del ensayo de Slump

Fuente: 339.035; ASTM C-143

- **Peso Unitario**, según las especificaciones (NTP 339.046; ASTM C-138) para determinar el peso de 1m3 de concreto. El peso unitario del concreto convencional normalmente esta entre 2240kg/m3 a 2460kg/m3. El cambio del P.U del concreto puedo indicar un cambio en uno o más requisitos de desempeño del concreto.

Equipos:

- Balanza
- Barra compactadora de acero liso con punta semiesférica de 5/8” (16mm) x 24” (600mm)
- Recipiente cilíndrico
- Placa de enrasado
- Mazo de goma

Figura 40. Medición de peso unitario del concreto.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

- ✓ **Contenido de aire – método presión**; según las especifícanos (NTP 339.083, ASTM C231) El aire contenido en el concreto generalmente ocupa del 1% al 3% del volumen de la mezcla. Los cuales están en función a las proporciones, características físicas de los agregados y el método de compactación. El método de presión sirve para determinar el contenido de aire de concreto de agregados densos y relativamente densos.
- ✓ Equipos:
- ✓ Medidos de aire tipo Washington
- ✓ Barra compactadora de acero liso con punta semiesférica de 5/8” (16mm) x 24” (600mm)
- ✓ Placa para nivelar
- ✓ Mazo de goma

Figura 41. Medición de contenido de aire.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

- ✓ **Elaboración y curado de especímenes cilíndricos y prismáticos;** según las especificaciones técnicas (NTP 339.033, ASTM C 31) La elaboración, curado y transporte de especímenes cilíndricos y prismáticos (vigas) representativas del concreto colocado en obra. Los moldes deben ser puesto en superficies nivelada, libre de vibraciones, tránsito vehicular o peatonal, evitando la exposición directa al sol.

Para especímenes cilíndricos:

- ✓ Moldes cilíndricos de 4x8 in. (100x200mm)
- ✓ Barra compactadora de acero liso con punta semiesférica de 1/2” (10mm) x 12” (300mm)
- ✓ Placa de enrasado
- ✓ Mazo de goma

Para especímenes prismáticos:

- ✓ Moldes prismáticos de 15cmx15cmx55cm
- ✓ Barra compactadora de acero liso con punta semiesférica de 5/8” (16mm) x 20” (500mm)
- ✓ Placa de enrasado
- ✓ Mazo de goma

Figura 42. Elaboración y cura de muestra de concreto

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Consideraciones especiales:

Elaboración probetas cilíndricas:

- ✓ Llenar y compactar en 2 capas iguales
- ✓ El compactado se realiza con la varilla dando 25 golpes en cada capa
- ✓ Penetrar 2.5 cm (1”) en la capa anterior.
- ✓ Dar de 10 a 15 golpes laterales diametrales con el mazo de goma
- ✓ Enrasar la superficie final e identificar los especímenes
- ✓ Proteger para evitar evaporación.
- ✓ *el mal acabado de la cara del cilindro afecta la resistencia del concreto.

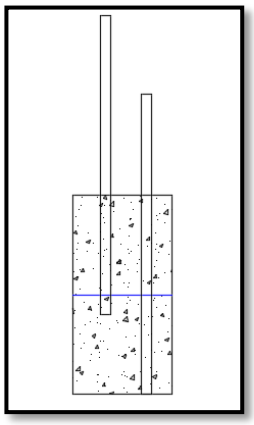


Figura 43. Disposición de compactación de especímenes cilíndricos

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Elaboración especímenes prismáticos (vigas):

- ✓ Llenar y compactar en 2 capas iguales
- ✓ El compactado se realiza con la varilla donde el número de golpes de varilla por capa, uno cada 2in^2 (14cm2) del área de superficie superior de la viga.
- ✓ Penetrar 2.5 cm (1”) en la capa anterior.
- ✓ Dar de 10 a 15 golpes laterales diametrales con el mazo de goma
- ✓ Enrasar la superficie final e identificar los especímenes
- ✓ Proteger para evitar evaporación.

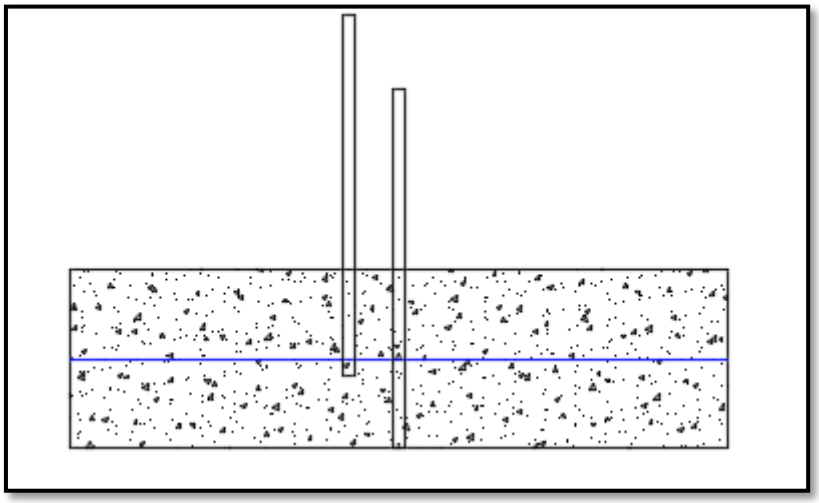


Figura 44. Disposición de compactación de especímenes prismáticos

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Curado estándar:

- ✓ Los especímenes cilíndricos prismáticos (vigas) que evalúan la calidad del concreto se desmoldan antes de las 48 horas después de moldeadas.
- ✓ Una vez desmoldado los especímenes cilíndricos de concreto, no se debe exceder los 30min para colocarlo en un ambiente húmedo
- ✓ El propósito del curado húmedo es maximizar la hidratación del cemento.

Durabilidad de concreto

La durabilidad de concreto propuesto se puede manejar mediante un diseño por durabilidad en cual limita la relación de agua/cemento. Según la norma ACI, (ver figura 45) una relación

A/C baja reduce la porosidad del concreto endurecido y mejora la traba en los sólidos, de esa forma proporciona que los agentes contaminantes no ingresen libremente a la estructura del concreto y puedan comprometer a la estructura interna del concreto. Según lo mencionado y puesto que el diseño de mezcla de concreto mixto CONCREPM es la misma que el de un concreto convencional. De esa forma se pretender tener una contingencia por durabilidad.

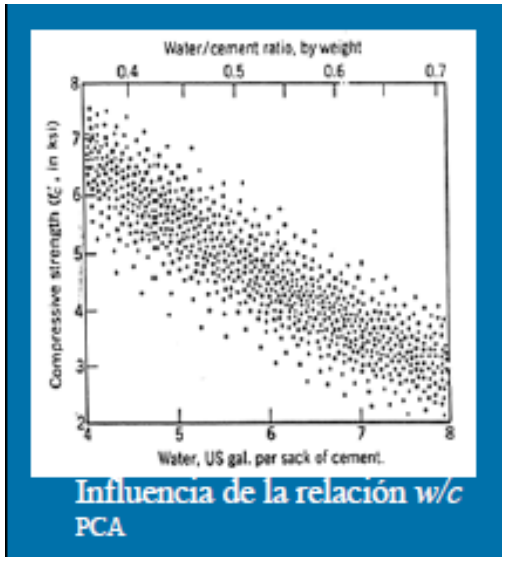


Figura 45. Influencia de la relación A/C en la durabilidad del concreto

Fuente: Norma ACI.

Resistencia a la compresión

Es la medida más común de desempeño que se usa para el diseño de cualquier estructura. Los resultados de la prueba de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para evaluar el cumplimiento del concreto suministrado con la resistencia especificada.

Condiciones

- ✓ Corresponde al promedio de la resistencia de tres especímenes cilíndricos de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura ensayadas a los 28 días. (ACI 318.08)
- ✓ Aceptación
- ✓ Si cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia a los 28 días será mayor o igual al especificado.
- ✓ Ningún ensayo individual de resistencia será menor que f'c en más de 0.10f´c cuando f´c>350 kg/cm2.

Figura 46. Ensayo de compresión de especímenes cilíndricos

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Las tolerancias de ensayos son aquellas tolerancias que se muestran en la tabla 15

Tabla 15

Tolerancia de tiempo permisible para cada tiempo de ensayo

Edad de Ensayo	Tolerancia de tiempo Permisible NTP 339.034	
	horas	%
24 h	± 0.5	± 2.1
3 d	± 2	± 2.8
7 d	± 6	± 3.6
28 d	± 20	± 3.0
90 d	± 48	± 2.2

Fuente: Norma técnica peruana (NTP 339.034)

Equipo para ensayo de compresión y flexión

A continuación, la Figura 47 muestra el equipo utilizado para el ensayo de resistencia a la compresión, el cual se encuentra ubicado en los laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad San Ignacio de Loyola. Este equipo cuenta con una precisión de +- 0.5% del esfuerzo de compresión máxima indicado.

Figura 47. Prensa para ensayo de resistencia a la compresión y flexión

Fuente: (Forney Industries, 2019)

Consideraciones antes del ensayo

Para el acondicionado de los especímenes cilíndricos se debe tomar medidas del diámetro de éstos con una aproximación de 0.1mm promediando las medidas de 2 lecturas diametrales perpendiculares entre sí.

Para conseguir una distribución uniforme de la carga a aplicarse, se coloca el neopreno para corregir las irregularidades de la superficie. Además, se debe realizar la limpieza en el área de trabajo y centrar la muestra según la recomendación por Norma Técnica Peruana 339.034 e indica la Figura 48.

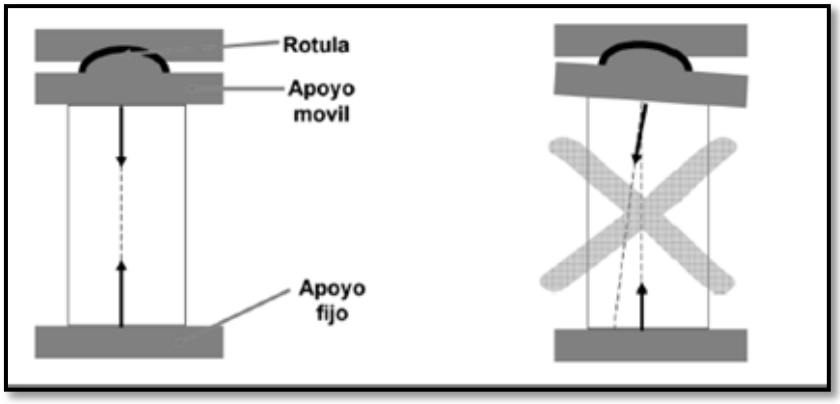


Figura 48. Colocación apropiada de los especímenes para el ensayo de compresión

Fuente: NTP 339.034

Velocidad de carga para compresión

Cada espécimen cilíndrico, previamente secado, se coloca en la maquina compresora, en el cual a su vez se colocará en la parte superior e inferior un neopreno para nivelar la superficie posteriormente se somete a un esfuerzo continuo de compresión. Con una velocidad de carga constante de 10+-1 gf/s.cm2

Los tipos de fallas en los especímenes cilíndricos se muestran en la Figura 49

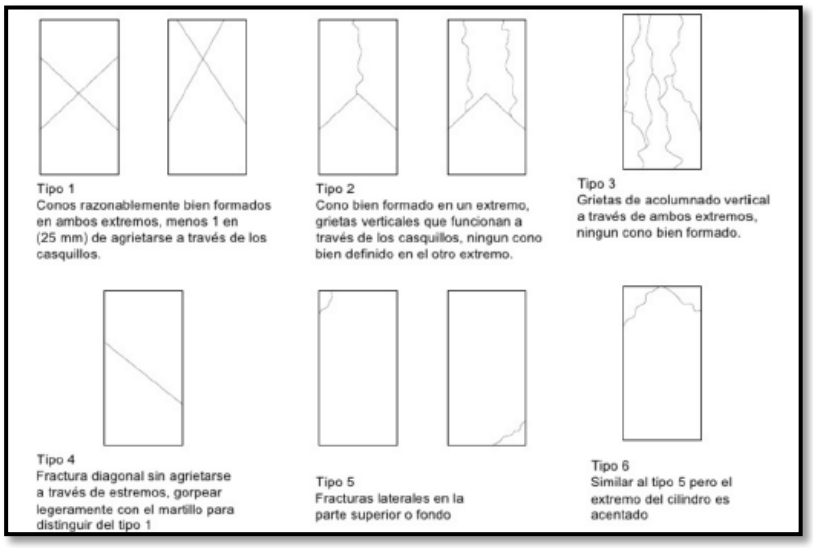


Figura 49. tipo de falla de especímenes

Fuente: NTP 339.034

Resistencia a la flexión

El ensayo de flexión**;** según las especificaciones técnicas (NTP 339.078, ASTM C 78 78M). Es usado para determinar la resistencia a la flexión de especímenes prismáticos con las consideraciones mencionadas en para la elaboración de la mezcla. Los resultados son calculados y reportados como el módulo de rotura

Condiciones

- ✓ Corresponde al promedio de la resistencia de tres especímenes prismáticos de 15cmx15xcmx55cm altura ensayadas a los 7 días y 28 días. (ACI 318.08)
- ✓ Aceptación. Si cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia a los 7 y 28 días será mayor o igual al especificado.
- ✓ Ningún ensayo individual de resistencia será menor que f'c en más de 0.10f´c cuando f´c>35 kg/cm2.

Las tolerancias de ensayos de flexión para concreto endurecido son las que se muestran en la tabla 15, mencionado en ítem anterior.

Equipo para ensayo de flexión

Una estructura simplificada del equipo donde se realizó el ensayo de resistencia a la flexión se muestra en Figura 50 (Componentes que forman parte del ensayo). Las fuerzas aplicadas deberán tener un contacto perpendicular con la cara superior de viga sin tener excentricidades

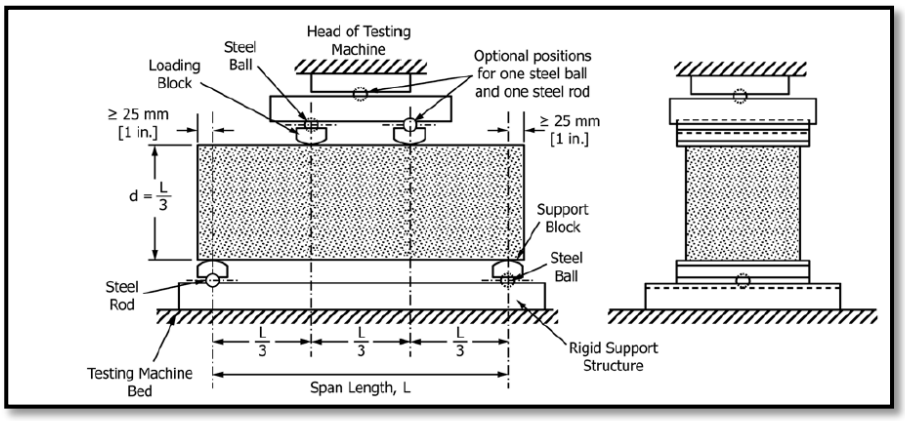


Figura 50. prensa para ensayo de resistencia a la compresión y flexión

Fuente: Estándar ASTM C7/ 78M

Consideraciones antes del ensayo

Preparación de los especímenes prismáticos:

- Se debe verificar las dimensiones tales como longitud, alto y ancho. El estándar de la ASTM C78 recomienda realizar tres medidas y el promedio de estas no deberá superar el 2% de variación de la longitud teórica planteada. La superficie lisa y libre de irregularidades.
- Se debe realizar el marcado en los puntos de apoyos y dividir la luz libre de la viga en tres partes iguales para delimitar el tipo de falla (Figura 50).
- Una vez identificada la cara superior del espécimen de concreto dentro del molde. Para realizar el ensayo se debe girar 90 en la longitud más larga de la viga, así quedando la cara superior del molde de concreto en la cara lateral al momento del ensayo.

Calibrar la velocidad de carga para ensayo de flexión, según la ASTM C78C se debe considerar ciertos requerimientos que se mencionara a continuación: la carga aplicada al centro del tercio interior de la luz libre del espécimen prismático debe ser continuamente y sin realizar frenado de carga, la carga se debe aplicara la cara superior del espécimen prismático con una ratio de 0.9 y 1.2 MPa/min hasta que la rotura ocurra.

La velocidad de carga se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$r = \frac{Sbd^2}{L}$$

Donde:

$r =$ velocidad de carga. N/min (lb/min)

$S =$ Relación de incremento del esfuerzo en la cara de tensión MPa/min (psi/min)

$b =$ ancho promedio del espécimen prismático (in)

$d =$ Altura promedio del espécimen prismático (in)

$L =$ longitud libre de espécimen prismático, entre apoyos (in)

Se procedió a calcular la velocidad de carga para el espécimen prismático de dimensiones especificadas en la tabla 16.

Tabla 16

Dimensión de espécimen prismático y esfuerzo a la cara de tensión.

dimension		unidad
d	5.9	in
b	5.9	in
L	17.7	in
S	125	Psi/min

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 17

Velocidad de carga en especímenes prismáticos.

Velocidad de carga		Unidad
r	1453.13	lb/min
r	10.98	kg/sec
r	0.02	kg/cm2/s

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Como resultado se obtuvo una velocidad de carga r=0.02kg/cm2/s para el espécimen prismático planteado. Para la medición de la respuesta del espécimen se controló los reportes de carga de rotura y módulo de rotura brindada por el panel digital. Además, se verifico las zonas de fallas para contrarrestar los resultados brindados por la máquina de compresión adecuada para ensayos de flexión.

Criterios de aceptación y tipos de fallas

Una vez finalizado el ensayo se debe identificar en que tercio de la luz libre ocurrió la falla. Y se evalúa con las consideraciones que se menciona:

TIPO 1: Rotura dentro del tercio medio. (Aceptable)

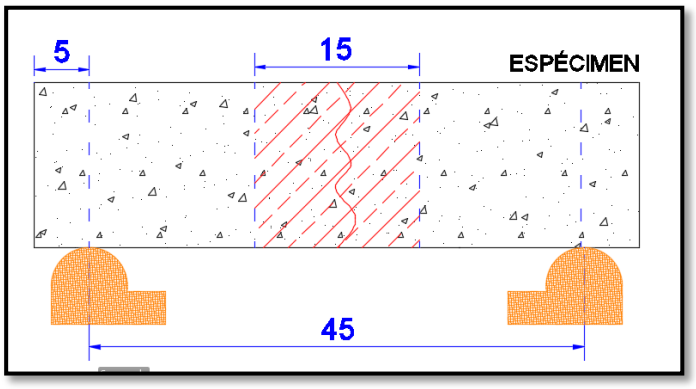


Figura 51. Falla al tercio medio

Fuente propia 2019

TIPO 2: Rotura fuera del tercio medio, no mayor al 5% de Luz libre. (Aceptable)

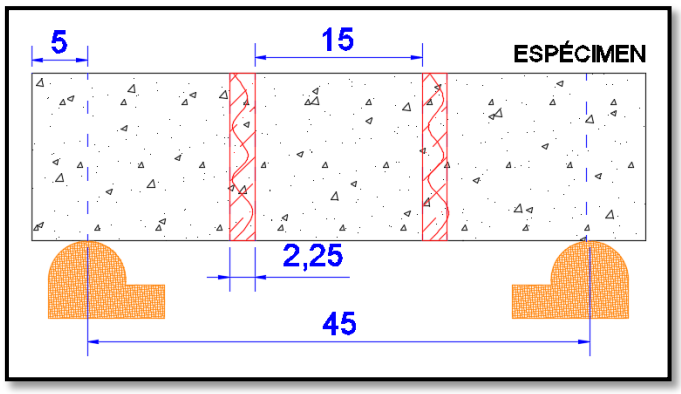


Figura 52. Falla fuera del tercio medio <5% de variación

Fuente propia 2019

TIPO 3: Rotura fuera del tercio medio, al 5% de Luz libre. (No Aceptable)

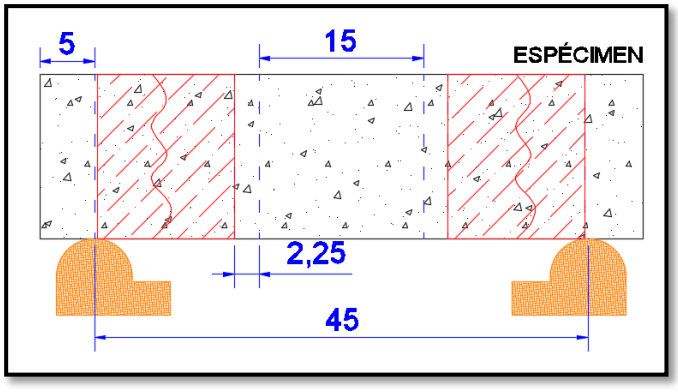


Figura 53. Falla fuera del tercio medio >5% de variación

Fuente propia 2019

Y se emplean las siguientes fórmulas para el cálculo de módulo de rotura para las fallas de tipo 1 y 2:

Ecuación 1:

$$R = \frac{PL}{BD^2}$$

Ecuación 2:

$$R = \frac{3Pa}{BD^2}$$

Donde:

R= Modulo de rotura (kg/cm2)

P= máxima carga aplicada antes de rotura (kg)

L= Luz libre (cm)

B= Ancho promedio (cm)

D= Alto promedio (cm)

a= distancia promedio entre la línea de falla y la línea imaginaria del apoyo más cercano.

a) Plan y fechas de mezclas de concreto

Para la elaboración de mezclado se definió, según la capacidad del trompo donde la cantidad de volumen se definió con la elaboración de 3 especímenes prismáticos y 3 especímenes cilíndricos para cada tipo de mezcla, la cual se define en las tablas 18, 19 y 20.

