UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Propuesta de concretos permeables para la captación de agua de lluvia en
pavimentos de estacionamientos de hospitales en Arequipa

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Ravello Bolo, Mirella Rosa Linda (0000-0001-6431-5923)

Baldeón Condori, Andrea Stefany (0000-0003-0250-7553)

ASESOR

Sotomayor Cruz, Cristian Daniel (0000-0001-8119-1512)

Lima, [21 de julio del 2020]

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis a nuestros padres, hermanos y familiares que nos han apoyado en todo momento, los cuales son un motivo para seguir adelante y ser mejores profesionales y personas cada día.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ing. Christian Sotomayor, nuestro asesor y amigo, por su constante apoyo y motivación en estos años. También agradecemos a los ingenieros Francisco Escuadra y Osmar Valverde de Sika por donarnos los aditivos utilizados en esta tesis. Finalmente, agradecemos a todas las personas que nos apoyaron en este largo proceso.

RESUMEN

La presente tesis consiste en presentar una propuesta sostenible que ayude en el control y almacenamiento del agua de lluvia para evitar inundaciones y daños producidos en los estacionamientos de los hospitales en la ciudad de Arequipa.

Se evaluaron dieciocho diseños de mezclas, nueve realizados con agregado grueso Huso 7 y los otros nueve con Huso 67. Para los diferentes diseños se cambió el porcentaje de agregado fino, la relación agua/cemento y la dosis de los aditivos. Por cada diseño de mezcla se elaboraron nueve probetas destinadas al ensayo de resistencia a la compresión, tres por cada edad, ensayadas a los 7, 14 y 28 días; se utilizaron 2 vigas de 6"x6"x20" para determinar el Módulo de Rotura y 2 probetas de 4"x8" para hallar la tasa de permeabilidad, para lo cual se necesitó realizar una réplica del permeabilímetro expuesto en el ACI 522. Los resultados de todos los ensayos serán presentados y comparados entre sí para determinar el grado de influencia de los mismos.

Además, también se realizará un análisis costo beneficio por metro cuadrado para determinar qué tanto varía el costo del concreto permeable en comparación con el concreto convencional. Finalmente, se realizará un análisis cuantitativo entre los dieciocho diseños de mezcla y el concreto convencional. Para así determinar cuál es la mezcla óptima que cumpla con los requisitos necesarios para ser implementado en los estacionamientos de los hospitales en Arequipa y pueda competir en el mercado con el concreto convencional.

Palabras clave: concreto permeable; pavimento drenante; inundaciones; fuertes lluvia; hospitales.

Proposal of permeable concrete to collect rainwater in pavements of hospital's parking lots
in Arequipa

ABSTRAC

The present thesis consists of presenting a sustainable proposal that helps in the control and storage of rainwater to avoid floods and damages produced in the parking lots of hospitals in the city of Arequipa.

Eighteen mix designs were evaluated, nine made with coarse aggregate Spindle 7 and the other nine with Spindle 67. For the different designs, the percentage of fine aggregate, the water / cement ratio and the dose of the additives were changed. For each mix design, nine specimens were prepared for the compression resistance test, three for each age, tested at 7, 14 and 28 days; 2 beams of 6" x 6" x 20" were used to determine the Modulus of Break and 2 specimens of 4" x 8" to find the permeability rate, for which it was necessary to make a replica of the permeabilimeter exposed in the ACI 522. The results of all the tests will be presented and compared with each other to determine the degree of influence between them.

In addition, a cost benefit analysis per square meter will also be performed to determine how much the cost of pervious concrete varies compared to conventional concrete. Finally, a quantitative analysis will be performed between the eighteen mix designs and conventional concrete. In order to determine which is the optimal mix that meets the necessary requirements to be implemented in hospital's parking lots in Arequipa and can compete in the market with conventional concrete.

Key words: pervious concrete; draining pavement; floods; heavy rain; hospitals.

TABLA DE CONTENIDOS

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Alcance del estudio	3
1.2.1. Situación actual en Arequipa	8
1.2.2. Formulación de la problemática	10
1.2.3. Hipótesis	11
1.3. Objetivos	11
1.3.1. Objetivo general	11
1.3.2. Objetivos específicos	11
1.3.3. Indicadores de logro	12
2. Estado del arte	13
2.1. Marco histórico	13
2.2. Definición del pavimento drenante	14
2.2.1. Sistema de captación	15
2.3. Concreto permeable	17
2.4. Ventajas y limitaciones	18
2.4.1. Ventajas	18
2.4.2. Limitaciones	18
2.4.2.1. Ámbito social	18
2.4.2.2. Ámbito ambiental	19
2.4.2.3. Ámbito económico	19
2.5. Proceso constructivo	20
2.6. Control de calidad	22
2.7. Mantenimiento	24
2.8. Aplicaciones en Obras de Ingeniería Civil	26
3. Diseño de concreto permeable	29
3.1. Materiales	29
3.1.1. Materiales cementantes	29
3.1.2. Agregado grueso y fino	29
3.1.3. Agua	29
3.1.4. Aditivos	30
3.2. Criterios de diseño de mezcla	30
3.2.1. Diagrama de flujo para la metodología de cálculo de diseño de mezcla	30
3.2.2. Selección de agregados	31
3.2.3. Relación agua/ cemento	32
3.2.4. Selección de aditivo químico	32
3.3. Metodología de cálculo del diseño de mezcla	32