Tabla 18

Primer día de diseño de mezcla, concreto CONCREPM y convencional

DIA 1						
Mezcla	H. Inicio	H. Fin	TIPO DE CONCRETO	ESPECIMEN	CANTIDAD	CÓDIGO
Trompo 1	09:00	10:00	CONCREPM	Viga	3	V-M-1-1
						V-M-1-2
						V-M-1-3
				Probeta	3	P-M-1-1
						P-M-1-2
						P-M-1-3
Trompo 2	10:00	11:00	CONCREPM	Viga	3	V-M-2-1
						V-M-2-2
						V-M-2-3
				Probeta	3	P-M-2-1
						P-M-2-2
						P-M-2-3
Trompo 3	11:00	12:00	CONVENCIONAL	Viga	3	V-C-3-1
						V-C-3-2
						V-C-3-3
				Probeta	3	P-C-3-1
						P-C-3-2
						P-C-3-3
Trompo 4	12:00	13:00	CONVENCIONAL	Viga	3	V-C-4-1
						V-C-4-2
						V-C-4-3
				Probeta	3	P-C-4-1
						P-C-4-2
						P-C-4-3

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 19

Segundo día de diseño de mezcla, concreto CONCREPM y permeable

DIA 2						
Mezcla	H. Inicio	H. Fin	TIPO DE CONCRETO	ESPECIMEN	CANTIDAD	CÓDIGO
Trompo 5	09:00	10:00	PERMEABLE	Viga	3	V-P-5-1
						V-P-5-2
						V-P-5-3
				Probeta	3	P-P-5-1
						P-P-5-2
						P-P-5-3
Trompo 6	10:00	11:00	PERMEABLE	Viga	3	V-P-6-1
						V-P-6-2
						V-P-6-3
				Probeta	3	P-P-6-1
						P-P-6-2
						P-P-6-3
Trompo 7	11:00	12:00	CONCREPM FIBRA	Viga	3	V-MF-7-1
						V-MF-7-2
						V-MF-7-3
				Probeta	3	P-MF-7-1
						P-MF-7-2
						P-MF-7-3
Trompo 8	12:00	13:00	CONCREPM FIBRA	Viga	3	V-MF-8-1
						V-MF-8-2
						V-MF-8-3
				Probeta	3	P-MF-8-1
						P-MF-8-2
						P-MF-8-3

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 20

Tercer día de diseño de mezcla, concreto permeable y convencional

DIA 3						
Mezcla	**H. Inicio**	**H. Fin**	**TIPO DE CONCRETO**	**ESPECIMEN**	**CANTIDAD**	**CÓDIGO**
Trompo 9	09:00	10:00	CONVENCIONAL FIBRA	Viga	3	V-CF-9-1
						V-CF-9-2
						V-CF-9-3
				Probeta	3	P-CF-9-1
						P-CF-9-2
						P-CF-9-3
Trompo 10	10:00	11:00	CONVENCIONAL FIBRA	Viga	3	V-CF-10-1
						V-CF-10-2
						V-CF-10-3
				Probeta	3	P-CF-10-1
						P-CF-10-2
						P-CF-10-3
Trompo 11	11:00	12:00	PERMEABLE FIBRA	Viga	3	V-PF-11-1
						V-PF-11-2
						V-PF-11-3
				Probeta	3	P-PF-11-1
						P-PF-11-2
						P-PF-11-3
Trompo 12	12:00	13:00	PERMEABLE FIBRA	Viga	3	V-PF-12-1
						V-PF-12-2
						V-PF-12-3
				Probeta	3	P-PF-12-1
						P-PF-12-2
						P-PF-12-3

Fuente: Elaboración propia, 2019.

b) Recolección de datos

Los datos que se obtendrán en campo se recolectaron en los siguientes formatos:

Tabla 21

Control de concreto fresco

USIL	CONTROL DEL CONCRETO FRESCO								Fecha	Versión	Página

PROYECTO: CONCREPM

1. CONTROLES

Código	Tipo de Concreto	Espécimen	Hora de Inicio de Mezclado	Hora de Inicio de Vaciado	Hora de Termino de Vaciado	P.E. del Concreto en (m3)	Asentamiento (Slump) Pulg.	% de aire	Temperatura del Concreto ºC	Temperatura del Ambiente ºC	Observaciones
V-MF-7-1	CONCREPM FIBRA	Viga									
V-MF-7-2	CONCREPM FIBRA	Viga									
V-MF-7-3	CONCREPM FIBRA	Viga									
P-MF-7-1	CONCREPM FIBRA	Probeta									
P-MF-7-2	CONCREPM FIBRA	Probeta									
P-MF-7-3	CONCREPM FIBRA	Probeta									
V-MF-8-1	CONCREPM FIBRA	Viga									
V-MF-8-2	CONCREPM FIBRA	Viga									
V-MF-8-3	CONCREPM FIBRA	Viga									
P-MF-8-1	CONCREPM FIBRA	Probeta									
P-MF-8-2	CONCREPM FIBRA	Probeta									
P-MF-8-3	CONCREPM FIBRA	Probeta									

OBSERVACIONES:

Equipos Utilizados:

TESISTA	TESISTA	ASESOR:
Nombre: Russo Benjamin Yupanqui Medina	**Nombre:** Misael Oré Quispe	**Nombre:** Raúl Contreras Fajardo
Firma:	**Firma:**	**Firma:**
Fecha:	**Fecha:**	**Fecha:**

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 22

Control de concreto endurecido en especímenes cilíndricos

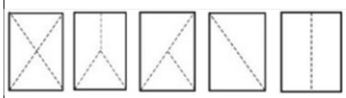
USIL	CONTROL DEL CONCRETO ENDURECIDO										Fecha	Versión	Página
												T1	

PROYECTO: CONCREPM sin fibras

1. CONTROLES

Codigo de Testigo	Descripción de la Estructura y/o Mezcla	f'c (Kg/cm²)	Fecha Moldeo	fecha de rotura	EDAD (días)	DIAM (cm)	Altura (cm)	AREA (cm²)	CARGA Kgf	RESIST (Kg/cm²)	PROMEDIO RESIST. (%)	PROM fc%	% Mínimo Requerido	Tipo de Falla
P-M-1-1	concreto Mejorado		29-ene	05-feb	7									
P-M-1-2	concreto Mejorado		29-ene	05-feb	7								70	
P-M-1-3	concreto Mejorado		29-ene	05-feb	7									
P-C-3-1	concreto covencional		29-ene	05-feb	7									
P-C-3-2	concreto covencional		29-ene	05-feb	7								70	
P-C-3-3	concreto covencional		29-ene	05-feb	7									
P-P-5-1	concreto Poroso		29-ene	05-feb	7									
P-P-5-2	concreto Poroso		29-ene	05-feb	7								70	
P-P-5-3	concreto Poroso		29-ene	05-feb	7									

TIPO DE ROTURA



Tipo 1 | Tipo 2 | Tipo 3 | Tipo 4 | Tipo 5

TIPO 1: Conos relativamente bien formados en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas
TIPO 2: Cono bien formado sobre una base, grietas verticales a traves de las capas, pero no bien def inido en la otra base.
TIPO 3: Se presenta cuando las caras de aplicación de carga del espécimen están ligeramente fuera de las tolerancias de paralelismo establecidas o por ligeras desviaciones en el centrado de la probeta respecto al eje de carga de la máquina.
TIPO 4: Fractura diagonal sin grietas en las bases. Golpear con martillos para diferencias del tipo 1
TIPO 5: Grietas verticales columnares en ambas bases. Conos no bien formados.

OBSERVACIONES:

Equipos Utilizados:

TESISTA	TESISTA	ASESOR:
Nombre: Russo Benjamin Yupanqui Medina	**Nombre:** Misael Oré Quispe	**Nombre** Raúl Contreras Fajardo
Firma:	**Firma:**	**Firma:**
Fecha:	**Fecha:**	**Fecha:**

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 23

Control de concreto endurecido en especímenes prismáticos

USIL	CONTROL DEL CONCRETO ENDURECIDO									Fecha	Versión	Página
											T2	

PROYECTO: CONCREPM con fibras
1. CONTROLES

Codigo de Testigo	Descripción de la Estructura y/o Mezcla	MR (Teórico) (Kg/cm²)	Fecha Moldeo	fecha de rotura	EDAD (días)	Lus Libre (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)	CARGA Kgf	RESIST (Kg/cm²)	PROMEDIO RESIST. (%)	PROM fc%	% Mínimo Requerido	Tipo de Falla
V-MF-7-1	concreto Mejorado		31-ene	07-feb	7									
V-MF-7-2	concreto Mejorado		31-ene	07-feb	7									
V-MF-7-3	concreto Mejorado		31-ene	07-feb	7									
V-CF-9-1	concreto covencional		31-ene	07-feb	7									
V-CF-9-2	concreto covencional		31-ene	07-feb	7									
V-CF-9-3	concreto covencional		31-ene	07-feb	7									
V-PF-11-1	concreto Poroso		31-ene	07-feb	7									
V-PF-11-2	concreto Poroso		31-ene	07-feb	7									
V-PF-11-3	concreto Poroso		31-ene	07-feb	7									

TIPO DE ROTURA	$R = \frac{PL}{BD^2}$	$R = \frac{3Pa}{BD^2}$	Resultado de ensayo se debe descartar
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3

TIPO 1: Rotura dentro del tercio medio.
TIPO 2: Rotura fuera del tercio medio, no mayor al 5% de Luz libre.
TIPO 3: Rotura fuera del tercio medio, mayor al 5% de Luz libre.

OBSERVACIONES:
Equipos Utilizados:

TESISTA		TESISTA		ASESOR:	
Nombre:	Russo Benjamin Yupanqui Medina	**Nombre:**	Misael Oré Quispe	**Nombre**	Raúl Contreras Fajardo
Firma:		**Firma:**		**Firma:**	
Fecha:		**Fecha:**		**Fecha:**	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Recursos y cronograma

Calendario de actividades

Tabla 24

Calendario de actividades.

Actividades	CRONOGRAMA (MESES)									
	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
Recopilacion de informacion										
Elaboración de especímenes de prueba y ensayos preeliminares										
Elaboración y presentación del primer informe de actividades										
Elaboración y ensayo de especímenes										
Elaboración y presentación del segundo informe de actividades										
Elaboración del prototipo										
Elaboración y entrega del informe final de actividades										
Elaboración del informe de tesis de licenciatura.										
Entrega del informe de tesis de licenciatura y solicitud de sustentación										

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Recursos

Recursos humanos.

- Asesor: Raúl Contreras Fajardo
- Autores: Misael Ore Quispe, Russo Benjamín Yupanqui Medina

Recursos materiales.

- EPP para uso en laboratorio
- Útiles (hoja bond, regla, tijeras, cintas, etc.)
- Equipos (atornillador de mano, taladro, brocas)
- Impresión
- Búsqueda en Internet
- Laptops para trabajo en laboratorio y gabinete
- Hojas de cálculo y AutoCAD
- Transporte
- Materiales para el diseño y mezcla
- Materiales para encofrado

Recursos financieros de los investigadores.

- S/. 5,000.00 (Cinco mil soles) financiado por “fondos concursables de investigación – USIL”
- S/. 3,000.00 (Tres mil soles) financiación propia
- Costo de compra de materiales

Presupuesto

Tabla 25

Presupuesto de materiales para ejecución del proyecto.

Partida presupuestal financiable	Nombre del articulo (People SOFT ERP)	Descripción	Especificaciones técnicas	Costo Unitario (S/.) (4 decimales)	Cantidad	Precio (S/.) (4 decimales)	Unidad de medida
Recurso humano (Incentivo)	-	Incentivo al Asesor (20%)		1,000.0000	1.00	1,000.0000	Global
Materiales e insumos (Material biológico, perecible, proteinas)	Cemento Tipo I 42.5 Kg - SOL	Cemento de construcción	Cemento SOL TIPO 1 - 42.5 kg	22.3000	15.00	334.5000	Bolsa
Materiales e insumos (Material biológico, perecible, proteinas)	Arena Gruesa 40 Kg - TOPEX	Agregado fino (Arena gruesa amarilla)	Arena Gruesa 40 Kg	6.1000	17.00	103.7000	Bolsa
Materiales e insumos (Material biológico, perecible, proteinas)	Piedra Chancada 1/2" 40 Kg - TOPEX	Agregado Grueso	Piedra Chancada 1/2" 40 Kg	6.1000	34.00	207.4000	Bolsa
Materiales e insumos (Material biológico, perecible, proteinas)	Triplay Fenólico Film 18 mm 1.22 x 2.44 m	Material para encofrado, Producto exclusivo SODIMAC	Panel derivado de la madera con propiedades estructurales. Dimensiones de 18mm X 1.22m X 2.44 m	109.9000	3.00	329.7000	Unidad
Materiales e insumos (Material biológico, perecible, proteinas)	Sika Lac 1 gl - SIKA	Desmoldante de encofrados para concreto	Laca: Poliuretano reactivo / Envase: Metal / Color Amarillo	164.5000	1.00	164.5000	Galon
Materiales e insumos (Material biológico, perecible, proteinas)	Plastificante de cementos Sika Cem 4 litros	Aditivo plastificante para mezclas de concreto	Plastificante de cementos, marca SIKA	33.9000	1.00	33.9000	Unidad
Materiales e insumos (Material biológico, perecible, proteinas)	CHEMA FIBRA ACRÍLICA	Fobras para concreto	Fibras pet de 600gr	23.0000	9.00	207.0000	Bolsa
Materiales e insumos (Material biológico, perecible, proteinas)	Torn drywall 6x1 1/4 bal 1000und F02TAD-L Mamut	Tornillo punta aguda para el encofrado	Modelo: F02TAD-L; 6 x 1 1/4"	32.5000	1.00	32.5000	Paquete
Materiales e insumos (Material biológico, perecible, proteinas)	Tubo Redondo PVC porcelana 120 Blanco - ARCANSAS	Tubería para generación de circuitos horizontales	Diámetro: 12 mm x Longitud: 1000 mm	11.9000	6.00	71.4000	Unidad
Materiales e insumos (Material biológico, perecible, proteinas)	Tubo Redondo PVC porcelana 120 Blanco - ARCANSAS	Tubería para generación de circuitos verticales	Diámetro: 12 mm x Longitud: 1000 mm	11.9000	14.00	166.6000	unidad
Servicios de terceros (Laboratorio)	Laboratorio de ensayos de materiales de construcción - LEACIV USIL	Ensayo de muestras de concreto permeable mejorado, permeable y convencional	Ensayo de probetas a compresión y vigas a flexión	2,000.0000	1.00	2,000.0000	Global
Movilidad local	-	Costo del transporte de materiales brutos y armados		34.8800	10.00	348.8000	Viaje
Total						S/ 5,000.00	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 26

Presupuesto de personal, administrativo y otros para ejecución del proyecto

Partida presupuestal financiable	Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Precio (S/.)
PERSONAL					
1.00	Inv. Principal	HH	128.00	9.09	1163.64
2.00	Inv. Principal	HH	128.00	9.09	1163.64
3.00	Inv. Asociado (asistente)	HH	128.00	6.82	872.73
SERVICIOS					
Asesoria	Derecho de pago para iniciacion de tesis	glb	2.00	1500.00	3000.00
Sustentacion	Derecho de pago para sustentacion de tesis	glb	2.00	1200.00	2400.00
Transporte	Transporte a laboratorio personal	glb	1.00	768.00	768.00
	Transporte a laboratorio materiales	glb	1.00	180.00	180.00
BIENES					
Utiles	Tijeras, papel , goma, cinta, EPP´s, ect.	glb	1.00	250.00	250.00
Libros	Normativas, libro textos, etc.	glb	1.00	350.00	350.00
Copias	Impresión de planos, copias de trabajos, ect.	glb	1.00	80.00	80.00
TOTAL					**10228.00**

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Resultados

Estudio Experimental

En presente capítulo se explica los ensayos llevados a cabo en esta investigación: la preparación de los especímenes, la metodología y los resultados obtenidos.

Este conjunto de experimentos está conformado por 36 ensayos a flexión de especímenes prismáticos apoyadas en rodillos como simplemente apoyadas, las cuales se dividen en 12 especímenes prismáticos de concreto convencional, 12 especímenes prismáticos de concreto permeable y 12 especímenes prismáticos de concreto CONCREPM, 36 ensayos de compresión las cuales se dividen en 12 especímenes cilíndricos de concreto convencional, 12 especímenes cilíndricos de concreto permeable y 12 especímenes cilíndricos de concreto CONCREPM y 26 ensayos de permeabilidad de los tres tipos de concretos las mencionados. Los especímenes presentan diferentes variantes, tales como el diseño de mezcla, asignación agujero en especímenes prismáticos y especímenes cilíndricos. Los cuales son descritos más adelante.

Estos experimentos se llevaron a cabo en el laboratorio de LEACIV de campus de Pachacamac- USIL. Durante los Meses de Febrero y abril del 2019 se desarrollaron los ensayos de flexión y compresión, y en el mes de mayo a junio los ensayos de permeabilidad.

Ensayos De Flexión

Con la finalidad de conocer las respuestas de los tres tipos de especímenes prismáticos (Mezcla de concreto convencional, mixto (CONCREPM) y Permeable) frente al incremento de cargas se llevaron a cabo ensayos de flexión, los cuales permiten conocer la resistencia a la flexión con el parámetro de módulo de rotura que servirán como base de validación de los requisitos mínimos de resistencia a flexión de los pavimentos de concreto hidráulico.

Estos ensayos se llevaron a cabo con tres tipos de mezclas. El primero tipo de mezcla comprende al concreto convencional, la característica principal de este espécimen prismático es que tiene un porcentaje minino de vacíos (>2%). El segundo tipo de mezcla comprende al concreto permeable, la cual tiene un porcentaje de vacíos entre 7.8% a 11% según diseño. El tercer tipo de mezcla comprende al concreto CONCREPM, la cual tiene un porcentaje de vacíos netos de 7.2% físicamente. Los ensayos para los tres tipos comprenden en especímenes prismáticos simplemente apoyadas sobre rodillos que simulan la condición más

desfavorable, la cual consiste en la ausencia de refuerzos longitudinales inferiores que absorban los esfuerzos de tracción y donde el único mecanismo resistente es la adherencia química del concreto como material confinante de los agregados

Especímenes

Los especímenes para ensayar a flexión fueron construidos en grupos de especímenes prismáticos de dos tipos; el primer molde con un encofrado convencional y el segundo con perforaciones en las dos caras laterales para insertar tubos de PVC para la simulación de agujeros al momento del desencofrado.

Las características con las que se diseñaron los especímenes prismáticos fueron las siguientes:

- ✓ Las luces y espesores de concreto son las mostradas en la tabla 27 y tabla 28
- ✓ El concreto de los especímenes prismáticos tienen una resistencia nominal a la compresión de; para concreto convencional 350kg/cm2, para concretos permeable de 330-340kg/cm2 y el concreto CONCREPM de 280-320kg/cm2 según los resultados de ensayo de compresión diseñados con el método ACI, con relación agua/cemento de 0.48.
- ✓ La adición de fibra de polipropileno para control de fisuras se suministró en una relación de 3kg/m3 de acuerdo con la ficha técnica de la fibra utilizada, la ficha técnica se muestra en el Anexo 13.
- ✓ El colocado de concreto se realizó una vez que se tengas insertado loa tubos de PVC, con su respectivo desmoldante.
- ✓ La distribución de agujero en el espécimen prismático se hizo respetando el tamaña máximo de agregados y las facilidades para la compactación, ver Figura 55.

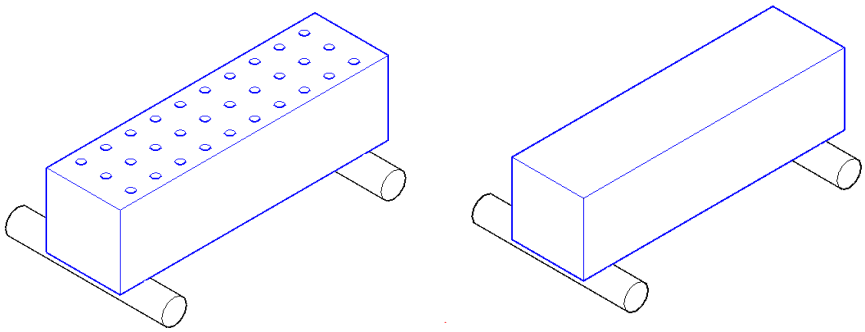


Figura 54. Especímenes prismáticos de modelos CONCREPM y concreto convencional apoyado sobre rodillos para el ensayo de flexión.

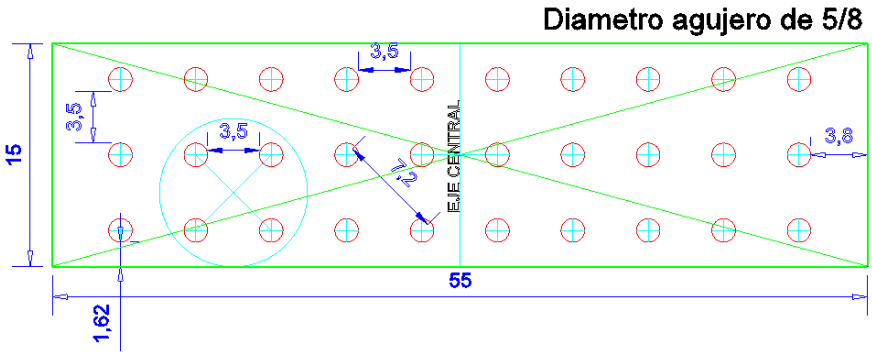


Figura 55. Distribución de agujero de 5/8” y dimensiones

Fuente propia 2019

Figura 56. Armado de especímenes prismáticos

Fuente propia 2019

Figura 57. instalación de tubos de 5/8”

Fuente propia 2019

En la tabla 27 y tabla 28 se presenta listados de los especímenes para cada tipo de espécimen prismático concreto simplemente apoyada, las cuales muestran las características principales de los especímenes.

Tabla 27

Características del espécimen prismático simplemente apoyado

Codigo de Testigo	Descripción de la Estructura y/o Mezcla	Fecha Moldeo	fecha de rotura	EDAD (días)	Lus Libre (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)
sin fibras							
V-M-1-1	CONCREPM	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-M-1-2	CONCREPM	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-M-1-3	CONCREPM	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-M-2-1	CONCREPM	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-M-2-2	CONCREPM	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-M-2-3	CONCREPM	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-C-3-1	concreto covencional	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-C-3-2	concreto covencional	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-C-3-3	concreto covencional	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-C-4-1	concreto covencional	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-C-4-2	concreto covencional	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-C-4-3	concreto covencional	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-P-5-1	concreto Permeable	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-P-5-2	concreto Permeable	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-P-5-3	concreto Permeable	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-P-6-1	concreto Permeable	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-P-6-2	concreto Permeable	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-P-6-3	concreto Permeable	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00

Tabla 28

Características del espécimen prismático simplemente apoyado

Codigo de Testigo	Descripción de la Estructura y/o Mezcla	Fecha Moldeo	fecha de rotura	EDAD (dias)	Lus Libre (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)
V-MF-7-1	CONCREPM	31-ene	07-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-MF-7-2	CONCREPM	31-ene	07-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-MF-7-3	CONCREPM	31-ene	07-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-MF-8-1	CONCREPM	31-ene	28-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-MF-8-2	CONCREPM	31-ene	28-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-MF-8-3	CONCREPM	31-ene	28-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-CF-10-1	concreto covencional	31-ene	28-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-CF-10-2	concreto covencional	31-ene	28-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-CF-10-3	concreto covencional	31-ene	28-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-CF-9-1	concreto covencional	31-ene	07-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-CF-9-2	concreto covencional	31-ene	07-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-CF-9-3	concreto covencional	31-ene	07-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-PF-11-1	concreto Permeable	31-ene	07-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-PF-11-2	concreto Permeable	31-ene	07-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-PF-11-3	concreto Permeable	31-ene	07-feb	7	45.00	15.00	15.00
V-PF-12-1	concreto Permeable	31-ene	28-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-PF-12-2	concreto Permeable	31-ene	28-feb	28	45.00	15.00	15.00
V-PF-12-3	concreto Permeable	31-ene	28-feb	28	45.00	15.00	15.00

La parte principal en esta investigación fue la elaboración de los especímenes prismáticos; las mismas que se realizaron con las siguientes atenciones:

- Se eliminaron impurezas de los encofrados de madera y se procedió a incorporar desmoldante de madera en toda la superficie interna del molde; como se observa en la Figura 58.
- El concreto se preparó con una mezcladora eléctrica, como se observa en a la Figura 60. teniendo las consideraciones de las especificaciones técnicas elaboración de concreto, para verificar la resistencia a compresión del concreto se realizaron ensayos de compresión axial a especímenes cilíndricos extraídas en cada vaciado (6 por 0.3m3 en promedio),
- Se procuró en todo momento, mantener la horizontalidad del espécimen prismático y realizando el colocado de concreto en un lugar adecuado para no mover las muestras de lugar.
- Los especímenes se dejaron 24 horas en los moldes para su posterior desmolde como se observa en la Figura 66.

A continuación, se muestra el proceso de elaboración de los especímenes de concreto.

Figura 58. Limpieza de moldes para especímenes

Fuente propia 2019

*Figura 59. D*osificación de materiales

Fuente propia 2019

Figura 60. Preparación del concreto

Fuente propia 2019

Figura 61. Verificación de Slump

Fuente propia 2019

*Figura 62. C*ontrol de vacíos

Fuente propia 2019

*Figura 63. C*ontrol de temperatura

Fuente propia 2019

Figura 64. Control de peso específico de concreto

Fuente propia 2019

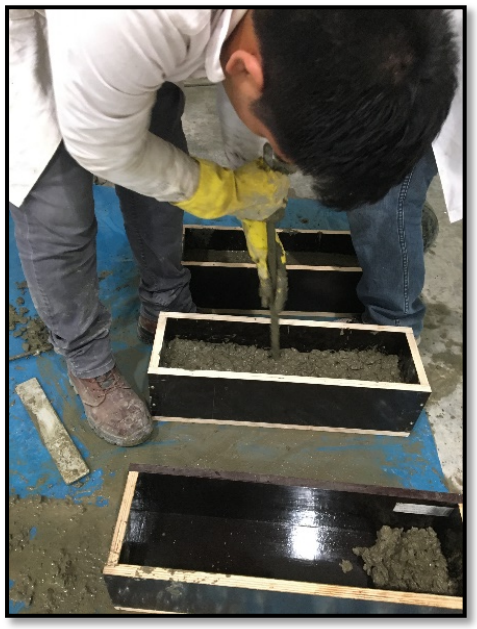


Figura 65. Colocación de concreto

Fuente propia 2019

Figura 66. Acabado de la superficie

Fuente propia 2019

Figura 67. Desencofrado de especímenes prismáticos

Fuente propia 2019

Figura 68 . Proceso de curado

Fuente propia 2019

*Figura 69 . D*emarcación de los tercios de falla y posición de ensayo

Fuente propia 2019

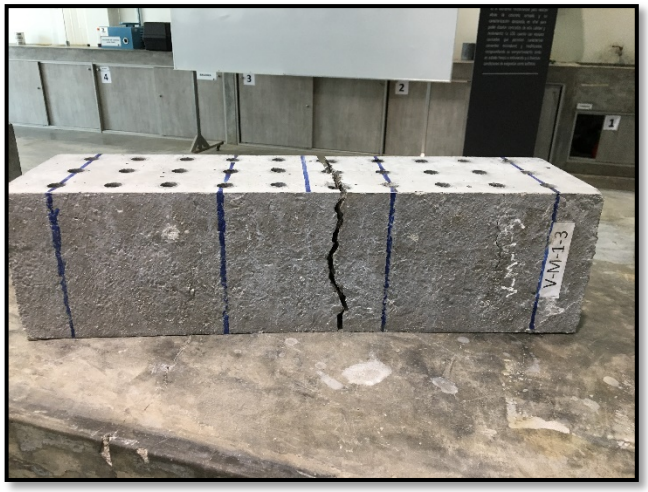


*Figura 70 . E*nsayo de espécimen prismático y falla del tercio interior

Fuente propia 2019

Metodología de ensayo

Descripción

Según especificación y requerimientos mininos para concreto para pavimento se han desarrollado ensayos de flexión estática siguiendo las especificaciones ASTM C78 “método experimental normalizado de la resistencia a la flexión en concreto (usando un espécimen prismático simple con carga en los tercios)”. La carga se aplicó a través de un gato hidráulico sujeto la maquina compresora, la cual transfiere la carga a dos puntos en los tercios de la luz libre del espécimen prismático como se muestra en Figura 71

Figura 71 . Posición de carga en especímenes prismáticos

Fuente propia 2019

Como se puede apreciar, los especímenes fueron apoyado sobre rodillos ubicados en los extremos a una luz libre de 45cm

Equipos y sistema de medición

Para la ejecución de este ensayo de adecuo la máquina de compresión con aparato de carga, la cual se control de manera automática con el panel de control digitalizada, al inicio de se ejecuta una precarga para hacer contacto con la superficie superior del espécimen prismático y luego se aplica una carga a razón de 0.02 Kg/cm2/s (ver tabla 17)

Calibrar la velocidad de carga, según la ASTM C78C se debe considerar ciertos requerimientos que se mencionara a continuación: la carga aplicada al centro del espécimen prismático debe ser constante y los esfuerzos que se pueden considerar a la cara del espécimen prismático van en el rango de 0.9 y 1.2 MPa/min hasta que la rotura ocurra.

Para la medición de la respuesta del espécimen se controló los reportes de carga de rotura y módulo de rotura brindada por el panel digital. Además, se verifico las zonas de fallas para contrarrestar los resultados brindados por la máquina de compresión adecuada para ensayos de flexión.

Registros de ensayos

Al instante de iniciado el ensayo la pantalla digital registra automáticamente la carga aplicada y las respuestas de resistencia de los especímenes y finalmente registrando la carga con la cual falla el espécimen prismático. (Figura 72)

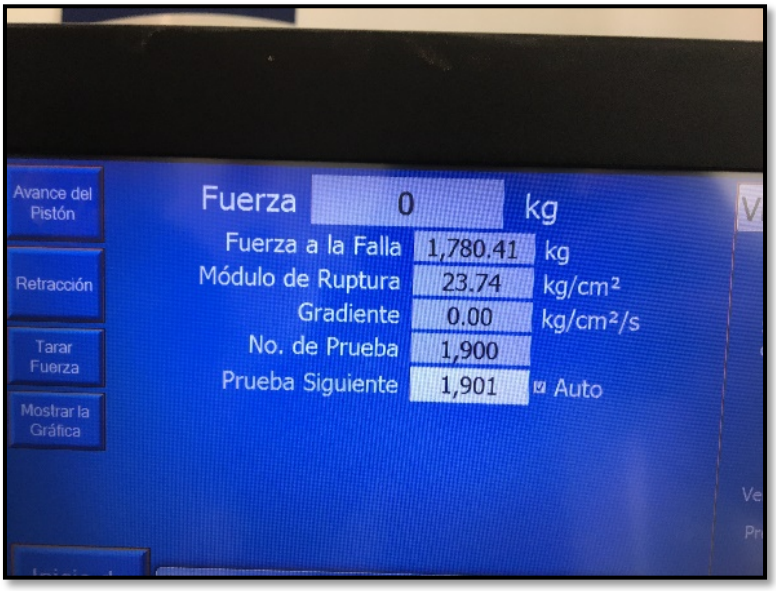


Figura 72 . Pantalla digital para reportar resultado de ensayo

Fuente propia 2019

Los datos almacenados corresponden a los especímenes prismáticos puestos a ensayar con sus dimensiones respectivas.

En la Figura 73 se muestra la disposición de la aplicación de cargas, disposiciones de apoyos y aplicación de cargas y discretización de secciones de las fallas probables

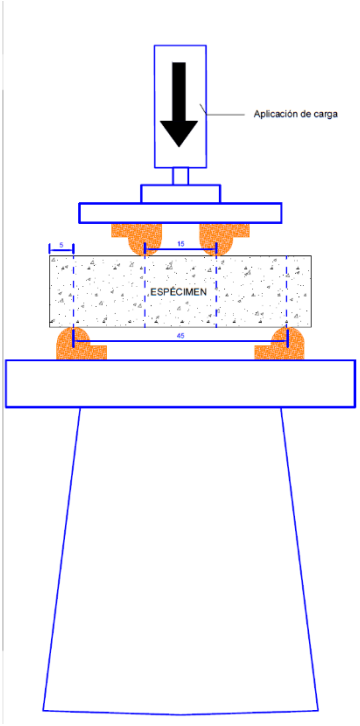


Figura 73 . disposición de aplicación de cargas y apoyo

Fuente propia 2019

Resultados

El incremento progresivo de la carga se realizó a razón de 0.02kg/cm2/s tal que se llegó a la falla última, con la presencia de las fisuras en el tercio medio del espécimen prismático. En la Figura 74 muestra el espécimen al finalizar el ensayo.

Figura 74 . Falla al tercio medio de la luz libre del espécimen prismático

Fuente propia 2019

A continuación, se presentan las curvas módulo de rotura – día de ensayo de todos los especímenes prismáticos simplemente apoyadas.

Tabla 29

Resultado de ensayos de flexión de especímenes prismáticos para los tres tipos de concreto sin fibra de polipropileno.

RESISTENCIA A LA FLEXION DE CONCRETO SIN FIBRA										
Codigo de Testigo	Descripción de la Estructura y/o Mezcla	Fecha Moldeo	fecha de rotura	EDAD (dias)	Lus Libre (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)	CARGA Kgf	RESIST (Kg/cm²)	PROMEDIO RESIST
V-M-1-1	CONCREPM	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00	1,780.41	23.74	23.54
V-M-1-2	CONCREPM	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00	1,778.47	23.71	
V-M-1-3	CONCREPM	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00	1,737.70	23.17	
V-M-2-1	CONCREPM	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00	1,957.09	26.09	24.85
V-M-2-2	CONCREPM	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00	1,714.40	22.86	
V-M-2-3	CONCREPM	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00	1,920.20	25.60	
V-C-3-1	concreto covencional	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00	3,067.66	40.90	40.12
V-C-3-2	concreto covencional	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00	2,922.65	38.97	
V-C-3-3	concreto covencional	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00	3,036.60	40.49	
V-C-4-1	concreto covencional	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00	3,426.85	45.69	44.89
V-C-4-2	concreto covencional	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00	3,184.80	42.46	
V-C-4-3	concreto covencional	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00	3,488.98	46.52	
V-P-5-1	concreto Permeable	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00	2,968.64	39.58	40.31
V-P-5-2	concreto Permeable	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00	3,158.90	42.12	
V-P-5-3	concreto Permeable	29-ene	05-feb	7	45.00	15.00	15.00	2,941.46	39.22	
V-P-6-1	concreto Permeable	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00	3,419.08	45.59	41.03
V-P-6-2	concreto Permeable	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00	2,849.38	37.99	
V-P-6-3	concreto Permeable	29-ene	26-feb	28	45.00	15.00	15.00	2,962.82	39.50	

Fuente propia 2019

Tabla 30

Resultado de ensayos de flexión de especímenes prismáticos para los tres tipos de concreto con fibra de polipropileno.

RESISTENCIA A LA FLEXION DE CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRA (3KG/M3)										
Codigo de Testigo	Descripción de la Estructura y/o Mezcla	Fecha Moldeo	fecha de rotura	EDAD (dias)	Lus Libre (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)	CARGA Kgf	RESIST (Kg/cm²)	PROMEDIO RESIST
V-MF-7-1	CONCREPM	31-ene	07-feb	7	45.00	15.00	15.00	1,677.51	22.37	22.85
V-MF-7-2	CONCREPM	31-ene	07-feb	7	45.00	15.00	15.00	1,774.58	23.66	
V-MF-7-3	CONCREPM	31-ene	07-feb	7	45.00	15.00	15.00	1,689.16	22.52	
V-MF-8-1	CONCREPM	31-ene	28-feb	28	45.00	15.00	15.00	1,943.50	25.91	26.62
V-MF-8-2	CONCREPM	31-ene	28-feb	28	45.00	15.00	15.00	2,075.53	27.67	
V-MF-8-3	CONCREPM	31-ene	28-feb	28	45.00	15.00	15.00	1,970.68	26.28	
V-CF-10-1	concreto covencional	31-ene	28-feb	7	45.00	15.00	15.00	2,791.96	37.23	35.98
V-CF-10-2	concreto covencional	31-ene	28-feb	7	45.00	15.00	15.00	2,654.11	35.39	
V-CF-10-3	concreto covencional	31-ene	28-feb	7	45.00	15.00	15.00	2,650.23	35.34	
V-CF-9-1	concreto covencional	31-ene	07-feb	28	45.00	15.00	15.00	3,551.11	47.35	44.79
V-CF-9-2	concreto covencional	31-ene	07-feb	28	45.00	15.00	15.00	3,265.70	43.54	
V-CF-9-3	concreto covencional	31-ene	07-feb	28	45.00	15.00	15.00	3,261.82	43.49	
V-PF-11-1	concreto Permeable	31-ene	07-feb	7	45.00	15.00	15.00	2,914.28	38.86	37.42
V-PF-11-2	concreto Permeable	31-ene	07-feb	7	45.00	15.00	15.00	2,823.03	37.64	
V-PF-11-3	concreto Permeable	31-ene	07-feb	7	45.00	15.00	15.00	2,683.23	35.78	
V-PF-12-1	concreto Permeable	31-ene	28-feb	28	45.00	15.00	15.00	3,347.25	44.63	42.79
V-PF-12-2	concreto Permeable	31-ene	28-feb	28	45.00	15.00	15.00	3,337.54	44.50	
V-PF-12-3	concreto Permeable	31-ene	28-feb	28	45.00	15.00	15.00	2,943.40	39.25	

Fuente propia 2019

La Figura 75 muestra los resultados de resistencia a la flexión del concreto CONCREPM, concreto permeable y concreto convencional con y

sin adición de fibra respectivamente, evaluados hasta los 28 días de edad. El concreto CONCREPM alcanzó una resistencia de 26.62 kg/cm2, mientras que el concreto convencional con fibra alcanzó una resistencia de 44.79 kg/cm2. La adición de fibra incrementa la resistencia a la flexión para el concreto convencional y CONCREPM en un 9% y 7% respectivamente, sin embargo, en el concreto permeable se observa una reducción de la resistencia a la flexión en 5%, esto debido posiblemente a la influencia de la gradación uniforme de los agregados utilizados para elaborar este tipo de concreto.

Figura 75 . Módulo de rotura de espécimen prismático de los tres tipos de concreto

Fuente propia 2019

Ensayos de Compresión

En el ensayo de compresión, en la cual se aplica una fuerza axial al espécimen, para medir los esfuerzos que puede soportar los especímenes cilíndricos de concreto frente al aplastamiento.

La ASTM, define los parámetros de aceptación en especímenes cilíndricos de concreto, así como los tipos de fallas y resultados a los 7 días y 28 días. Este ensayo se llevó a cabo con tres tipos de concreto las cuales fueron: concreto

convencional, permeable y CONCREPM. Las cuales fueron ensayadas a compresión pura

Especímenes

Los especímenes para ensayar a compresión fueron construidos en grupos de 26 especímenes cilíndricos, con el objetivó de tener un control de calidad durante la mezcla.

Las características con las que se diseñaron los especímenes cilíndricos de concreto fueron los que se comentan:

- ✓ La altura, diámetro y consideraciones adicionales del espécimen cilíndrico son mostradas en la tabla 31 y tabla 32
- ✓ La resistencia de diseño para los especímenes cilíndricos de concreto convencional y CONCREPM fueron de 350kg/cm2 y para el permeable se consideró tomar una relación agua cemento de 0.49. previo diseño se realizaron los ajustes de diseño de mezclas.
- ✓ Para concreto CONCREPM se consideraron la misma distribución de drenes verticales que para el espécimen prismático ver la Figura 69
- ✓ La dimensión de los especímenes cilíndricos fue de 4”x8” (ver Figura 76)

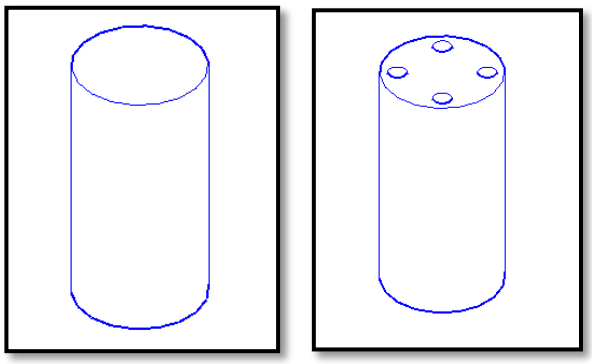


Figura 76. Especímenes para el ensayo de compresión

Fuente propia 2019

En la tabla 35 y tabla 36 se presentan listados de los especímenes para cada tipo de mezcla, las cuales muestran las características primarias de los especímenes cilíndricos cilíndricas

Tabla 31

características de especímenes cilíndricos sin fibra

Cod. de Testigo	Descripción de la Estructura y/o Mezcla	f'c (Kg/cm²)	Fecha Moldeo	fecha de rotura	EDAD (días)	DIAM (cm)	Altura (cm)	AREA (cm²)
P-M-1-1	CONCREPM	350	29-Ene	5-Feb	7	10.07	20.65	71.7
P-M-1-2	CONCREPM	350	29-Ene	5-Feb	7	10.17	20.56	73.3
P-M-1-3	CONCREPM	350	29-Ene	5-Feb	7	10.17	20.54	73.3
P-M-2-1	CONCREPM	350	29-Ene	26-Feb	28	10.10	20.65	72.2
P-M-2-2	CONCREPM	350	29-Ene	26-Feb	28	10.20	20.56	73.8
P-M-2-3	CONCREPM	350	29-Ene	26-Feb	28	10.10	20.54	72.2
P-C-3-1	concreto covencional	350	29-Ene	5-Feb	7	10.18	20.6	81.4
P-C-3-2	concreto covencional	350	29-Ene	5-Feb	7	10.18	20.50	81.4
P-C-3-3	concreto covencional	350	29-Ene	5-Feb	7	10.17	20.65	81.2
P-C-4-1	concreto covencional	350	29-Ene	26-Feb	28	10.01	20.6	78.7
P-C-4-2	concreto covencional	350	29-Ene	26-Feb	28	10.00	20.50	78.5
P-C-4-3	concreto covencional	350	29-Ene	26-Feb	28	10.03	20.65	79.0
P-P-5-1	Concreto Poroso Permeable	350	29-Ene	5-Feb	7	10.18	20.45	81.4
P-P-5-2	Concreto Poroso Permeable	350	29-Ene	5-Feb	7	10.15	20.55	80.9
P-P-5-3	Concreto Poroso Permeable	350	29-Ene	5-Feb	7	10.16	20.6	81.1
P-P-6-1	Concreto Poroso Permeable	350	29-Ene	26-Feb	28	10.10	20.45	80.1
P-P-6-2	Concreto Poroso Permeable	350	29-Ene	26-Feb	28	10.20	20.55	81.7
P-P-6-3	Concreto Poroso Permeable	350	29-Ene	26-Feb	28	10.20	20.6	81.7

Tabla 32

Características de especímenes cilíndricos con fibra

Cod. de Testigo	Descripción de la Estructura y/o Mezcla	f'c (Kg/cm²)	Fecha Moldeo	fecha de rotura	EDAD (días)	DIAM (cm)	Altura (cm)	AREA (cm²)
P-MF-8-1	CONCREPM	350	31-Ene	28-Feb	7	10.20	20.56	73.8
P-MF-8-2	CONCREPM	350	31-Ene	28-Feb	7	10.30	20.54	75.4
P-MF-8-3	CONCREPM	350	31-Ene	28-Feb	7	10.20	20.52	73.8
P-MF-7-1	CONCREPM	350	31-Ene	7-Feb	28	10.14	20.75	72.8
P-MF-7-2	CONCREPM	350	31-Ene	7-Feb	28	10.15	20.63	73.0
P-MF-7-3	CONCREPM	350	31-Ene	7-Feb	28	10.13	21.14	72.7
P-CF-9-1	concreto covencional	350	31-Ene	7-Feb	7	10.22	20.26	82.0
P-CF-9-2	concreto covencional	350	31-Ene	7-Feb	7	10.21	20.50	81.9
P-CF-9-3	concreto covencional	350	31-Ene	7-Feb	7	10.18	20.53	81.4
P-CF-10-1	concreto covencional	350	31-Ene	28-Feb	28	10.00	20.50	78.5
P-CF-10-2	concreto covencional	350	31-Ene	28-Feb	28	10.00	20.49	78.5
P-CF-10-3	concreto covencional	350	31-Ene	28-Feb	28	10.00	20.47	78.5
P-PF-11-1	Concreto Poroso Permeable	350	31-Ene	7-Feb	7	10.15	20.70	80.9
P-PF-11-2	Concreto Poroso Permeable	350	31-Ene	7-Feb	7	10.17	20.50	81.2
P-PF-11-3	Concreto Poroso Permeable	350	31-Ene	7-Feb	7	10.17	20.75	81.2
P-PF-12-1	Concreto Poroso Permeable	350	31-Ene	28-Feb	28	10.10	20.45	80.1
P-PF-12-2	Concreto Poroso Permeable	350	31-Ene	28-Feb	28	10.20	20.43	81.7
P-PF-12-3	Concreto Poroso Permeable	350	31-Ene	28-Feb	28	10.20	20.42	81.7

- Las consideraciones especiales en cuanto a la elaboración del espécimen cilíndrico para el concreto CONCREPM fueron las siguientes:

- Para la instalación de tubos verticales se adecuaron lo siguiente; se creó una base de soporte para mantener la verticalidad de los tubos al momento del colocado del concreto ver Figura 77

- La mezcla de concreto se realizó con una mezcladora eléctrica como se ve en la Figura 60, siguiendo las consideraciones de la ASTM para mezclas de concreto.

- Se añadió aditivos plastificantes bizcoreto para mejorar la trabajabilidad de la mezcla

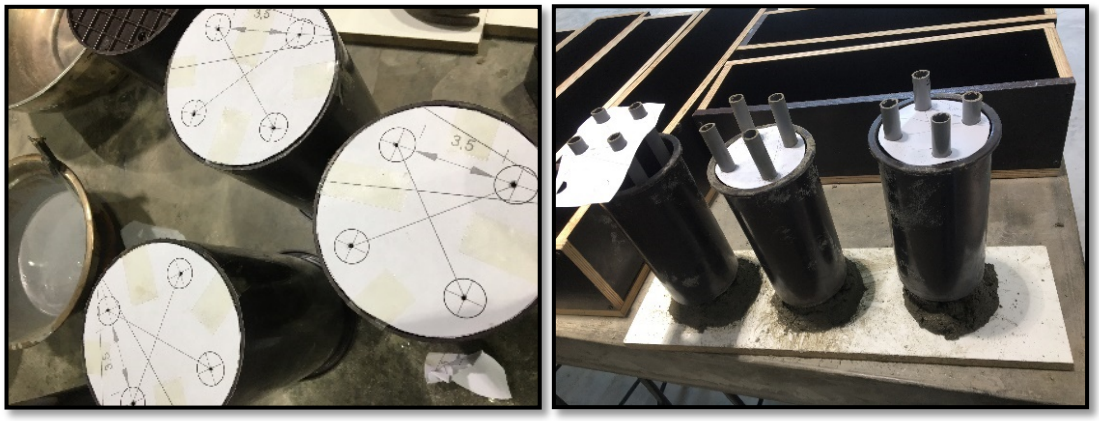


Figura 77. especímenes cilíndricos para concreto CONCREPM

Fuente propia 2019

Figura 78. Curado de especímenes cilíndricos para el concreto CONCREPM y concreto convencional

Fuente propia 2019

Metodología del ensayo

Descripción

Acorde a las especificaciones para sistemas de concreto para pavimentos, se han desarrollado ensayos de compresión con la siguiente especificación ASTM C39 “Método de ensayo normalizado de especímenes cilíndricos de concreto”. La carga se aplicó a través de un compresor hidráulico, la cual aplica una fuerza axial, el espécimen debe ser centrada y adecuar con el neopreno la verticalidad de espécimen de concreto. Ver Figura 79

Figura 79. Ensayo de compresión de espécimen cilíndrico
Fuente propia 2019

Todos los especímenes fueron adecuados con el neopreno. La cual adecua el espécimen al momento de aplicación de cargas a compresión.

Equipos y sistema de medición

El aparato que se empleó para ensayos de compresión fue una maquina compresora hidráulica, la cual está conectada a una pantalla digitalizada la cual reporta las cargas de aplicación y la rotura final.

Registro de ensayos

Al instante de iniciado el ensayo la pantalla digital registra automáticamente la carga aplicada y las respuestas de resistencia de los especímenes y finalmente registrando la carga con la cual falla el espécimen cilíndrico cilíndrica. (Figura 80)

Figura 80. Pantalla digital para reportar resultado de ensayo

Fuente propia 2019

Los datos almacenados corresponden a los especímenes cilíndrico-puestos a ensayar con sus dimensiones respectivas.

En la Figura 81 se muestra la disposición de la aplicación de cargas, disipaciones de apoyos y aplicación de cargas, el neopreno que controla la aplicación vertical y uniforme de la carga.

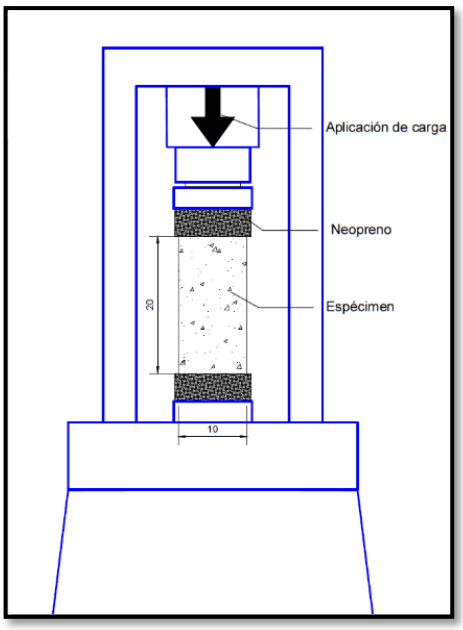


Figura 81. Disposición del sistema de medición para el ensayo de compresión

Fuente propia 2019

Resultados

La aplicación de la carga se realizó con una razón de incremento hasta llegar a la falla última del espécimen cilíndrico, donde se muestra el tipo de falla del concreto, en la mayoría tuvieron una falla cónica. En la Figura 82 se muestra el espécimen cilíndrico cilíndrica al finalizar el ensayo.

Figura 82. ensayo de compresión en especímenes cilíndricos cilíndricas

Fuente propia 2019

A continuación, se presenta las curvas Resistencia compresión - días de ensayo de los tres tipos de concreto, esfuerzos generados a la compresión axial.

Tabla 33

Resistencia a la compresión de especímenes sin fibra

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO SIN FIBRA

Cod. de Testigo	Descripción de la Estructura y/o Mezcla	EDAD (días)	AREA (cm²)	CARGA (Kgf)	RESIST (Kg/cm²)	RESIST. EFECTIVA (Kg/cm²)	RESIT PROM f'c
P-M-1-1	CONCREPM	7	71.7	16,751.77	210.3	233.63	
P-M-1-2	CONCREPM	7	73.3	15,819.80	194.8	215.85	224.25
P-M-1-3	CONCREPM	7	73.3	16,362.44	200.2	223.25	
P-M-2-1	CONCREPM	28	72.2	20,277.18	253.1	280.94	
P-M-2-2	CONCREPM	28	73.8	21,658.00	265.1	293.59	281.79
P-M-2-3	CONCREPM	28	72.2	19,549.55	244.0	270.86	
P-C-3-1	Concreto covencional	7	81.4	24,748.58	304.1	--	
P-C-3-2	Concreto covencional	7	81.4	24,156.13	296.8	--	296.37
P-C-3-3	Concreto covencional	7	81.2	23,416.50	288.3	--	
P-C-4-1	Concreto covencional	28	78.7	27,872.24	354.2	--	
P-C-4-2	Concreto covencional	28	78.5	27,429.39	349.2	--	352.45
P-C-4-3	Concreto covencional	28	79.0	27,965.31	353.9	--	
P-P-5-1	Concreto Poroso Permeable	7	81.4	25,740.59	316.3	--	
P-P-5-2	Concreto Poroso Permeable	7	80.9	19,816.07	243.9	--	279.03
P-P-5-3	Concreto Poroso Permeable	7	81.1	22,449.60	276.9	--	
P-P-6-1	Concreto Poroso Permeable	28	80.1	24,258.34	302.8	--	
P-P-6-2	Concreto Poroso Permeable	28	81.7	26,159.72	320.1	--	310.77
P-P-6-3	Concreto Poroso Permeable	28	81.7	25,281.95	309.4	--	

Fuente propia 2019

Tabla 34

Resistencia a la compresión de especímenes con fibra

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO CON FIBRA (3.5KG/M3)

Cod. de Testigo	Descripción de la Estructura y/o Mezcla	EDAD (días)	AREA (cm²)	CARGA (Kgf)	RESIST (Kg/cm²)	RESIST. EFECTIVA (Kg/cm²)	RESIT PROM f'c
P-MF-8-1	CONCREPM	7	73.8	19287	236.0	261.45	
P-MF-8-2	CONCREPM	7	75.4	17301.23	207.6	229.52	242.3
P-MF-8-3	CONCREPM	7	73.8	17414	213.1	236.05	
P-MF-7-1	CONCREPM	28	72.8	18,169.11	225.0	249.53	
P-MF-7-2	CONCREPM	28	73.0	19,361.22	239.3	265.33	256.5
P-MF-7-3	CONCREPM	28	72.7	18,499.17	229.5	254.62	
P-CF-9-1	Concreto covencional	7	82.0	24,772.20	302.0	--	
P-CF-9-2	Concreto covencional	7	81.9	23,975.64	292.8	--	300.0
P-CF-9-3	Concreto covencional	7	81.4	24,839.12	305.2	--	
P-CF-10-1	Concreto covencional	28	78.5	28041.51	357.0	--	
P-CF-10-2	Concreto covencional	28	78.5	28272	360.0	--	354.4
P-CF-10-3	Concreto covencional	28	78.5	27181	346.1	--	
P-PF-11-1	Concreto Poroso Permeable	7	80.9	21,254.88	262.7	--	
P-PF-11-2	Concreto Poroso Permeable	7	81.2	23,917.00	294.4	--	294.4
P-PF-11-3	Concreto Poroso Permeable	7	81.2	26,484.60	326.0	--	
P-PF-12-1	Concreto Poroso Permeable	28	80.1	23986	299.4	--	
P-PF-12-2	Concreto Poroso Permeable	28	81.7	26705.23	326.8	--	312.7
P-PF-12-3	Concreto Poroso Permeable	28	81.7	25493	312.0	--	

Fuente propia 2019

La Figura 83 muestra los resultados de resistencia a la compresión del concreto permeable y concreto convencional con y sin adición de fibra respectivamente evaluados hasta los 28 días de edad. Para el concreto CONCREPM se presenta la resistencia a la compresión considerando el área efectiva (sin tomar en cuenta el área transversal de los conductos verticales). El concreto CONCREPM sin fibra alcanzó una resistencia de 281.79 kg/cm2, mientras que el concreto convencional sin fibra alcanzó una resistencia de 352.45 kg/cm2. La adición de fibra incrementa la resistencia a la compresión para el concreto convencional y permeable en un 0.5% mientras que para el concreto y CONCREPM se observa una reducción en un 9%.

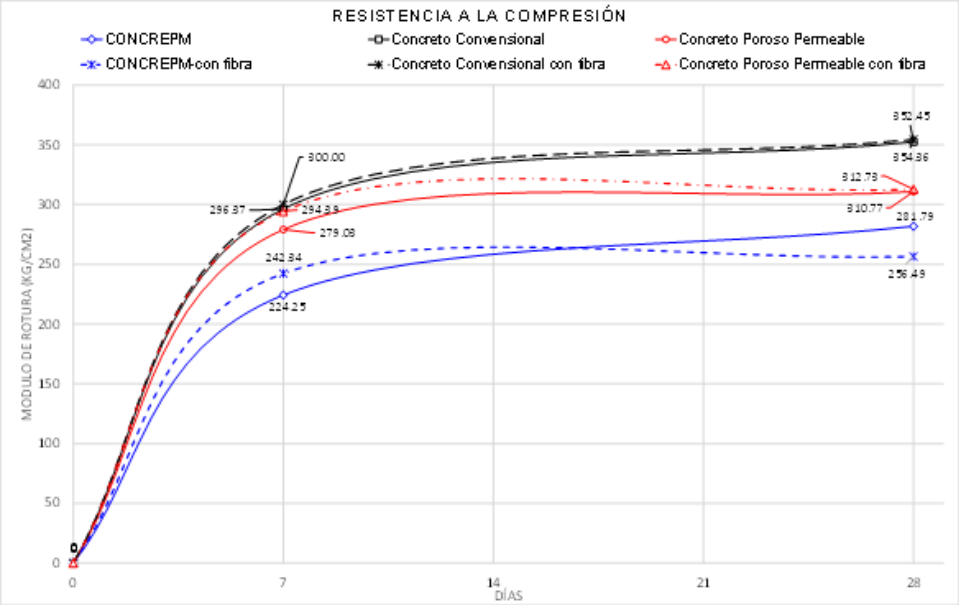


Figura 83. Resistencia a la compresión de los tres tipos de concreto.

Fuente propia 2019

Ensayos De Permeabilidad

Con el objeto de conocer la respuesta los tres tipos de concreto (concreto convencional, permeable y CONCREPM) frente a la acción del agua como flujo que atraviesa un medio permeable, se llevaron a cabo ensayos de permeabilidad, lo cuales permiten conocer la velocidad de filtración de cada tipo de concreto, que servirán de base para la elección del adecuado tipo de concreto para drenar el agua superficial.

Estos ensayos se realizaron a cabo con tres tipos de especímenes. El primer tipo comprende al concreto cilíndrico convencional, el segundo al concreto cilíndrico

permeable y finalmente al concreto cilíndrico CONCREPM. En la cual los ensayos se realizaron a en condición libre de obstrucciones.

Especímenes

Las muestras para ensayar por permeabilidad fueron construidas de los tres tipos de concreto, con dimensiones cilíndricas para tener un mejor control dentro del permeámetro.

La característica con las que se diseñaron los especímenes de concreto fueron las siguientes:

- ✓ El diámetro del espécimen cilíndrico cilíndrica fue de 4” con una altura de 15 cm, mostradas en la Figura 84
- ✓ En el ensayo de permeabilidad se consideró una condición ideal, es decir sin obstrucciones más que del propio concreto.
- ✓ La resistencia del concreto que se empleó fueron las que se indican para los ensayos de compresión para cada tipo de concreto.

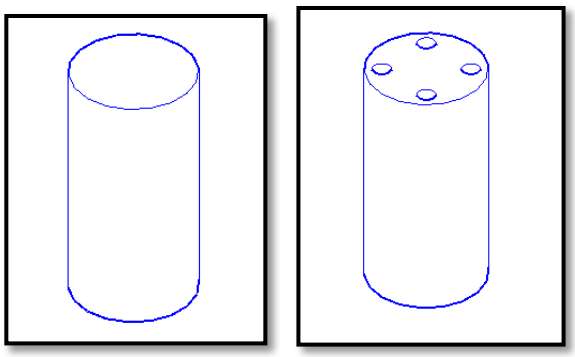


Figura 84. Especímenes de concreto para ser ensayados a permeabilidad

Fuente propia 2019

En la tabla 35 se representan listados de los especímenes para la condición ideal sin colmatación.

Tabla 35

Dimensiones de los especímenes para ensayo de permeabilidad

Numero de ensayos	H (cm)	D (cm)	A (cm2)
P1	15.13	10.12	80.44
P2	15.25	10.15	80.91
P3	15.11	10.14	80.75
P4	15.15	10.15	80.91
P5	15.15	10.16	81.07
P6	15.13	10.13	80.60
P7	15.16	10.15	80.91
P8	15.12	10.16	81.07
P9	15.13	10.13	80.60
P10	15.17	10.10	80.12
P11	15.11	10.11	80.28
P12	15.13	10.14	80.75
P13	15.10	10.15	80.91
P14	15.15	10.14	80.75
P15	15.11	10.13	80.60
P16	15.05	10.12	80.44
P17	15.09	10.10	80.12
P18	15.10	10.15	80.91
P19	15.12	10.14	80.75
P20	15.14	10.16	81.07
P21	15.11	10.13	80.60
P22	15.17	10.14	80.75
P23	15.14	10.11	80.28
P24	15.10	10.16	81.07
P25	15.06	10.15	80.91
P26	15.10	10.14	80.75

Fuente propia 2019

La elaboración de los especímenes se realizó con las consideraciones que se mencionan a continuación.

- ✓ Los especímenes, se realizaron con las condiciones similares para cada tipo de concreto. Se controló las dimensiones en el momento del colocado de concreto, las verticalidades de los tubos.

- ✓ El proceso de compactado del concreto se realizó para cada mezcla de concreto con las condiciones que se mencionaron anteriormente.
- ✓ Para los ensayos, no se requiere resistencia del concreto por lo cual se ejecutó las pruebas después de los tres días de curado, para tener un cierto grado de resistencia a la erosión.

Metodología del ensayo.

Descripción

De acuerdo ACI Committee 211 - ACI 211.3R-02_ Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete (Reapproved 2009)- American Concrete Institute (ACI) (2002) y ACI Committee 522 - ACI 522R-10_ Report on Pervious Concrete (Reapproved 2011)- American Concrete Institute (ACI) (2010). El ensayo se realizó con carga constante, donde la permeabilidad del concreto fue medida por un permeámetro que mide la caída de presión como se muestra en la Figura 85. En el experimento, los especímenes son puesto dentro la capsula de almacenamiento de muestra, para evitar la filtración lateral del agua, se instaló una membrana de látex en el borde del espécimen. Como primera condición, se llenó de agua hasta el nivel recomendado como se muestra en el esquema Figura 86, para liberar todo el aire que este dentro del equipo. Lo cual muestra una condición saturada del espécimen.

El segundo proceso es cerrar la válvula intermedia y llenar la parte vacía del cilindro graduado hasta el nivel superior. El tercer proceso es abrir la válvula y controlar el tiempo en segundos que requiere el agua para atravesar la muestra desde la cabeza de presión inicial a la cabeza de presión final.

Los resultados del ensayo de caída de presión y la carga de presión constante son aceptables para el ensayo de laboratorio. El poro o la conexión de vacíos en el concreto son un factor crucial que influyen en la permeabilidad del concreto.

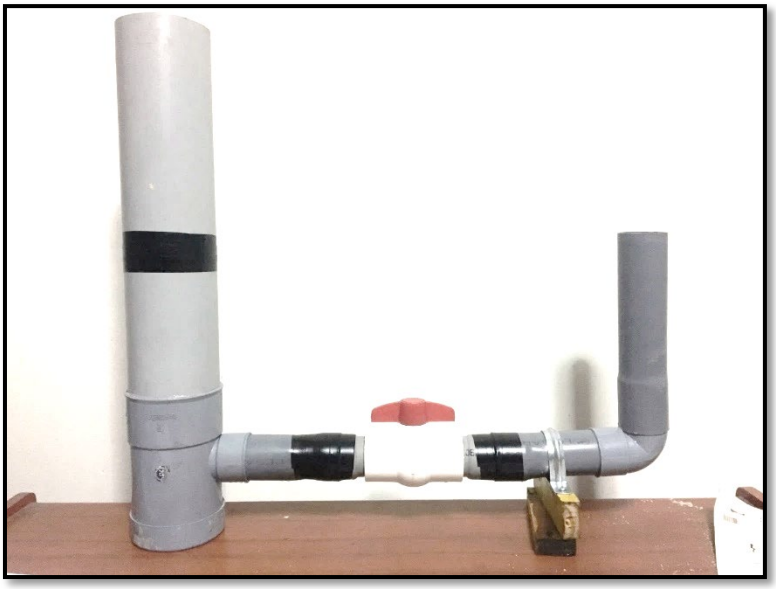


Figura 85. Ensayo de permeabilidad para los tres tipos de concreto

Fuente propia 2019

En general, las muestras fueron adecuadas y en el momento del ensayo se tuvieron las consideraciones requeridas para no generar variaciones grandes en los resultados.

Equipos y sistema de medición

Para realización de este ensayo se elaboró un aparato donde se incorpora una muestra de concreto, a la cual se satura y se mide el tiempo que demora en atravesar el medio permeable el fluido. La cual está regulada con la válvula de cierre.

Para la medición de las caídas de presiones se controla con cilindro de dimensión constante, y los valores de variación son medida con una cinta métrica, la cual es medida desde la parte superior hasta el espejo de agua.

Cada tipo de espécimen de concreto (convencional, CONCREPM y permeable) se ensayaron con carga constantes, como se tiene la cabeza de presión inicial y final. Y con una sección constante se puede expresar la permeabilidad con la siguiente formula en unidades (mm/s): K=A/t

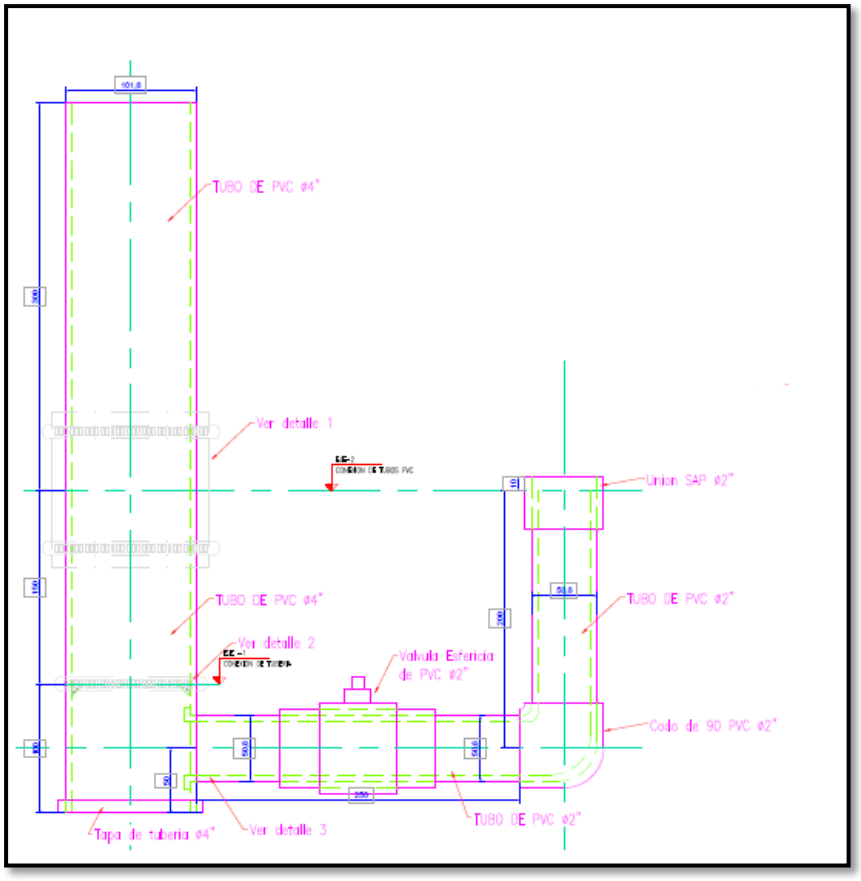


Figura 86. Disposición de los equipos para ensayos de permeabilidad

Fuente propia 2019

Registro de ensayos

Al instante que se abre la válvula, se inicia el control de tiempo y cerrar la válvula en un tiempo determinado, se aculada data de tiempo de manera manual la cuales se llenando en tabla de registro. No se coloca el registro del concreto permeable (7.2% vacíos) y convencional por ser realmente mínimos en comparación con este resultado, tal como se muestra en la tabla 36

Tabla 36

Registro de caída de presión para especímenes CONCREPM

Numero de ensayos	tiempo en (segundos)	h (Caida de presion) en cm
P1	1.27	12.6
P2	1.61	13.2
P3	1.59	13.3
P4	1.21	13.3
P5	1.35	13.3
P6	1.75	13.4
P7	1.66	13.4
P8	1.42	13.7
P9	1.53	13.9
P10	1.64	14
P11	1.68	14.2
P12	1.77	14.2
P13	1.53	14.5
P14	1.42	14.9
P15	1.67	14.9
P16	1.51	16.8
P17	1.93	17
P18	1.7	17.2
P19	1.9	19
P20	1.81	19.45
P21	2.29	21
P22	2.26	21.6
P23	2.54	21.9
P24	2.74	22.8
P25	2.54	22.9
P26	2.88	23.5

Fuente propia 2019

Los datos almacenados corresponden al tiempo que se demora y la caída de presión, la a cuál se emplea para calcular la permeabilidad del concreto. En la Figura 87 se muestra la disposición de los especímenes y dirección del flujo. En este caso de debe anclar y nivelar el apoyo del equipo para no generar variación de los resultados.

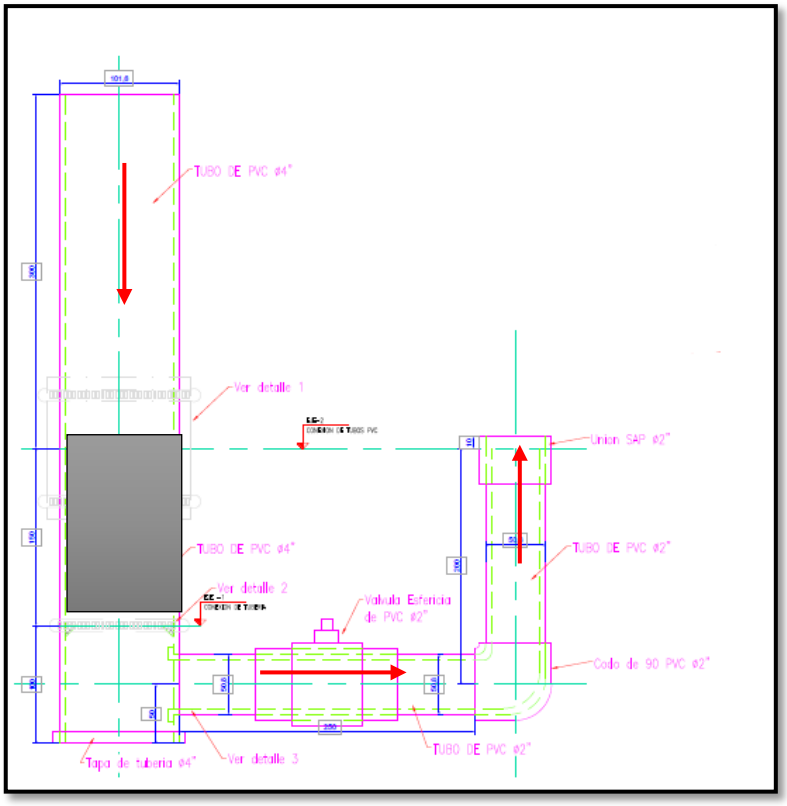


Figura 87. Ubicación de espécimen y dirección de flujo

Fuente propia 2019

Resultados

La variación de tiempo para la obtención de caída de presión se realizó de tal forma que se llegara a calcular la velocidad de infiltración de las muestras de concreto, en muestra sin colmatación de especímenes, en la Tabla 37 se muestran los resultados de los ensayos.

La Tabla 37 presenta los resultados de ensayo de permeabilidad realizados en 26 cuerpos de prueba. Estos resultados, para diferentes variaciones de caída de presión, presentan valores similares que oscilan entre 0.05 m/s a 0.1 m/s presentando, para todos los casos, un gradiente hidráulico constante verificando la uniformidad de los cuerpos de prueba.

Tabla 37

Coeficiente de permeabilidad del Concreto CONCREPM

Numero de ensayos	tiempo en (segundos)	h (Caida de presion) en cm	volumen (cm3)	K =coeficiente de permeabilidad (cm/s)	i=gradiente hidraulico (H/l)	q=gasto (Q/t)	Vdescarga (cm/s)	Vfiltracion (cm/s)	K =coeficiente de permeabilidad (m/s)
P1	1.27	12.6	1,021.5	5.9	1.7	804.3	9.9	101.6	0.06
P2	1.61	13.2	1,070.2	4.9	1.7	664.7	8.2	84.0	0.05
P3	1.59	13.3	1,078.3	5.0	1.7	678.2	8.4	85.7	0.05
P4	1.21	13.3	1,078.3	6.5	1.7	891.1	11.0	112.6	0.07
P5	1.35	13.3	1,078.3	5.9	1.7	798.7	9.9	100.9	0.06
P6	1.75	13.4	1,086.4	4.6	1.7	620.8	7.7	78.4	0.05
P7	1.66	13.4	1,086.4	4.8	1.7	654.4	8.1	82.7	0.05
P8	1.42	13.7	1,110.7	5.7	1.7	782.2	9.6	98.8	0.06
P9	1.53	13.9	1,126.9	5.4	1.7	736.5	9.1	93.0	0.05
P10	1.64	14	1,135.0	5.1	1.7	692.1	8.5	87.4	0.05
P11	1.68	14.2	1,151.2	5.0	1.7	685.3	8.5	86.6	0.05
P12	1.77	14.2	1,151.2	4.8	1.7	650.4	8.0	82.2	0.05
P13	1.53	14.5	1,175.6	5.6	1.7	768.3	9.5	97.0	0.06
P14	1.42	14.9	1,208.0	6.2	1.7	850.7	10.5	107.4	0.06
P15	1.67	14.9	1,208.0	5.3	1.7	723.3	8.9	91.4	0.05
P16	1.51	16.8	1,362.0	6.6	1.7	902.0	11.1	113.9	0.07
P17	1.93	17	1,378.2	5.2	1.7	714.1	8.8	90.2	0.05
P18	1.7	17.2	1,394.5	6.0	1.7	820.3	10.1	103.6	0.06
P19	1.9	19	1,540.4	6.0	1.7	810.7	10.0	102.4	0.06
P20	1.81	19.45	1,576.9	6.4	1.7	871.2	10.7	110.0	0.06
P21	2.29	21	1,702.5	5.5	1.7	743.5	9.2	93.9	0.05
P22	2.26	21.6	1,751.2	5.7	1.7	774.9	9.6	97.9	0.06
P23	2.54	21.9	1,775.5	5.1	1.7	699.0	8.6	88.3	0.05
P24	2.74	22.8	1,848.5	5.0	1.7	674.6	8.3	85.2	0.05
P25	2.54	22.9	1,856.6	5.4	1.7	730.9	9.0	92.3	0.05
P26	2.88	23.5	1,905.2	4.9	1.7	661.5	8.2	83.6	0.05

Fuente propia 2019

A continuación, se presentan las curvas tiempo – caída de presión y coeficiente de permeabilidad.

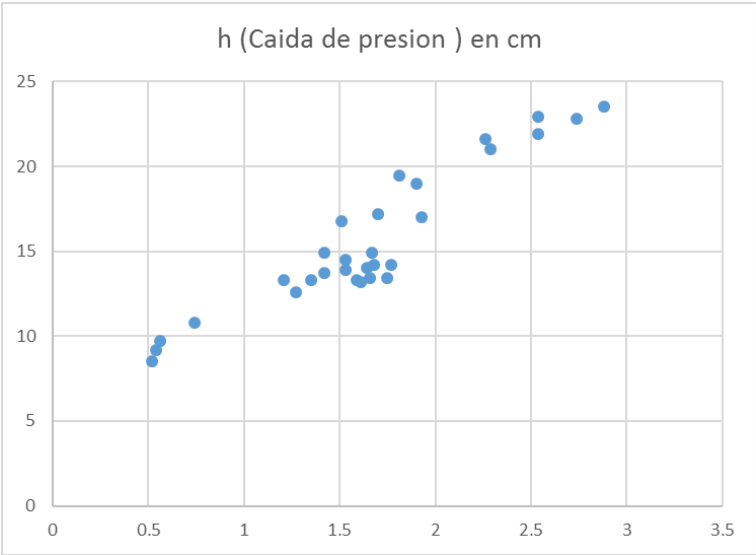


Figura 88. Caída de presión para diferentes tiempos

Fuente propia 2019

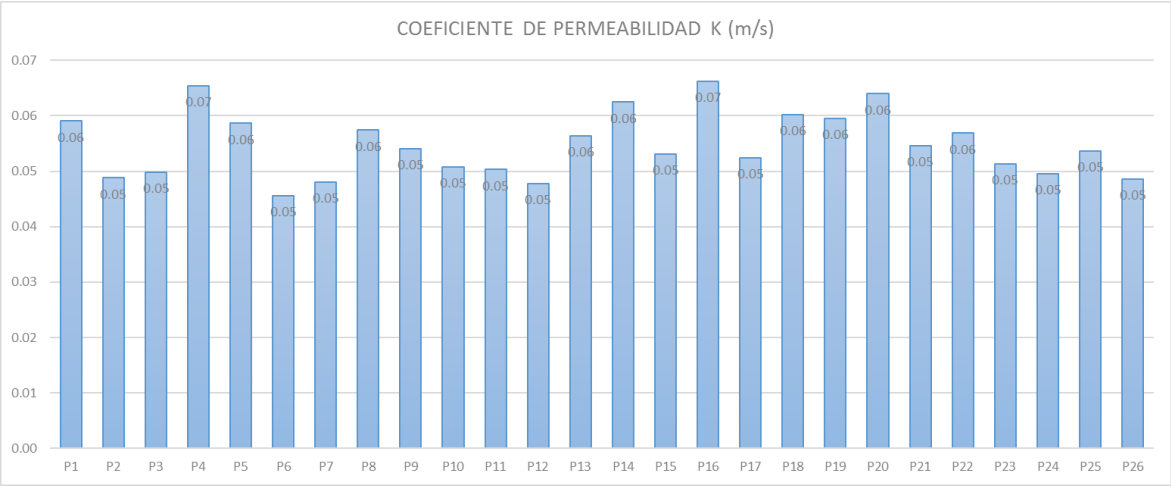


Figura 89. Coeficiente de permeabilidad en m/s de 26 ensayos de CONCREPM

Fuente propia 2019

Tabla 38

Resumen de los diferentes coeficientes de permeabilidad existente en diferentes lugares, comparados con el concreto CONCREPM planteado

Tipos de concreto	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K (m/s)
CONCRETO MIXTO	0.0548
TIPO I CON FINOS 20% vacios	0.014466
TIPO II SIN FINOS 17 % vacios	0.025723
NRMCA PUBLICATION #2PPCRT	0.013
CONCRETO PERMEABLE INGENIERIA HOY	0.0023
USO DE POROSO EN PAVIMENTO NOTICRETO	0.00014
N SUBRAMANIAN	0.0034
CONCRETO DRENANTES VALOR MINIMO	0.0001
CONCRETO CONVENCIONAL	0.000001
pacompia 17 % vacios	0.00464

Fuente: según indica el cuadro

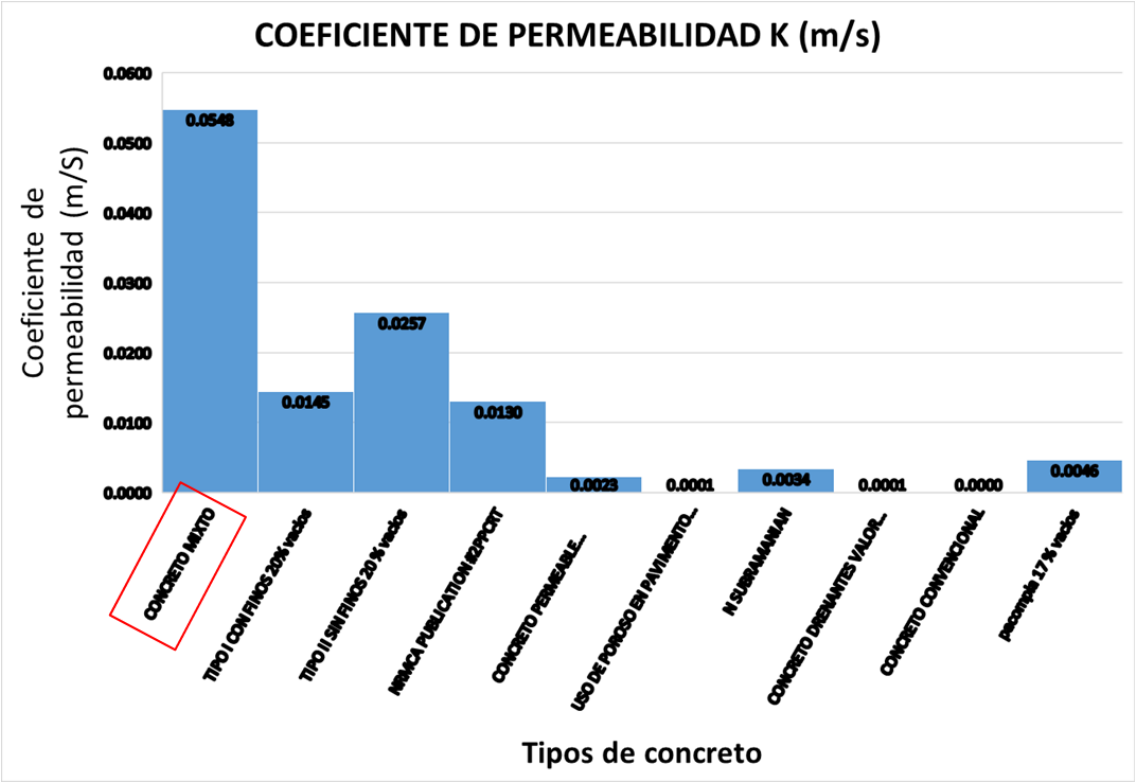


Figura 90. Coeficientes de permeabilidad de los diferentes tipos de concreto ensayados y desarrollados en diferentes investigaciones

Fuente propia 2019

En la Figura 90 se realiza un comparativo de coeficiente de permeabilidad de los diferentes tipos de concreto desarrollado en investigaciones por otros autores a la que se complementa el resultado del ensayo de permeabilidad de concreto CONCREPM propuesto en la investigación.

Análisis de Resultados

Análisis de los Resultados

Este capítulo está basado en el análisis de los resultados de los ensayos experimentales detallados en el capítulo anterior, y en la obtención de algunos parámetros útiles para el desarrollo de la propuesta del concreto CONCREPM.

Del ensayo de flexión

De los ensayos de flexión realizados en la presente investigación, se puede generalizar el comportamiento típico ante un incremento gradual de carga, para cada tipo de concreto; la cual se resumen en el gráfico mostrado en la Figura 91.

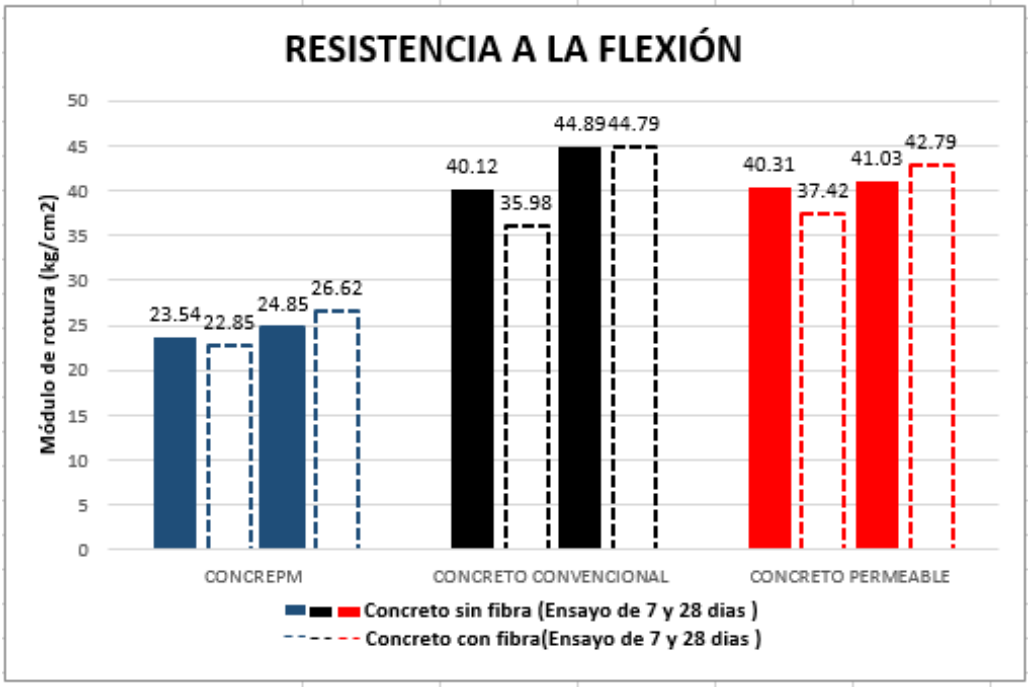


Figura 91. Resistencia a la flexión de especímenes prismáticos.

Fuente propia 2019

A partir de la gráfica de barras donde se muestran resistencia a flexión y presentadas en la Figura 91, se puede afirmar que el comportamiento de las muestras prismáticas tipo COMCREPM, diseñadas con un total de 30 drenes verticales de 5/8” y separados 32mm entre sí, presentan una resistencia promedio de 24.85 Kg/cm2; lo cual representa el 55.4% de la resistencia a la flexión que se obtuvo de los especímenes prismáticos de concreto convencional 44.89 Kg/cm2. Por otro lado, se observa que el comportamiento de la muestra de concreto permeable, diseñada para un porcentaje de vacíos similar al del concreto CONCREPM evaluado (7.2% de vacíos), presenta una resistencia promedio de

41.03 Kg/cm2; lo cual representa el 91.4% de la resistencia a la flexión que se obtuvo de los especímenes prismáticos de concreto convencional.

Para el caso de incorporación de 3.0 Kg de fibra de polipropileno por cada 01 m3 de concreto, presentan una resistencia promedio de 26.62 Kg/cm2; lo cual representa el 59% de la resistencia a la flexión que se obtuvo de los especímenes prismáticos de concreto convencional con fibra 44.79 Kg/cm2. Por otro lado, se observa que el comportamiento de la muestra de concreto permeable con fibras, diseñada para un porcentaje de vacíos similar al del concreto CONCREPM con fibras evaluado (7.2% de vacíos), presenta una resistencia promedio de 42.79 Kg/cm2; lo cual representa el 96% de la resistencia a la flexión que se obtuvo de los especímenes prismáticos de concreto convencional con fibra.

Del ensayo de Compresión

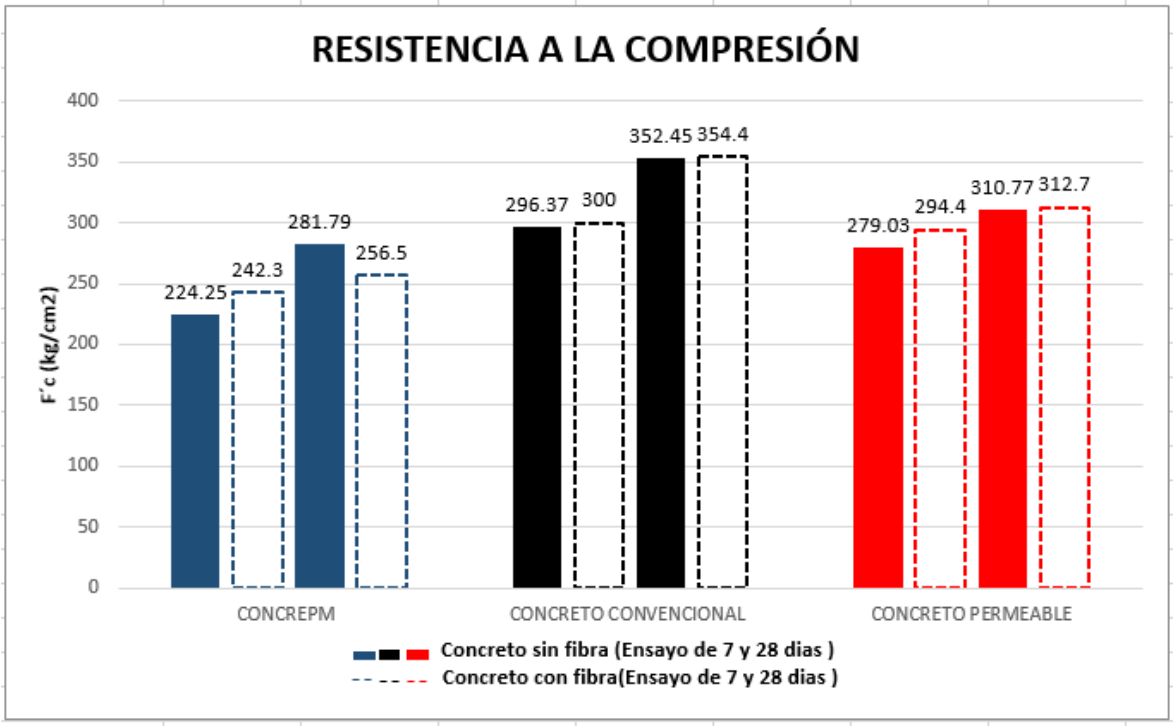


Figura 92. Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos.

Fuente propia 2019

A partir de las curvas de resistencia a compresión presentadas en la Figura 92, se puede afirmar que el comportamiento de las muestras cilíndricas tipo COMCREPM, diseñadas con un total de 04 drenes verticales de 5/8” y separados 32mm entre sí, presentan una resistencia promedio de 281.79 Kg/cm2; lo cual

representa el 80% de la resistencia a la flexión que se obtuvo de los especímenes cilíndricos de concreto convencional 352.45 Kg/cm2. Por otro lado, se observa que el comportamiento de la muestra de concreto permeable, diseñada para un porcentaje de vacíos similar al del concreto CONCREPM evaluado (7.2% de vacíos), presenta una resistencia promedio de 310.77 Kg/cm2; lo cual representa el 88% de la resistencia a la flexión que se obtuvo de los especímenes prismáticos de concreto convencional.

Para el caso de incorporación de 3.00 Kg de fibra de polipropileno por cada 01 m3 de concreto, presentan una resistencia promedio de 256.49. Kg/cm2; lo cual representa el 72% de la resistencia a la flexión que se obtuvo de los especímenes cilíndricos de concreto convencional con fibra 354.36 Kg/cm2. Por otro lado, se observa que el comportamiento de la muestra de concreto permeable con fibras, diseñada para un porcentaje de vacíos similar al del concreto CONCREPM con fibras evaluado (7.2% de vacíos), presenta una resistencia promedio de 312.73 Kg/cm2; lo cual representa el 88% de la resistencia a la flexión que se obtuvo de los especímenes cilíndricos de concreto convencional con fibra. Por lo tanto, la reducción de la resistencia a la flexión y compresión del concreto CONCREPM frente al convencional y concreto permeable, es debido principalmente a la incorporación del sistema de conductos drenantes, siendo más marcado en cuanto a la resistencia a la flexión.

Por lo tanto, la reducción de la resistencia a la flexión y compresión del concreto CONCREPM frente al convencional y concreto permeable, es debido principalmente a la incorporación del sistema de conductos drenantes, siendo más marcado en cuanto a la resistencia a la flexión.

Del ensayo de coeficiente de permeabilidad

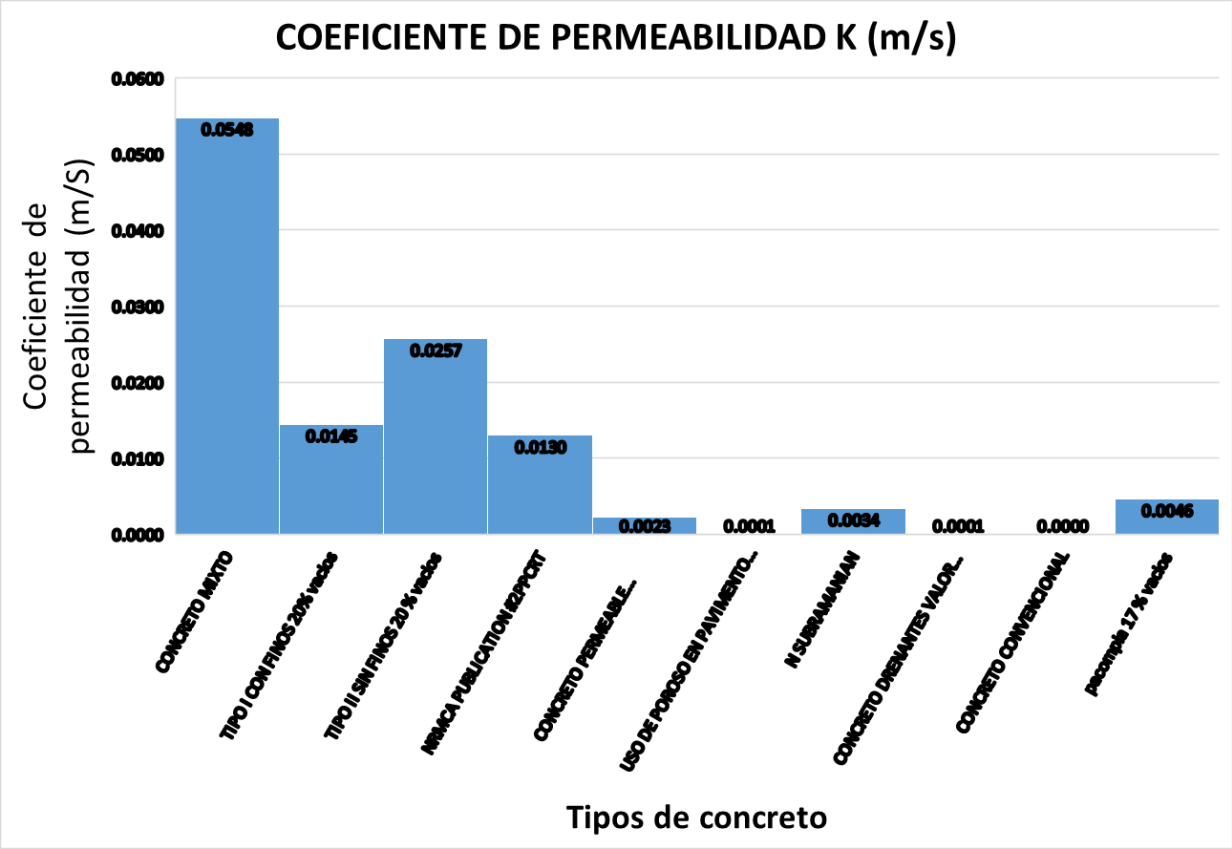


Figura 93. Coeficiente de permeabilidad del concreto CONCREPM frente a otros tipos de concreto permeable

Fuente: Elaboración propia, 2019.

A partir de las gráficas de coeficiente de permeabilidad presentadas en la Figura 93, se puede afirmar que el comportamiento de las muestras cilíndricas tipo COMCREPM, diseñadas con un total de 04 drenes verticales de 5/8” y separados 32mm entre sí, presentan un coeficiente de permeabilidad promedio de 0.0548 m/s; lo cual representa el 213% del concreto permeable con 20 % de vacíos desarrollado por Moujir & Castañeda (Diseño y aplicación de concreto permeable para pavimentos). Por otro lado, se observa que el comportamiento de la muestra de concreto permeable, diseñada para un porcentaje de vacíos similar al del concreto CONCREPM evaluado (7.2% de vacíos) y el concreto convencional, presenta un coeficiente de permeabilidad de 0.000001 m/cm (debidos a que no hay conexión de poros); lo cual representa el 0.0018% del coeficiente de permeabilidad que se obtuvo de los especímenes cilíndricos tipo COMCREPM.

Por lo tanto, el concreto CONCREPM, presenta mejores características en cuanto al coeficiente de permeabilidad en relación con el concreto permeable (20% de vacíos), concreto permeable (7.2% de vacíos) y el concreto convencional.

Conclusiones

1. En este estudio experimental se han llevado a cabo ensayos de flexión, compresión y permeabilidad. un total de 36 ensayos de flexión en vigas simple apoyadas, para obtener un módulo de rotura. Otros 36 ensayos de compresión, para obtener la resistencia a la compresión y finalmente 26 ensayos para obtener el coeficiente de permeabilidad. Para los tres tipos de concreto planteados en esta investigación, teniendo las siguientes características geométricas: vigas (15cmx15cmx55cm); probetas para ensayos de compresión (4”x8”) y probetas para ensayo de permeabilidad (4”x15cm)
2. Esta investigación estudia tres tipos de concreto denominados concreto CONCREPM, concreto permeable y concreto convencional. En los cuales el concreto CONCREPM y convencional tienen el mismo diseño de mezcla, mientras que el permeable se diseñó para un porcentaje de vacíos de 7.2%
3. Del ensayo de flexión en vigas simplemente apoyadas, se puede generalizar un comportamiento ante un incremento progresivo de la carga: Inicio de agrietamiento en la zona de alineamiento de los drenes verticales para el concreto CONCREPM, inicio del desprendimiento de las fibras de polipropileno y resistencia ultima de la viga.
4. En las curvas de módulo de rotura vs días de ensayo. Se puede observar una reducción de resistencia a flexión del concreto CONCREPM, puesto que el alineamiento como condición crítica, favorece a la pronta falla del elemento prismático.
5. La fibra incorporada en la mezcla favorece la reducción de generación de fisuras, pero como parte opuesta reduce la resistencia del concreto puesto que reduce el porcentaje de agua y slump.
6. Los resultados del ensayo de flexión corresponden entre un 10% a 16% del f’c de cada uno de los tres tipos de concreto.
7. Para la evaluación hidráulica representada por el coeficiente de permeabilidad, se observó que la variable que se tomó como fija (%de vacíos) entre el concreto permeable y el concreto CONCREPM no es funcional o representativa debido a la gran diferencia de coeficiente de permeabilidad que resulta de estos tipos de concreto. Fijando el % de vacíos a 7.2%, por ser este el porcentaje de vacíos crítico para los parámetros establecidos para el concreto CONCREPM, del concreto

CONCREPM se obtuvo 0.0548 m/s como coeficiente de permeabilidad, mientras que para el concreto permeable se obtuvo solamente (0.000001m/s) como coeficiente de permeabilidad, muy similar al coeficiente de permeabilidad del concreto convencional. Por lo que se puede decir que CONCREPM tiene un mayor coeficiente de permeabilidad > 1.22cm/s, según norma ACI-522R “Report on Pervious Concrete”.

8. En la curva de resistencia de compresión vs días de ensayo. Se puede observar una reducción de resistencia a la compresión del concreto CONCREPM. Puesto que a menor área de contacto de la carga genera esfuerzos mayores que favorecen la pronta falla.
9. Finalmente, se hizo notorio en el desarrollo de esta investigación la importancia que tiene los estudios experimentales. Especialmente para este tipo de concreto que se está planteando (concreto CONCREPM) que posee cierto número de variables; cuya principal falla (flexión) es determinada de manera sencilla mediante parámetros de carga, dimensiones geométricas y tipo de falla. Así mismo el coeficiente de permeabilidad que depende de las dimensiones y distribución de los drenes. Brindando así, parámetros indispensables para el diseño de un concreto CONCREPM. Sin los cuales no sería posible el conocimiento de la capacidad real de este tipo de concreto

Recomendaciones

Como se indicó previamente, se evaluaron los tres tipos de concreto con respecto a sus propiedades mecánica e hidráulicas obteniéndose resultados favorables y desfavorables. Por ello se brindan las siguientes recomendaciones:

1. Con los resultados obtenidos del coeficiente de permeabilidad de concreto CONCREPM, se puede realizar un ajuste de reducción a la cantidad de drenes verticales tal que se pueda incrementar la resistencia a la compresión y flexión.
2. Para la evaluación de la resistencia a flexión del concreto CONCREPM se consideró la alineación más crítica, si se quiere incrementar la resistencia se puede optimizar la distribución de los drenes verticales y evitar una línea de falla.
3. Para el control de reducción de agua y slump al momento de incorporación de fibras de polipropileno, se puede regular con la adición de un aditivo que controle la trabajabilidad del concreto.
4. Para la evaluación hidráulica, se recomienda establecer como variable fija al coeficiente de permeabilidad (k) para elaborar concreto permeable con un determinado porcentaje de vacíos y en base a este porcentaje de vacíos, diseñar

el concreto CONCREPM para verificar que con un mismo comportamiento hidráulico CONCREPM tendría un comportamiento mecánico superior.

5. En cuanto a mejorar la resistencia a compresión del concreto CONCREPM. Se podría reducir el diámetro de los drenes verticales. Pero esto implicaría reducción de coeficiente de permeabilidad y obstrucción de los agujeros. Lo recomendable seria mejorara la distribución y alineamiento de los drenes verticales tal que el área de contacto con la carga pudiera ser mayor.

Propuestas para futuras investigaciones

Teniendo en consideración que CONCREPM es una propuesta alternativa de concreto permeable para pavimentos, la cual se trabajó presentó en una etapa inicial para este informe de tesis y que los autores consideran que tiene gran potencial para convertirse en un nuevo modelo utilizado para pavimentos que brinde beneficios para nuestra sociedad, se presentan las siguientes propuestas para futuras investigaciones que puedan impulsar el desarrollo de CONCREPM:

a) Estudiar y diagnosticar los fenómenos de deterioro del prototipo CONCREPM para evaluar la durabilidad durante la vida de servicio ya que estarán constantemente expuestos a la humedad incrementando el riesgo de deterioro.
b) Estudiar, a nivel microscópico, la interfaz pasta - agregado y cómo afectaría a la permeabilidad del prototipo CONCREPM debido al asenso capilar que se pueda producir a través de las micro-fisuras que pudieran generarse en dicha interfaz ya que según Kumar Menta (Mehta K. 2014) no se puede lograr una conexión integra entre la pasta y los agregados.
c) Estudiar la capilaridad para el prototipo CONCREPM mediante ensayos específicos para poder determinar cuantitativamente el efecto del asenso capilar. Por ejemplo, se puede evaluar la capilaridad mediante los ensayos descritos en las normas ASTM C 1585 “Método para medir la tasa de absorción de agua en concreto de cemento hidráulico” (ASTM C1558, 2007), SIA 262-1 “Anexo A Determinación de la permeabilidad al agua del concreto”, BS 1881-122:2011 “Ensayos de hormigón - Método para la determinación de la absorción del agua”, DIN 52617 “Medición de la absorción del agua” o el ASTM C642 “Determinación de la densidad, la absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido” (Bustamante, I. 2017).Estudiar el comportamiento del prototipo CONCREPM sometido a ensayos de flexión en vigas y compresión en probetas para diferentes diámetros de los drenes verticales para determinar los límites máximos y mínimos en donde los parámetros coeficiente de permeabilidad (límites mínimos) y el módulo de rotura (límites máximos) se

mantengan en valores que permitan al prototipo CONCREPM comportarse eficientemente.

d) Estudiar variantes para la configuración de drenes verticales del prototipo CONCREPM, en este estudio se presentó un tipo de configuración lineal para que el ensayo de flexión tenga ejes de drenes verticales alineados y por ende represente el estado crítico del modelo. Se tendría que proponer configuraciones que se comporten de manera óptima en laboratorio y posteriormente con el prototipo en funcionamiento sometido a las cargas vehiculares. En las figuras 94 y 95 se muestran otras opciones de configuración para CONCREPM.

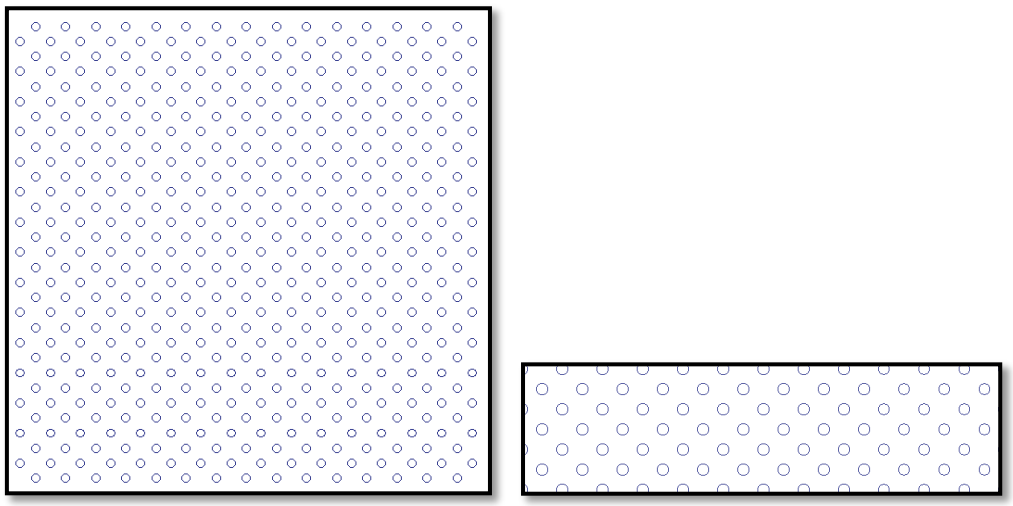


Figura 94. Propuesta para configuración de losa CONCREPM (Modelo diagonal) y viga para ensayo de flexión

Fuente: Elaboración propia, 2019.

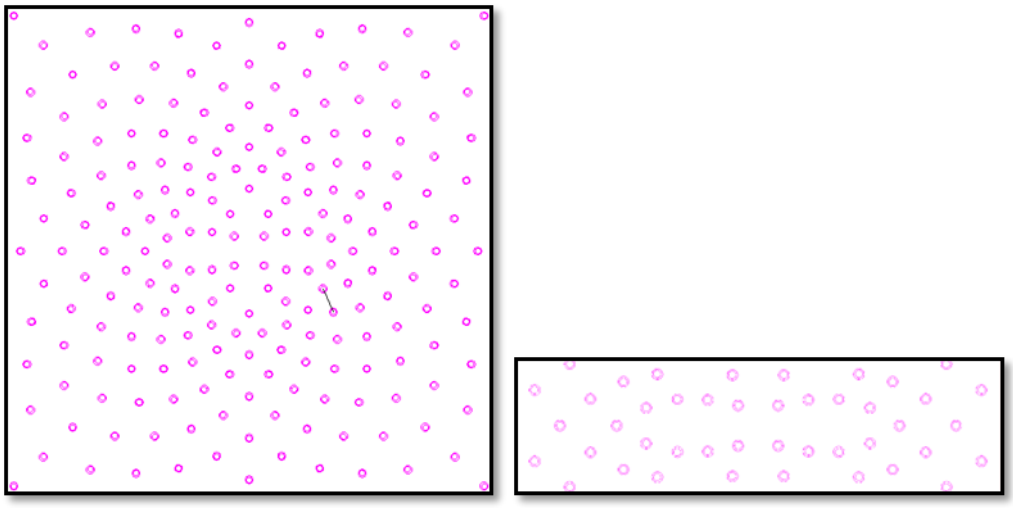


Figura 95. Propuesta para configuración de losa CONCREPM (Modelo espiral) y viga para ensayo de flexión

Fuente: Elaboración propia, 2019.

e) Realizar un análisis de propagación de fisuras en el prototipo CONCREPM puesto que los drenes verticales representarían puntos de falla, lo cual puede deteriorar al prototipo aceleradamente.

Propuesta de instalación de CONCREPM

Como propuesta para investigaciones futuras se puede plantear una idea para el proceso de implementación en las construcciones de pavimentos. La idea va de la mano con el sistema de sub- drenes franceses la cual está constituida con muestra la Figura 96 por un sistema de tuberías HDPE, ranuradas y con orificios que filtran el agua drenada adicionalmente se cubre alrededor con material filtrantes de gravas limpias y esta va envuelta con un geotextil de 200gr/m2 y en contacto directo ente el concreto CONCREPM y el material granular de incorpora geo-celdas para evitar que los geotextiles se dañen y finamente como carpeta de rodamiento se instala el concreto CONCREPM evaluado en esta investigación.

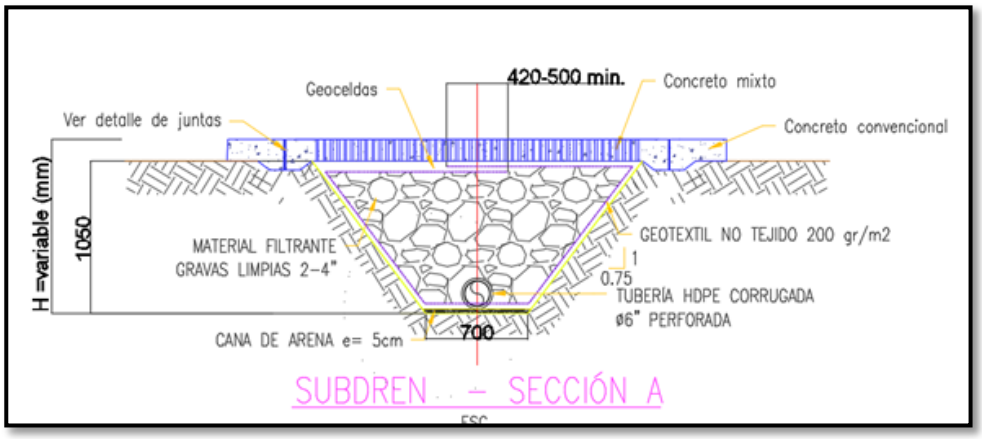


Figura 96. Sistema de subdrenaje con el concreto CONCREPM

Fuentes propia 2019

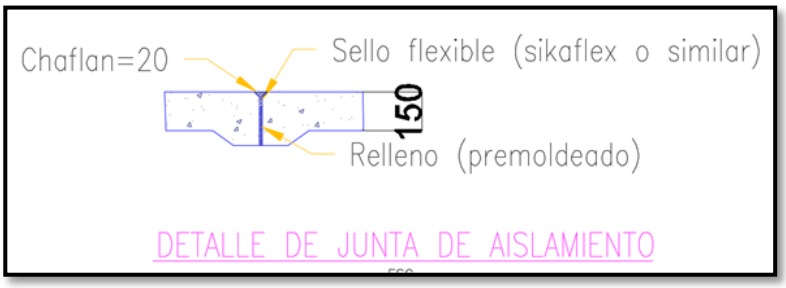


Figura 97. Detalle de junta de aislamiento entre concreto.

Fuentes propia 2019

Referencias

Normativa - Libros:

- ✓ ACI comité 318, “Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318-05) y comentarios (ACI 318SR-05)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2005, Cap. 16.
- ✓ ASTM C136, "Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de Agregados Finos y Gruesos", ASTM internacional, USA, 2005.
- ✓ ASTM C-192, “Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo en laboratorio”, ASTM internacional, 2007.
- ✓ ASTM C-1585, “Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by HydraulicCement Concretes”, ASTM internacional, 2007.
- ✓ ASTM C-39, “Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto”, ASTM internacional, 2005
- ✓ ASTM C78/C78M, “Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)”, ASTM international, 2016.
- ✓ ASTM C31/C 31M, “Práctica Normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra”, ASTM internacional, 2008.
- ✓ ACI committee 522R-06, “pervious concrete”, American concrete institute, Farmington hills. MI., 2006.
- ✓ NTP 339.034, “Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Compresión del Concreto en muestras cilíndricas”, Comité Técnico de normalización de agregados, lima, Perú, 2009.
- ✓ AASTHO GUIDE. (1993). Design of pavement structures, American Association of State Highway and Transportation Officials”, Washington, D.C. 20001: Guía de diseño de pavimento.
- ✓ DG 2019. (2019). Diseño geométrico. Dirección general de caminos y ferrocarriles. Lima- Perú: Manual de carreteras.
- ✓ EG-2013. (2013). Especificaciones técnicas generales para construcción (TOMO1). Lima-Perú: Manual de carreteras.
- ✓ Delatte, N. (2014). Concrete Pavement design, construction and performance (second edition). Recuperado el 14 de mayo, 2019 de https://books.google.com.pe/books?id=toahAwAAQBAJ&pg=PR3&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false
- ✓ NRMCA. (2008). CIP 24 –Fibras sintéticas para el concreto. Silver spring MD: National ready mixed concrete Association.
- ✓ NRMCA (2008). CIP 38 - Concreto permeable. Silver spring MD: National ready mixed concrete Association.
- ✓ Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, L. (2014) Metodología de la Investigación. (6° ed.). México. D.F.: McGraw Hill.
- ✓ Li, Z. (2011). Advanced Concrete Technology. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- ✓ Mehta, K. (2014). “Concrete: Microstructure, Properties, and Materials” (fourth edition). México. D.F.: McGraw Hill.

Referencias de investigación:

- ✓ Eisenberg, B., AP, L., Lindow, K., & smith D. (2013). *PERMEABLE PAVEMENTS.* Estados Unidos.: ASCE.
- ✓ Benites, J. C. (2014). **característica** físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregados de la cantera río Jequetepeque y el aditivo Chema plast (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca-Perú.

- ✓ Cusquisivan & Sáenz (2016) comparación de la resistencia a la flexión que alcanza el concreto reforzado con fibras de acero con respecto al concreto tradicional para pavimentos rígidos. Universidad privada del norte. Cajamarca.
- ✓
- ✓ Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño". (2017). Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN El Niño Costero 2017. (decreto supremo N° 007-2017-PRODUCE). Lima.
- ✓ Flores & Pacompia, C. E. & I. A. (2015). Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos F'c 175 kg/cm2 en la ciudad de puno. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú.
- ✓ Flores Prieto, J. R. (2010). Caracterización del concreto permeable usando el módulo de ruptura y el porcentaje de desgaste. (Tesis de pregrado). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia-México.
- ✓ Angelone, S., Garibay, T. & Cauhapé, M. (2006). GEOLOGIA Y GEOTECNIA-Permeabilidad de suelos. Material presentado para su publicación. Universidad Nacional de Rosario.
- ✓ Gerley, J. (2012) Propiedades hidráulicas de los suelos. Material presentado para su publicación. Universidad de buenos aires.
- ✓ Hernandez & Mendoza (2018) Metodología de investigacion – las rutas cuantitativas, cualitativas y mixtas. McGraw-Hill Interamericana
- ✓ Juárez, E., & Rico, A. (2005) Mecánica de suelos (629). México: Limusa.
- ✓ Menéndez, j. (2013) diseño y gestión de pavimentos. Instituto de la construcción y gerencias.
- ✓ Moujir & Castañeda, Y. & L. F. (2014). Diseño y aplicación de concreto permeable para pavimentos. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana Cali. Santiago de Cali-Colombia.
- ✓ Salgado, M. (noviembre, 2014). Conclusiones de los pavimentos de losas cortas construidos en Latinoamérica. Pre-XVII congreso argentino de vialidad y tránsito. Recuperada el 14 de mayo, 2019 de www.icpa.org.ar/.../2014...pavimentos/05-Conclusiones-proyectos-de-losas-cortas-Ing..pdf.
- ✓ Sánchez & Tapia (2015). Relación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edades de 3,7, 14, 28 y 56 días respecto a la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a la edad de 28 días según ACI. Universidad privada Antenor Orrego. Facultad de Ingeniería.
- ✓ Vélez (2010). Permeabilidad y porosidad en concreto. Instituto Tecnológico Metropolitano.
- ✓ U.S. Department of Energy (2012) Development of Technology Readiness Level (TRL) Metrics and Risk Measures.
- ✓ López, R. & Uriarte, M. (2013) Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico. Material presentado para su publicación. Universidad Nacional de Ingeniería- Managua.
- ✓ Instituto del cemento y del concreto de chile (2010) Los desarrollos en pavimentos. Foro federación internacional del cemento -FICEM. Recuperada el 14 de mayo, 2019 de *www.ficem.org/multimedia/2010/insti10/AUGUSTO_HOLMBERG.pdf*
- ✓ Tennis et al. (2004). Pervious concrete Pavements. USA. Portland cement Association, 36p.
- ✓ Cabrera, J. I. (2015). ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO POLIMÉRICO PERMEABLE PARA SU UTILIZACIÓN EN PROYECTOS CON FINES AMBIENTALES. Guatemala.
- ✓ Cogollo Forero, M. I., & Silva Bernal, A. Y. (2019). *MODELACIÓN NUMÉRICA DE PAVIMENTOS RÍGIDOS MEDIANTE MODULACIÓN CONVENCIONAL Y DE LOSAS CORTAS.* Bogotá D.C.
- ✓ De La Cruz Mercado, W. R., & Quispe Ccahuin, W. R. (2014). INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN EL CONCRETO EMPLEADO PARA

PAVIMENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS EN LA PROVINCIA DE HUAMANGA -AYA CUCHO. Huancavelica.

- ✓ Forney Industries. (13 de junio de 2019). *Forney*. Obtenido de https://www.forneyonline.com/control-systems
- ✓ Bustamante, I. (2017). Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de ciencias e ingeniería.

Papers de investigación:

- ✓ A. Brake, N. (2016). Flexural strength and fracture size effects of pervious concrete. *ELSEVIER*, 536-543.
- ✓ Chen, Y. (2013). Strength, fracture, and fatigue of pervious concrete. ELSEVIER, 97-104.
- ✓ F. Giustozzi. (2016). Polymer-modified pervious concrete for durable and sustainable transportation infrastructures. ELSVIER, 502-512.
- ✓ Huang, B. (2010). Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete. *ELSEVIER*, 818-823.
- ✓ Ibrahim, A. (2014). Experimental study on Portland cement pervious concrete mechanical and hydrological properties. ELSEVIER, 524-529.
- ✓ Yang, M. (2016). Characterization of pervious concrete through image based micromechanical modeling. ELSVIER, 547-555.
- ✓ Zhong, R. (2016). Linking pore system characteristics to the compressive behavior of pervious concrete. *ELSEVIER*, 130-138.

Anexos

Anexo 1: Cronograma de mezclado y ensayos de laboratorio

Tabla 39

Cronograma de mezclado y ensayos.

mes	Mezcla	elaboracion	Ensayos	
			7DIAS	28DIAS
	1	17/07/2018	24/07/2018	14/08/2018
	2	24/07/2018	31/07/2018	21/08/2018
	3	31/07/2018	07/08/2018	28/08/2018
	4	07/08/2018	14/08/2018	04/09/2018
	5	14/08/2018	21/08/2018	11/09/2018
	6	21/08/2018	28/08/2018	18/09/2018
	7	28/08/2018	04/09/2018	25/09/2018
	8	04/09/2018	11/09/2018	02/10/2018
	9	11/09/2018	18/09/2018	09/10/2018
	10	18/09/2018	25/09/2018	16/10/2018
	11	25/09/2018	02/10/2018	23/10/2018
	12	02/10/2018	09/10/2018	30/10/2018

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Anexo 2: Matriz de operacionalización

Tabla 40

Matriz de operacionalización.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICES	ITEMS
Variable1: Resistencia a compresión	capacidad del concreto a resistir fuerzas de compresión	kg/cm2	Para peso unitario mayor a 800kg/m3 1. 70% de resistencia a 7 días de ensayo 2. 80-90% de resistencia a 14 días de ensayo 3. 100% de resistencia a 28 días de ensayo	Tipo de falla: 1. Cono 2. Cono y separación 3. Cono y corte 4. Corte 5. Columna	A) Aceptable B) Otro tipo de falla Descartar
Variable2: Resistencia a flexión	capacidad del concreto a resistir fuerzas de tracción	kg/cm2	10-20% de la resistencia a compresión a los 28 días	Tipo de rotura: A) Rotura dentro del tercio medio. B) Rotura fuera del tercio medio, no mayor al 5% de L. C) Rotura fuera del tercio medio, mayor al 5% de L.	A) Aceptable B) Aceptable C) Descartar
Variable3: velocidad de permeabilidad	parámetro que muestra la eficiencia de un liquido que atraviesa por un medio poroso	cm/s	Contenido de vacíos 15-35% (81 a 730 L/min/m2)	Según normativa ACI 522R-10 (81 a 730 L/min/m2)	A) <81 Descartar B) 81<>730 Aceptable C) >730 Descartar

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Anexo 3: Matriz de consistencia

Tabla 41 Matriz de consistencia

<table>
<tr><th>PROBLEMA</th><th>OBJETIVOS</th><th>HIPÓTESIS</th><th>VARIABLES</th><th>TIPO Y DISEÑO</th><th>POBLACIÓN Y MUESTRA</th></tr>
<tr><td>PROBLEMA GENERAL:
¿Qué relación existe entre las propiedades mecánicas e hidráulicas de una losa de CONCREPM frente al concreto hidráulico convencional y el concreto permeable en zonas pavimentadas que presentan inundaciones?</td><td>OBJETIVO GENERAL:
Evaluar y comparar las propiedades mecánica e hidráulica de una losa CONCREPM para demostrar su funcionalidad frente al concreto convencional y permeable para pavimentos.</td><td>HIPÓTESIS PRINCIPAL:
El comportamiento mecánico de la losa CONCREPM tiende a ser el mismo que del concreto convencional (f’c Concrepm >= 0.85-0.9 f’c convencional, EG 2013- manual de carreteras p.382) y superior al del concreto permeable (f’c Concrepm > f’c permeable) para pavimentos, además la losa CONCREPM presenta un adecuado comportamiento hidráulico (K Concrepm >= 1.22cm/s, según norma ACI-522R “Report on Pervious Concrete”</td><td>VARIABLE 1:
Resistencia a compresión
DIMENSIONES
kg/cm2</td><td rowspan="3">TIPO DE ESTUDIO:
La investigación es de tipo Experimental aplicada, puesto que las variables independientes se manipulan para establecer efectos en las variables dependiente y estas ser medidas para responder los objetivos e hipotesis de la investigacion.
ENFOQUE METODOLÓGICO A UTILIZAR:
El enfoque de la investigación será de tipo cuantitativo, puesto que se determinarán valores numéricos a partir de los diferentes ensayos .
TIPO DE DISEÑO:
El diseño de la investigación que más se adecua es el Diseño con posprueba única y grupo de control.</td><td rowspan="3">POBLACIÓN:
La población se definió como el conjunto de todos los concretos hidráulicos empleados en pavimentos.
MUESTRA: 72
La selección de muestra fue no probabilística puesto que la decisión de la elección de las muestras obedece a criterios establecidos según reglamentos nacionales (RNE) e internacionales (ASTM, ACI, Etc.) que establecen una cantidad mínima de muestras según el volumen de concreto a utilizar.
Por lo que se escogio 9 especímenes de cada diseño de concreto tanto vigas y probetas con sus respectivas variantes</td></tr>
<tr><td rowspan="2">PROBLEMA ESPECÍFICO:

a) ¿Qué relación existe entre las propiedades mecánicas de una losa de CONCREPM frente al concreto hidráulico convencional en zonas pavimentadas que presentan inundaciones?

b) ¿Qué relación existe entre las propiedades hidráulicas de una losa de CONCREPM frente al concreto permeable en zonas pavimentadas que presentan inundaciones?</td><td rowspan="2">OBJETIVO ESPECIFICO:
a) Evaluar y comparar las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión de una losa CONCREPM para demostrar su funcionalidad frente al concreto permeable y convencional para pavimentos, haciendo uso de especímenes adicionados con fibras PET y sin fibras.

b) Evaluar y comparar las características hidráulicas de permeabilidad y velocidad de infiltración de una losa CONCREPM para demostrar su funcionalidad frente al concreto permeable para pavimentos.</td><td rowspan="2">HIPÓTESIS ESPECIFICA:
a) El sistema de conductos de la losa CONCREPM reducirá parcialmente su resistencia a la compresión frente al concreto convencional, pero frente al concreto permeable presentará mejor performance. (f’c permeable < f’c Concrepm < f’c convencional)

b) El sistema de conductos de la losa CONCREPM reduce parcialmente la resistencia a la flexión frente al concreto convencional para pavimentos, pero frente al concreto permeable presentará mejor performance. (MR permeable < MR Concrepm < MR convencional)

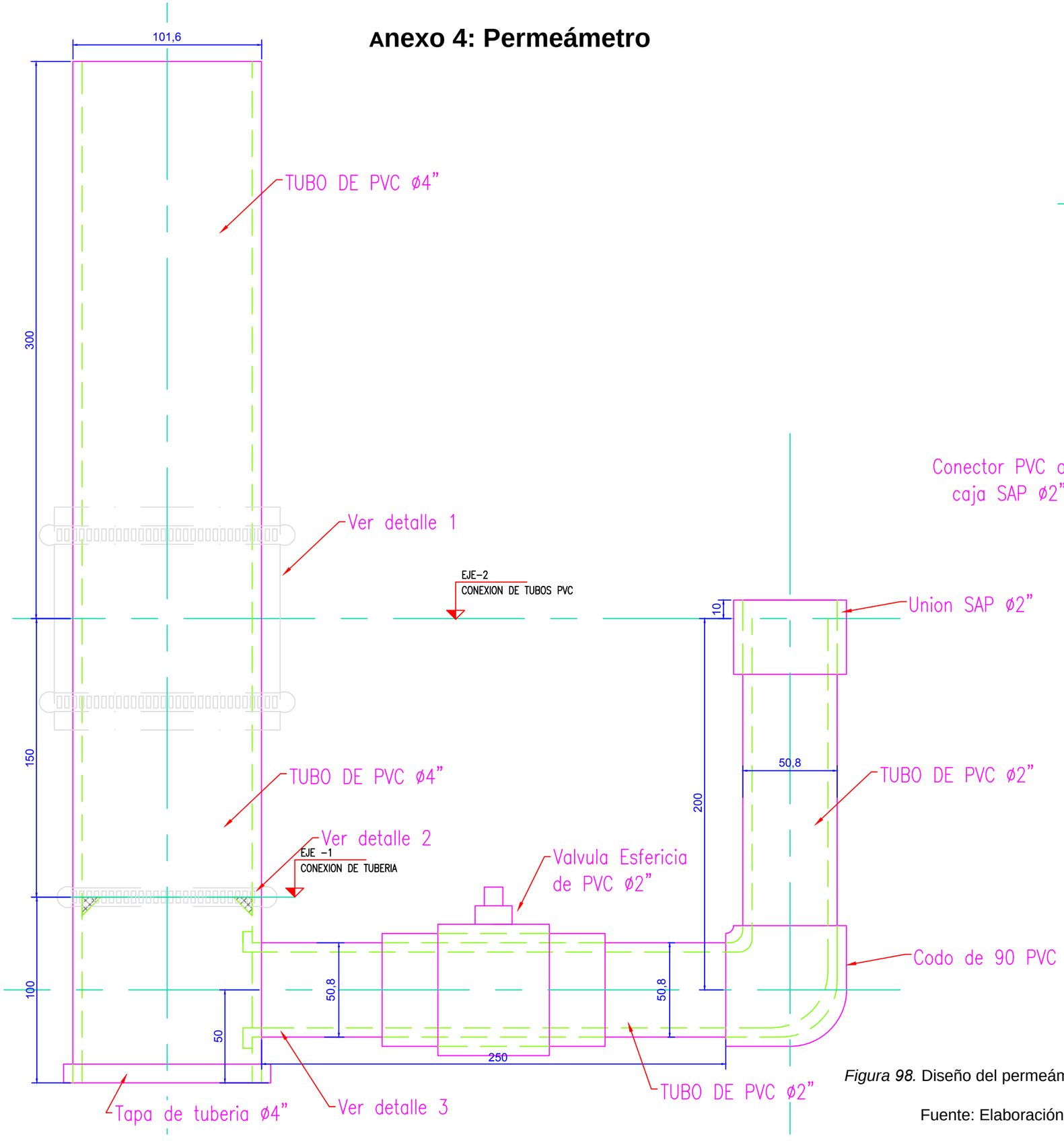
c) La losa CONCREPM presentará similar</td><td>VARIABLE 2:
Resistencia a flexión
DIMENSIONES
kg/cm2</td></tr>
<tr><td>TÉCNICAS</td><td>INSTRUMENTOS</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>VARIABLE 3:
Coeficiente de permeabilidad
DIMENSIONES
m/s</td><td>Técnicas de procesamiento y análisis de datos</td><td>Maquina de compresión y tracción

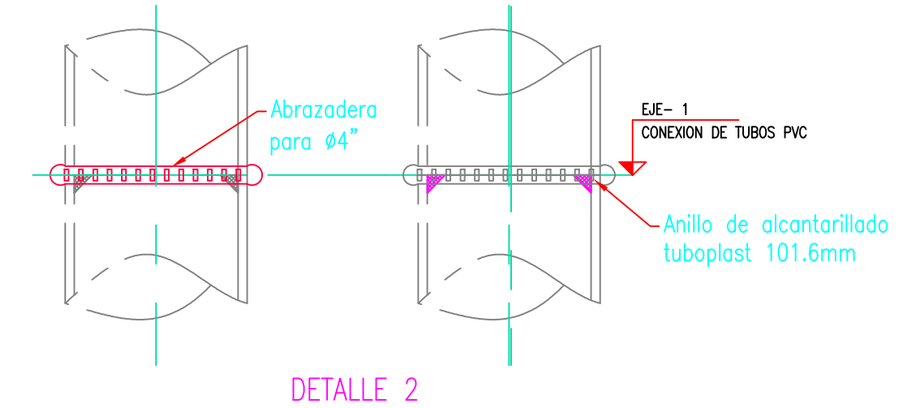
Sistema Darcy para evaluar infiltración (elaborado)

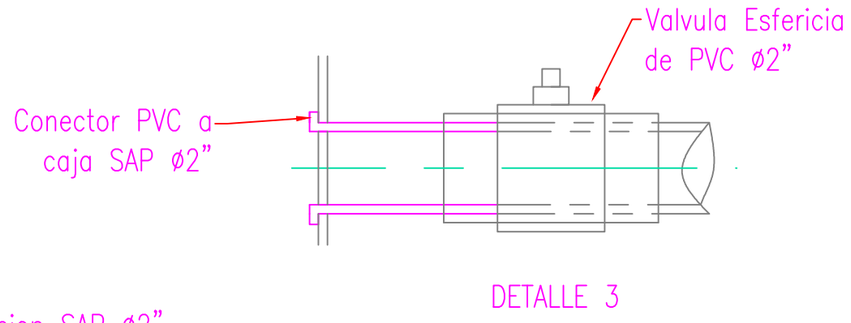
Normativas extranjeras y peruanas</td></tr>
</table>

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Anexo 4: Permeámetro







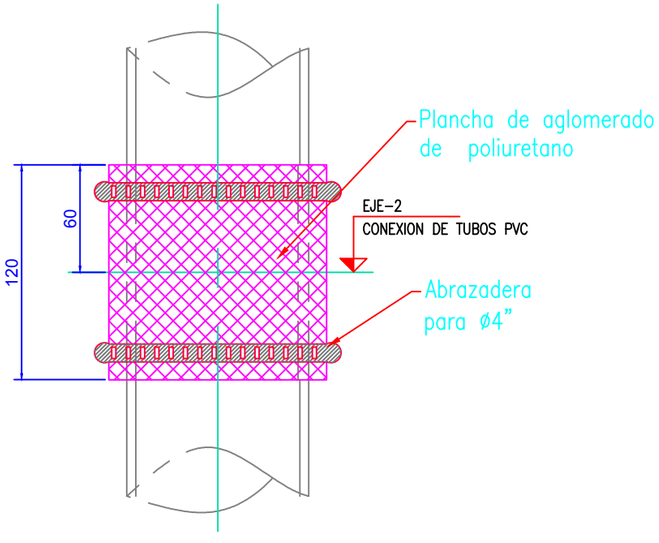


Figura 98. Diseño del permeámetro de carga constante

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Anexo 5: Control de calidad de agregado fino

UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA

Carrera de Ingeniería Civil

Laboratorio de Materiales de Construcción

ENSAYO DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGREGADO FINO
(NTP 339.185 / 400.018 / 400.021 / 400.012 / 400.017)

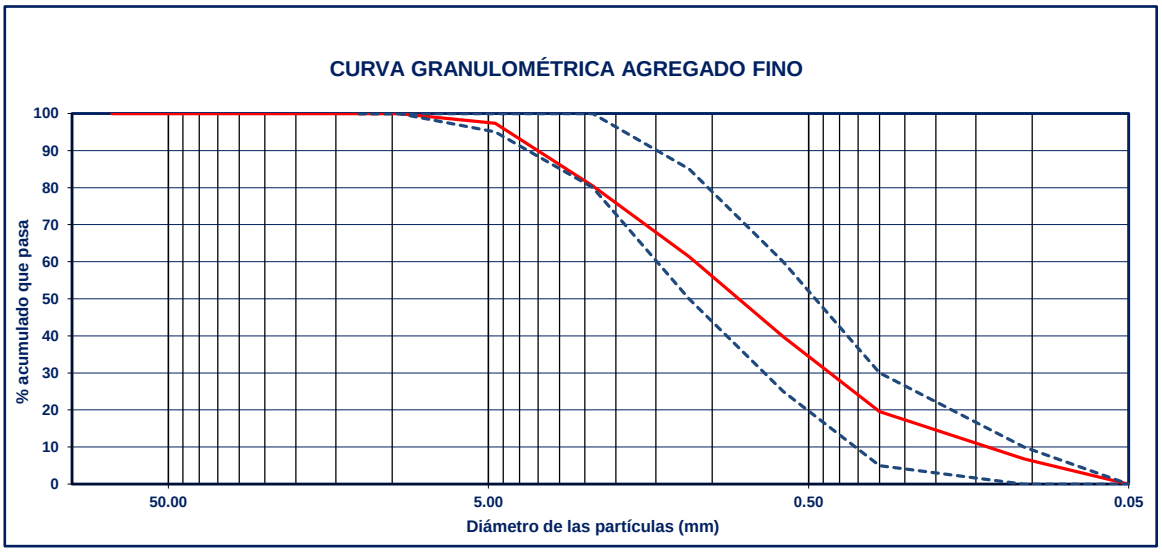
N° de Informe : LMC-18-CICLO I
Solicitante : LEACIV
Proyecto : Control de Calidad del Agregado

Ubicación : LIMA

GRANULOMETRIA

TAMIZ	Malla (mm)	%Acum que Pasa.
1"	75.000	100.0
3/4"	50.800	100.0
1/2"	38.100	100.0
3/8"	25.400	100.0
No. 4	19.000	100.0
No. 8	12.700	100.0
No. 16	9.500	100.0
No. 30	4.760	100.0
No. 50	2.000	97.3
No. 100	0.840	80.5

CARACTERISTICAS FISICAS		
Modulo de Fineza	**2.95**	-
Gravedad Específica	**2.66**	-
Peso Unitario Suelto	**1698**	kg/m3
Peso Unitario Compactado	**1798**	kg/m3
Humedad	**0.77**	%
Absorción	**0.60**	%
Malla No. 200	**5.55**	%
Equivalente de Arena	-	%



Información: **Muestreo e identificación de los agregados realizados por el solicitante.**

Ingresado por: A.F.M Realizado por: A.F.M Revisado por: M.D.P

Figura 99. Ensayo de control de calidad del agregado fino

Fuente: Laboratorio de materiales de construcción- LEACIV-USIL.

Anexo 6: Control de calidad de agregado grueso

UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA

Carrera de Ingeniería Civil

Laboratorio de Materiales de Construcción

ENSAYO DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGREGADO GRUESO
(NTP 339.185 / 400.018 / 400.021 / 400.012 / 400.017)

N° de Informe : LMC-18-CICLO I
Solicitante : LEACIV
Proyecto : Control de Calidad del Agregado Grueso

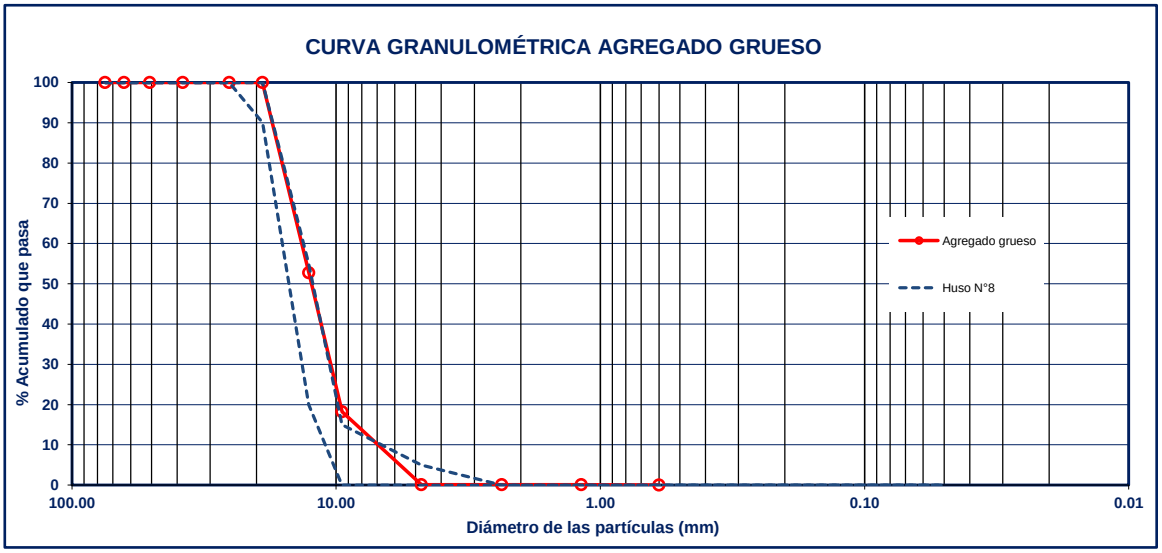
Ubicación : LIMA

GRANULOMETRIA DE AGREGADO GRUESO

TAMIZ	Malla (mm)	%Acum que Pasa.
3"	75.000	100.0
2"	50.800	100.0
1 1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
3/4"	19.000	100.0
1/2"	12.700	100.0
3/8"	9.500	52.8
#4	4.760	18.2
#8	2.000	0.1
#16	0.840	0.1

CARACTERÍSCTICAS FÍSICAS DEL AGREGADO

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
Tamaño Máximo	**3/4"**	Pulg.
Tamaño Máximo Nominal	**1/2"**	Pulg.
Modulo de Fineza	**6.8**	-
Huso	**6**	-
Gravedad Específica	**2.74**	-
Peso Unitario Suelto	**1432**	kg/m3
Peso Unitario Compactado	**1577**	kg/m3
Humedad	**0.22**	%
Absorción	**0.94**	%
Abrasión de Los Angeles	-	%
Malla No. 200	-	%



Información: **Muestreo e identificación de los agregados realizados por el solicitante.**

Ingresado por: A.F.M Realizado por: A.F.M Revisado por: M.D.P

Figura 100. Ensayo de control de calidad del agregado grueso

Fuentes: Laboratorio de materiales de construcción- LEACIV-USIL.

Anexo 7: Diseño de concreto Convencional

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO METODO ACI

INFORMACIÓN PREELIMINAR

CEMENTO

CEMENTO:	SOL - I	
F'c =	266	Kg/cm2
Pe =	3.15	gr/cm3
Slump =	7"	Para nuestro pavimento
Pe Agua =	1000	Kg/m3

AGREGADO FINO

CARACTERISTICAS FISICAS		
Modulo de Fineza	2.95	-
Gravedad Especifica	2.66	-
Peso Unitario Suelto	1698	kg/m3
Peso Unitario Compactado	1798	kg/m3
Humedad	0.77	%
Absorción	0.60	%
Malla No. 200	5.55	%
Equivalente de Arena	-	%

AGREGADO GRUESO

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
Tamaño Máximo	3/4"	Pulg.
Tamaño Máximo Nominal	1/2"	Pulg.
Modulo de Fineza	6.8	-
Huso	6	-
Gravedad Especifica	2.74	-
Peso Unitario Suelto	1432	kg/m3
Peso Unitario Compactado	1577	kg/m3
Humedad	0.22	%
Absorción	0.94	%
Abrasión de Los Angeles	-	%
Malla No. 200	-	%

1) CÁLCULO F'cr (resistencia promedio requerida)

F'c	266	Kg/cm2
	84	
F'cr	350	Kg/cm2

2) CONTENIDO DE AIRE

TMN	1/2"
Aire	2.50%

3) CONTENIDO DE AGUA

slump	7"	
TMN	1/2"	
Agua	228.00	L/m3

4) REALICIÓN a/c (por resistencia F'cr)

f´cr	350.00
a/c	0.48

300	0.55
350	0.49
400	0.43

0.48

Tabla 04: Relación agua/cemento por resistencia

f'c Kg/cm²	Relación a/c en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	
450	0.38	

5) CONTENIDO DE CEMENTO

agua	228.00	L/m3
a/c	0.48	
Cemento	475.00	Kg

Factor C.	11.18	Bls

6) PESO DEL AGRAGADO GRUESO

MF	2.51	
TMN	1/2"	
b/b0	0.58	
P.U.S. Comp	1608	Kg/m3
Peso Ag. Grueso	931.03	Kg

2.4	0.59
2.51	0.58
2.6	0.57

Tabla 05: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto

TNM del agregado Grueso	Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diversos Módulos de fineza del fino (b/bo)			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
½"	0.59	0.57	0.55	0.53
¾"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 ½"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

7) VOLUMEN ABSOLUTO (Agregado fino)

MATERIALES	UNIDAD	PESO SECO	PESO ESPECIFICO	VOLUMEN (m3)
CEMENTO	kg	475.00	3150.00	0.151
AGUA	lts	228.00	1000.00	0.228
AGREGADO GRUESO	kg	931.03	2730.00	0.341
AGREGADO FINO	kg	676.20	2650.00	0.255
AIRE	%	2.5%	--	0.025
			SUMA	1.00

9) CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Agg. Grueso	933.08	Kg
Agg. Fino	685.34	Kg

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CONVENCIONAL

6.- CORRECCIÓN POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN

$$\text{Peso humedo de agregado} = \text{Peso seco} \times (1 + CH\%)$$

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua diseño} - \text{Peso seco AF} \times (CH\% - Abs\%) - \text{Peso seco AG} \times (CH\% - Abs\%)$$

9) APORTE DE AGUA A LA MEZCLA

Agg. Grueso	9.40	L
Agg. Fino	-5.76	L
APORTE	3.65	L

9) AGUA EFECTIVA

Agua	231.65	L

Agua que se aumenta para llegar al slump

10) PROPORCIONAMIENTO FINAL

MATERIALES	UNIDAD	PESO REAL	PESO ESPECIFICO	VOLUMEN (m3)
CEMENTO	kg	475.000	3150	0.151
AGUA	lts	231.647	1000	0.232
AGREGADO GRUESO	kg	933.080	2730	0.342
AGREGADO FINO	kg	685.335	2650	0.259
AIRE	%	0.025	--	0.025
		2325.087	**SUMA**	**1.0**

Anexo 8: Diseño de concreto Poroso

DISEÑO DE CONCRETO POROSO

1 **Caracteristicas de los materiales**

Material	Densidad Aparente (kg/m3)	Tamaño del agregado (in)	Masa unitaria suelta (g/m3)	Masa unitaria compacta (kg/m3)	Absorcion %	Humedad %
Arena (Af)	2650	.....	1497.8	1843	0.5	2.21
Grava (Ag)	2730	1/2"	1463	1608	1.23	1.34

Cemento	Densidad Aparente (kg/m3)	tipo	Masa Unitaria suelta (kg/m3)	Agua	Densidad (kg/m3)
ARGOS	3120	II	1150	potable	1000

2 **Parametros Iniciales de Diseño**

Resistencia especificada de diseño (f'c)			Resistencia promedio requerida (f'cr)		
Mpa	Kgf/cm2	PSI	Mpa	Kgf/cm2	PSI
21	210	3000	28	280	4000

3 **Slump** 4"

Agregado grueso Tamaño unico (in)	consistencia	Asentamienti max. (in)	tipo de estructura
1/2"	muy seca	4	Pavimento

4 **Valores empiricos texto referencia.**

tres consideraciones:

% vacios	15%-20%
agua/cement	0.29-0.41
arena/cement	01:01

porcentage de vacios de diseño %	agua/cemento	arena/cemento
7.2	0.5	01:01

5 **Factor de compactacion y volumen de la porosidad del esqueleto granular**

$$Volumen_{Grava} + Volumen_{Vacios\ de\ la\ grava} = 1m^3\ Ec.(6)$$

$$Volumen_{Vacios\ de\ la\ grava} = 1m^3 - Volumen_{Grava}\ Ec.(7)$$

Dónde:

$$Volumen = \frac{Masa}{Densidad}\ Ec.(8)$$

Remplazando la expresión (7) en (8), se obtiene:

$$Volumen_{Vacios\ de\ la\ Grava} = 1 - \frac{Masa\ Unitaria\ Compactada_{Grava}}{Densidad_{Grava}}\ Ec.(9)$$

Del anterior análisis se concluye que:

$$Factor\ de\ Compactación\ (FC) = \frac{Densidad\ real}{Densidad\ teórica}\ Ec.(10)$$

Posteriormente castro relaciona el Factor de compactación con la relación agua/cemento:

$$Factor\ de\ compactación = -3.37 \times (a/c)^2 + 3.49 \times (a/c) + 0.11\ Ec.(11)$$

Por lo tanto, partiendo de la ecuación (9) volumen de vacíos de la grava, y de acuerdo al análisis inicial, se obtiene la ecuación (12):

$$Porosidad_{Esq.Granular} = \left(1 - \frac{Masa\ Unitaria\ Compactada_{Grava} \times FC}{Densidad\ Aparente_{Grava}}\right)\ Ec.\ (12)$$

De las ecuaciones (11) y (12) se obtienen los siguientes resultados:

Densidad Aparente (kg/m3)	Masa unitaria compacta (kg/m3)	Factor de compactacion FC	Porosidad esqueleto granular
2730	1608	1.0125	0.403626374

5.2.5. Cálculo del Volumen del Mortero

$$Volumen_{Mezcla} = Vol._{Pasta} + Vol._{Grava} + Vol._{Vacio\ de\ la\ mezcla} = 1m^3\ Ec.(13)$$

$$Volumen_{pasta} = 1 - (vol._{grava} + vol._{vacios\ de\ la\ mezcla})\ Ec.(14)$$

Despejando de la ecuación (1) el volumen de la grava:

$$Volumen_{grava} = 1 - vol._{vacios\ de\ la\ grava}\ Ec.(15)$$

Despejando de la ecuación (1) el volumen de la grava:

$$Volumen_{grava} = 1 - vol._{vacios\ de\ la\ grava}\ Ec.(15)$$

Remplazando la ecuación (15) en la ecuación (14):

$$Volumen_{pasta} = vol._{vacios\ de\ la\ grava} - vol._{vacios\ de\ la\ mezcla}\ Ec.(16)$$

$$Volumen_{pasta} = porosidad_{esq.granular} - porcentaje\ de\ vacios\ de\ diseño Ec.(17)$$

Remplazando los datos en la *Ec. (17)*

porcentaje de vacios de diseño	Porosidad esqueleto granular	volumen de la pasta
0.072	0.40	0.33

5.2.6. Cálculo del Contenido del Cemento

$$Volumen_{pasta} = vol._{cemento} + vol._{agua} \quad Ec.(18)$$

$$Volumen_{Pasta} = \frac{Peso_{Cemeneto}}{Densidad_{cemento}} + \frac{Peso_{Agua}}{Densidad_{Agua}} \quad Ec.(19)$$

Si se reemplaza peso cemento = c y peso agua = a, se obtiene esta ecuación:

$$Volumen_{Pasta} = c * \left(\frac{1}{Densidad_{Cemento}} + \frac{a/c}{Densidad_{Agua}}\right) \quad Ec.(20)$$

$$Peso_{cemento}(c) = \frac{volumen_{pasta}}{\left(\frac{1}{densidad_{cemento}} + \frac{a/c}{densidad_{agua}}\right)} \quad Ec.(21)$$

Remplazando los datos en la ecuación (21) se obtiene la cantidad de cemento por metro cúbico:

Densidad deArena (kg/m3)	Densidad cemento (kg/m3)	volumen de mortero (m3/m3)	Relacion (a/c)	Relacion Arena/Cemento	cantidad de cemento (kg/m3)
2650	3120.00	0.33	0.5	01:01	404.1696429

5.2.7. Volumen del Cemento por Metro Cúbico de Concreto

$$Volumen_{cemento} = \frac{peso_{cemento}(c)}{densidad_{cemento}} \quad Ec.(22)$$

Como se tiene la densidad del cemento y la cantidad de cemento, se reemplaza en la ecuación (22) y se obtiene:

Peso Cemento (c) (kg/m3)	Densidad cemento (kg/m3)	volumen de cemento (Vc) (m3/m3) de concreto
404.1696429	3120.00	0.13

5.2.8. Peso y Volumen Seco de la Arena

Utilizando la relación arena/cemento se obtiene el volumen seco de arena.

Relación Arena/ Cemento	cantidad de arena (kg/m3)	volumen de Arena (Varena) (m3/m3) de concreto
01:01	404.17	0.152516846

5.2.9. Cálculo del Contenido de Agua (A)

Para el cálculo del contenido de agua se multiplica la relación arena/cemento por la cantidad de cemento.

Relación A/ C	cantidad de cemento (c) (kg/m3)	cantidad de agua (a) (lt/m3)
0.50	404.17	202.0848214

5.2.10. Volumen Seco de los Agregados por Metro Cúbico de Concreto

$$Volumen_{AG} = 1 - (Vol._{cemento} + vol._{agua} + vol._{vacios}) \quad Ec.(23)$$

Como se tiene el volumen de cemento, el volumen de agua y el volumen de vacios, se reemplazan en la ecuación (23) y se obtiene el volumen de agregados:

Volumen material por m3 de concreto				
Cemento	agua	Vacios	Arena	grava (AG)
0.13	0.2021	0.07	0.152517	0.44

5.2.11. Peso Seco de la Grava

Con la densidad del agregado grueso es posible calcular el peso seco del material utilizando la ecuación (24).

$$Peso\ seco_{AG} = vol._{AG} * densidad._{AG} \quad Ec.(24)$$

Peso SECO (kg/m3)	
Arena (AF)	**404.17**
Grava (AG)	**1,211.73**

5.2.12. Peso Húmedo de los Agregados

Con el cálculo anterior y la humedad obtenida natural obtenida en el laboratorio se calcula el pero húmedo del agregado grueso con la siguiente ecuación.

$$Peso\ húmedo_{AG} = peso\ seco._{grava} * \left(1 + \frac{\%humedad._{AG}}{100}\right) \quad Ec.(25)$$

Material	Humedad (%)	Peso Húmedo (kg/m3)
Arena (AF)	**2.21**	413.101792
Grava (AG)	**1.34**	1227.966178

5.2.13. Volumen Húmedo de los Agregados por Metro Cúbico de Concreto

$$Volumen\ húmedo_{AG} = \left(\frac{peso_{húmedo}}{Densidad_{AG}}\right) \quad Ec.(26)$$

Con el peso húmedo y la humedad del material se calcula el volumen húmedo del agregado grueso con la siguiente ecuación (26).

Volumen Húmedo por m3 de concreto	
Arena (AF)	**0.15**
Grava (AG)	**0.44**

5.2.14. Ajuste de la Cantidad de Agua de Mezclado debido a la Humedad de los Agregados

Para efectuar los ajustes por humedad, se tiene en cuenta la humedad y la absorción del material, se calcula el agua efectiva y se realiza el análisis si hay exceso o carencia de agua en los agregados, con las siguientes ecuaciones:

$$Ajuste\ Agua_{AG} = peso\ seco_{AG} * \left(\frac{\%Humedad_{AG}}{100} \pm \frac{\%\ Absorción_{AG}}{100}\right) \quad Ec.(27)$$

$$Agua\ efectiva = Ajuste\ agua_{AG} - Cantidad\ de\ agua\ de\ mezclado\ (a) \quad Ec.(28)$$

Material	Humedad (%)	Absorcion	Comparación entre la humedad y la absorción d	Agua
Arena (AF)	**0.0221**	0.005	Exceso de agua	0.0171
Grava (AG)	**0.0134**	0.0123	Exceso de agua	0.0011

Al multiplicar la diferencia entre la humedad y la absorción por el peso seco de los agregados, se obtiene de forma directa cuánta agua tiene o falta para cada agregado, posteriormente, la diferencia entre exceso y carencia se compara con la cantidad final de agua de mezclado y así se efectúa el ajuste por humedad, los resultados se muestran a continuación:

Exceso o carencia de agua en los agregados (kg)		Cantidades de Agua de mezclado (a)	Agua efectiva
Grava (AG)	**Arena (AF)**	(kg/m3)	(kg/m3)
1.350762796	7.064040643	202.0848214	193.670018

5.2.15. Dosificación de Aditivos

En cuanto a su dosificación por la experiencia de Argos, se recomendó una dosificación entre el 0.20 y 0.90 % del peso del cemento, sin embargo como se utilizaron dos aditivos en la investigación el criterio fue el siguiente:

Aditivo	Densidad (kg/m3)	porcentaje por peso del cemento
AD-20	1300	0.50%
VISCOCRETE	1078	0.60%

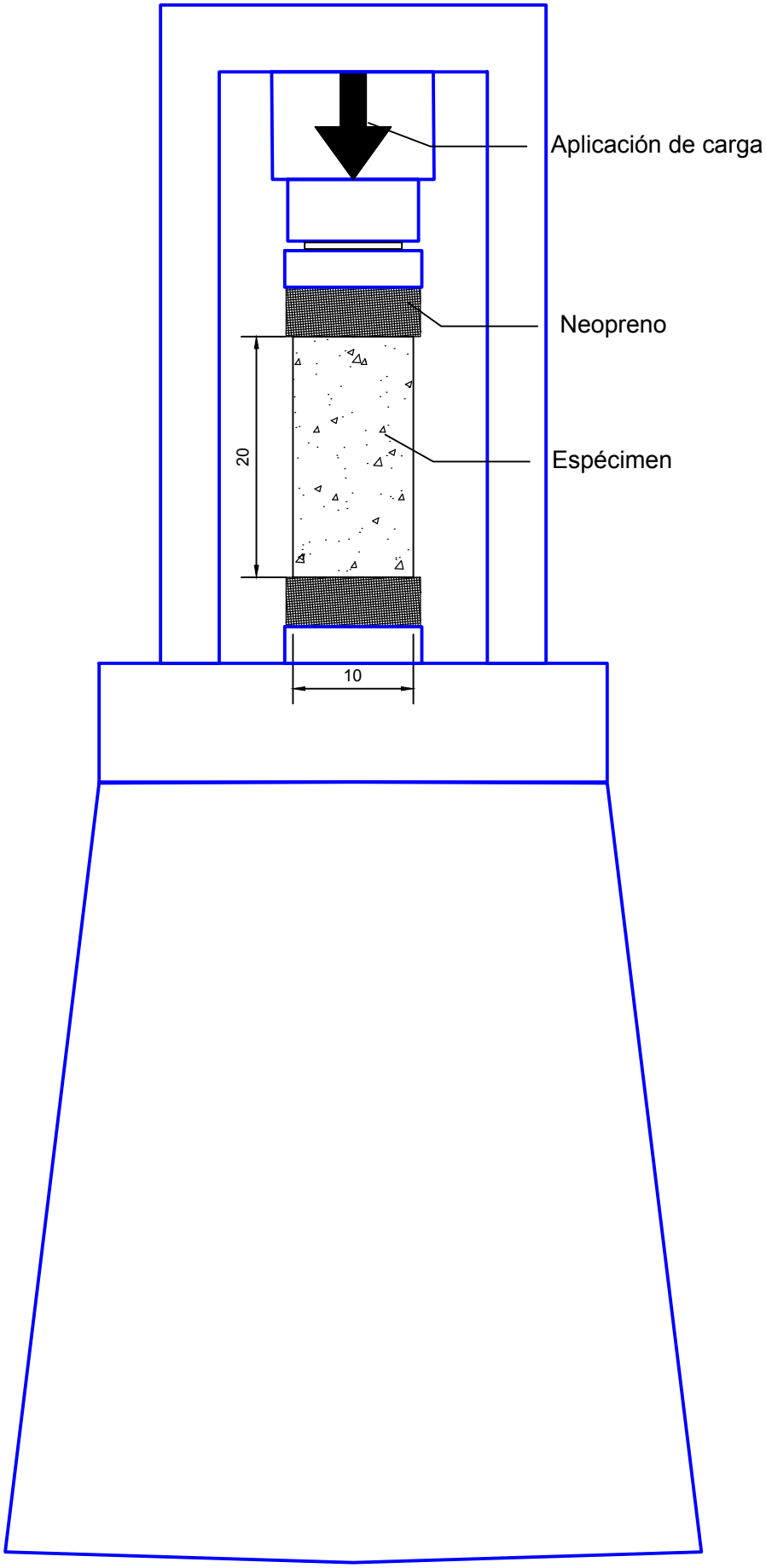
5.2.16. Proporciones de los Materiales de la Mezcla TIPO I en Peso y en Volumen para $1m^3$ de Concreto Poroso.

El cuadro que se muestra a continuación es la recopilación de la información calculada y mostrada anteriormente, en general es el cuadro de cantidades para cada uno de los materiales a utilizar en el diseño de mezcla Tipo I con finos.

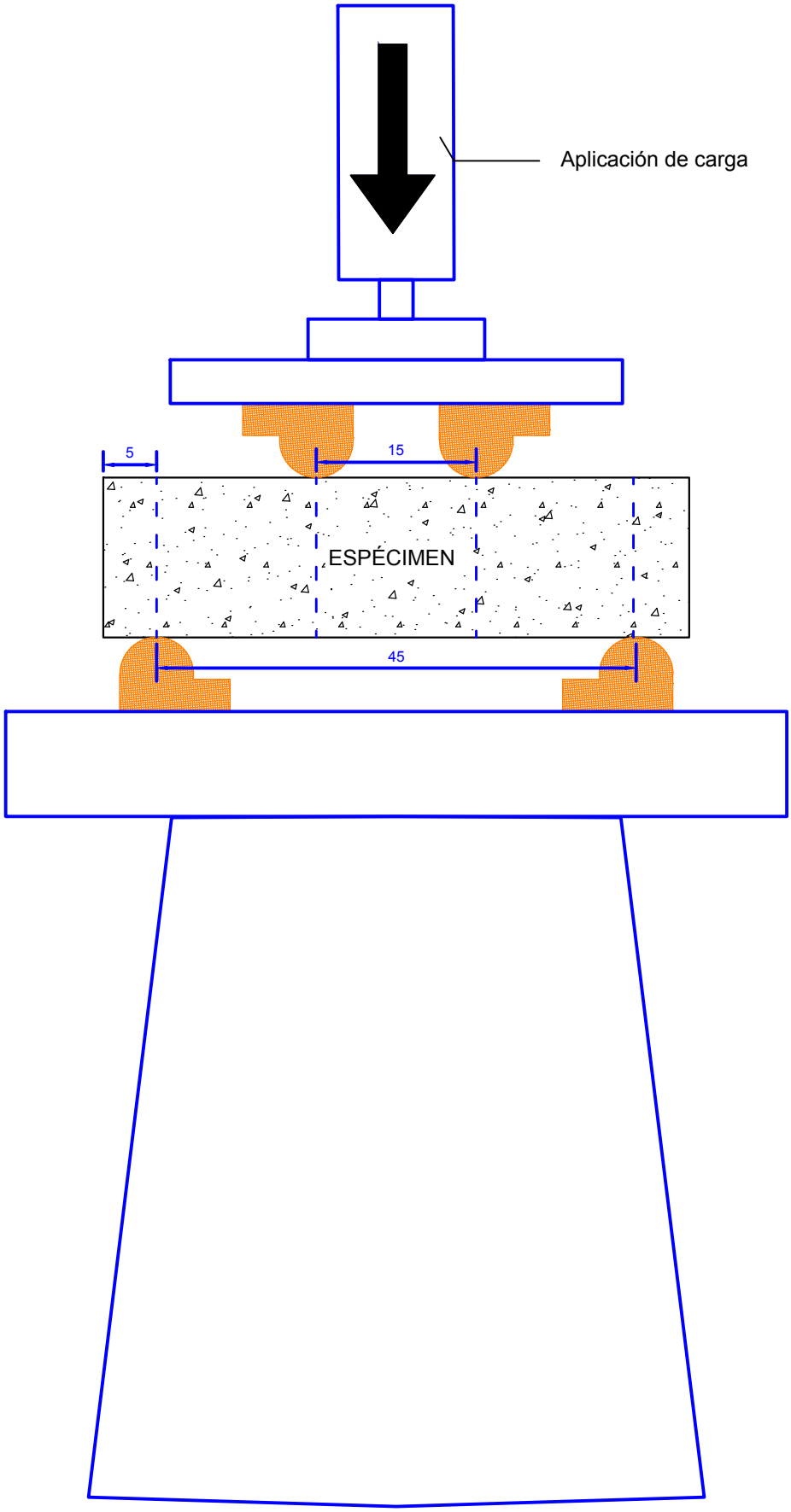
Proporciones finales de concreto

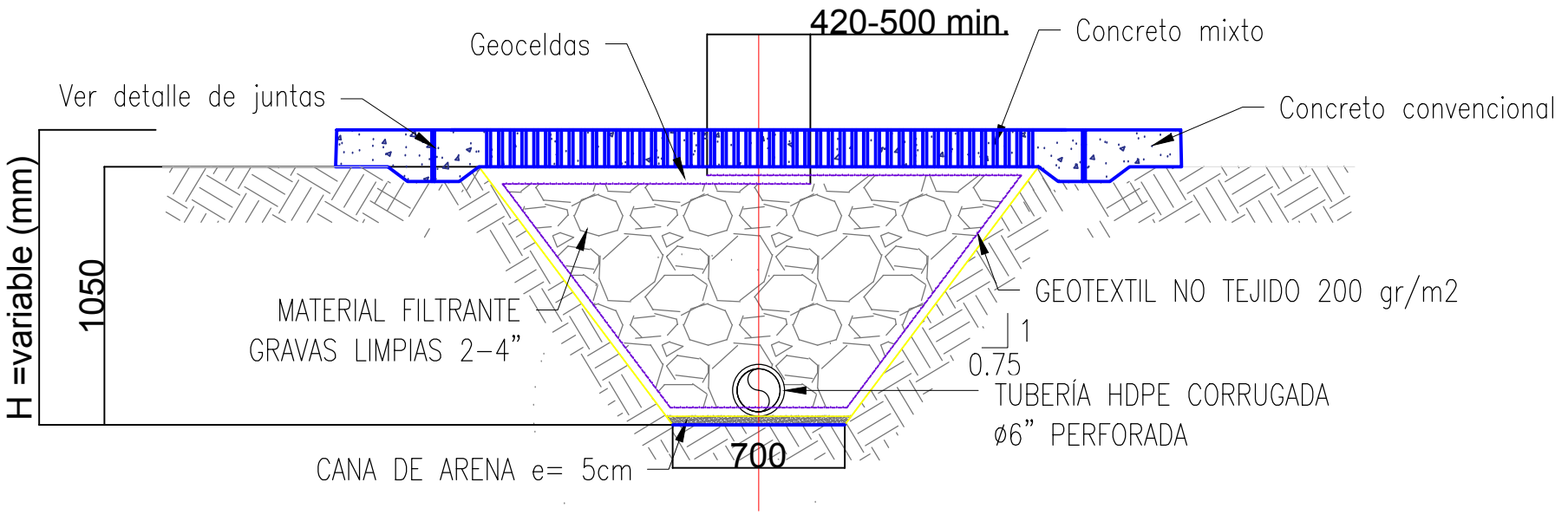
Material	Densidad (kg/m3)	peso seco (kg/m3)	volumen seco (m3)	peso humedo (kg/m3)	vol. Húmedo (kg/
Cemento	3120.00	404.17	0.13	404.17	0.13
Arena (AF)	2650.00	404.17	0.15	413.10	0.16
Grava (AG)	2730.00	1211.73	0.44	1227.97	0.45
Agua	1000.00	202.08	0.20	193.67	0.19
Aire	0.00	0.00	0.07	0.00	0.07
AD-20	1300.00	1.10	0.001	1.10	0.001
Viscocrete	1078.00	1.32	0.001	1.32	0.001
total		2224.57	1.00	2241.33	1.00

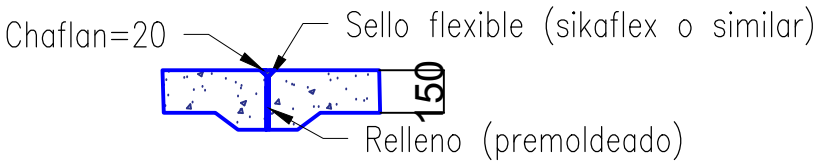
Equipo para ensayo de compresion



Equipo para ensayo de flexion







Propuesta de Sistema de drenaje con CONCREPM

Anexo 12: Ficha técnica Sika® Fiber Force PP 48

BUILDING TRUST

HOJA TÉCNICA
Sika® Fiber Force PP-48

Fibra de polipropileno macro sintética estructural

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® Fiber Force PP 48, es una fibra de polipropileno macro sintética estructural, diseñada y usada como el refuerzo secundario de concreto, es fabricada a partir de polímeros de polyolefina de alto desempeño y deformadas mecánicamente en todo el cuerpo para maximizar el anclaje en el concreto y evitar la pérdida excesiva cuando se proyecta (Shotcrete), altamente orientada a conseguir la mayor superficie de contacto dentro del concreto, lo que resulta en una mayor unión interfacial y eficiencia de la resistencia de la flexión y absorción de energía. Sika® Fiber Force PP-48 esta específicamente diseñada y fabricada en una instalación certificada bajo la norma ISO 9001:2000, para ser usada como refuerzo secundario de concreto a una tasa de adición mínima de 2 kg por metro cúbico. Cumple con la norma ASTM C 1116/C 1116 M, concreto Tipo III reforzado con fibra, JSCE-S14 y con la norma Europea EN-14889-2 como clase II.

USOS

- Losas industriales sobre el piso, tráfico ligero, medio o pesado.
- Áreas para estacionamiento.
- Elementos Pre-fabricados.
- Pavimentos de concreto tráfico ligero, medio o pesado.
- Plataformas compuestas de metal y concreto.
- Aceras y entradas de automóviles.
- Capas superpuestas y coberturas.
- Aplicaciones no magnéticas.
- Shotcrete vía húmeda o vía seca, ya sea definitivo o temporal.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

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

	COMPATIBILIDAD Sika® Fiber Force PP-48 es compatible con todos los aditivos para concreto Sika® y las sustancias químicas que aumentan el rendimiento del concreto. No se debe usar las fibras macrosintéticas Sika® Fiber Force PP-48 para reemplazar refuerzos estructurales. **PRECAUCIONES** No se debe usar las fibras macrosintéticas Sika® Fiber Force PP-48 como un medio para usar secciones de menor espesor que el diseño original. Para el espaciado de las juntas, siga las directrices estándar de la industria sugeridas por PCA y ACI.
INFORMACIÓN DEL SISTEMA	
DETALLES DE APLICACIÓN	**CONSUMO / DOSIS** La dosis de aplicación para la fibra macro sintética estructural Sika® Fiber Force PP 48 es de 2 a 9 kg/m³ de concreto o Shotcrete, dependiendo de la ductilidad, resistencia residual, tenacidad ó absorción de energía requerido. En las pruebas para determinar la cantidad exacta de fibra a usar, si el concreto es lanzado (Shotcrete vía húmeda o seca) las muestras (paneles cuadrados EFNARC o circulares ASTM C-1550) tienen que ser obtenidas en campo, lanzado con el equipo a usar, ya que por su naturaleza las fibras sintéticas durante el lanzado ó proyección una parte de ellas se pierde. No se recomienda obtener los paneles en laboratorio ya que los resultados difieren apreciablemente.
MÉTODO DE APLICACIÓN	**DISEÑOS DE MEZCLAS Y PROCEDIMIENTOS** El refuerzo con Sika® Fiber Force PP-48 es un proceso mecánico, no químico. Debido a la eficiencia de la fibra no se necesita modificación del diseño de mezcla ya que no afecta notoriamente la fluidez de la mezcla. Consulte con un asesor técnico de Sika Perú S.A. para recomendaciones adicionales. La fibra macrosintética Sika® Fiber Force PP-48 se agrega a la mezcladora antes, durante o después de hacer mezclas con los otros materiales del concreto. Se requiere un tiempo de mezclado de por lo menos de 3 a 5 minutos por metro cúbico como se especifica en la norma ASTM C-94. **ACABADO** Se puede dar un acabado al concreto reforzado con Sika® Fiber Force PP-48 usando las técnicas de acabado de acuerdo a ACI 304, Sección C3.
BASES	Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.
RESTRICCIONES LOCALES	Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.
INFORMACIÓN DE SEGURIDAD E HIGIENE	Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.
NOTAS LEGALES	La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en