4. Ensayos de control de calidad	36
4.1. Ensayos de los agregados	36
4.1.1. Granulometría	36
4.1.2. Contenido de humedad	36
4.1.3. Peso específico y absorción	37
4.2. Ensayos del concreto permeable fresco	38
4.2.1. Fluidéz	38
4.2.2. Masa unitaria	39
4.2.3. Contenido de vacíos	39
4.3. Ensayos del concreto permeable endurecido	40
4.3.1. Resistencia a la compresión	40
4.3.2. Resistencia a la flexión	41
4.3.3. Permeabilidad	41
4.3.3.1. Permeabilímetro de carga constante	42
5. Programa experimental	44
5.1. Definición de variables	44
5.2. Materiales	44
5.3. Propuesta de diseños de mezcla	46
5.4. Protocolo de mezclado	47
5.5. Ensayos desarrollados en laboratorio	48
6. Presentación de resultados	49
6.1. Etapa preliminar	49
6.1.1. Resultados de ensayos de calidad de los agregados	49
6.1.1.1. Granulometría	49
6.1.1.2. Peso específico	54
6.1.1.3. Absorción	54
6.1.1.4. Contenido de humedad	55
6.2. Etapa final	56
6.2.1. Ensayos del concreto fresco	57
6.2.1.1. Fluidéz	57
6.2.2. Ensayos del concreto endurecido	59
6.2.2.1. Masa unitaria y porcentaje de vacíos	59
6.2.2.2. Ensayo de resistencia a la compresión	62
6.2.2.3. Ensayo de resistencia a la flexión	69
6.2.2.4. Ensayo de permeabilidad	71
7. Comparación de resultados	74
7.1. Permeabilidad vs resistencia a la compresión	74
7.2. Permeabilidad vs resistencia a la tracción por flexión	76
7.3. Resistencia a la compresión vs resistencia a la tracción por flexión	77

7.4. Permeabilidad Vs % de Vacíos	79
7.5. Slump Vs Prueba del guante	79
8. Análisis costo beneficio	81
8.1. Análisis de costo directo	81
8.1.1. Concreto permeable	81
8.1.2. Concreto convencional	82
8.2. Análisis de costo del mantenimiento	83
8.2.1. Concreto permeable	83
8.2.2. Concreto convencional	85
8.3. Análisis de costo por metro cuadrado	85
8.3.1. Pavimento drenante	85
8.3.2. Pavimento rígido	86
8.4. Comparación de resultados por mezcla	87
9. Conclusiones	92
10. Recomendaciones	95
11. Referencias	97
12. Anexos	105
12.1 Anexo 1 - Ficha Técnica del Hospital Honorio Delgado	105
12.2 Anexo 2 - Sección Típica del Hospital Honorio Delgado	106
12.3 Anexo 3 - Diseño de mezcla finales	107
12.4 Anexo 4 – Costo por m ² de los concretos permeables propuestos	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Registros hidrometeorológicos: Estación La Pampilla. _____	2
Tabla 2. Establecimientos de salud afectados por departamento _____	5
Tabla 3. Tabla informativa sobre los hospitales públicos en la ciudad de Arequipa. ____	6
Tabla 4. Resumen de dosificación para el diseño de Mezcla M1. _____	35
Tabla 5. Procedencia de los materiales. _____	46
Tabla 6. Especificaciones Técnicas de los Diseños de Mezcla Huso 7. _____	46
Tabla 7. Especificaciones Técnicas de los Diseños de Mezcla Huso 67. _____	47
Tabla 8. Ensayos por desarrollar en laboratorio. _____	48
Tabla 9. Cálculo de Datos para la granulometría del Agregado Grueso Huso 7 _____	50
Tabla 10. Cálculo de Datos para la granulometría del Agregado Grueso Huso 67 ____	51
Tabla 11. Cálculo de Datos para la granulometría del Agregado Fino _____	52
Tabla 12. Porcentaje de retenido acumulado de los agregados por mallas _____	53
Tabla 13. Peso específico de los agregados. _____	54
Tabla 14. Porcentaje de absorción del agregado fino y grueso. _____	55
Tabla 15. Cálculo del contenido de humedad del agregado fino y grueso. _____	55
Tabla 16. Diseños de mezclas por Tipo. _____	57
Tabla 17. Resultados del ensayo Cono de Abrams - Huso 7. _____	58
Tabla 18. Resultados del ensayo Cono de Abrams - Huso 67. _____	58
Tabla 19. Resultados de Masa y Volumen Real. _____	60
Tabla 20. Resultados del ensayo: Resistencia a la compresión. _____	63
Tabla 21. Resultados promedios del ensayo de resistencia a la compresión. _____	64
Tabla 22. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión. _____	70
Tabla 23. Resultados del ensayo de permeabilidad. _____	72
Tabla 24 Comparación de resultados de F'C vs permeabilidad _____	75
Tabla 25. resultados de F'C vs resistencia a la flexión por tracción. _____	78
Tabla 26. Costo Directo de 1 m ² de concreto permeable - M 1 _____	81
Tabla 27. Resumen de los costos del m ² de los diseños de mezcla del Huso 7 _____	82
Tabla 28. Resumen de los costos del m ² de los diseños de mezcla del Huso 67 _____	82
Tabla 29. Análisis de costos del concreto convencional f'c=175 kg/cm ² . _____	83
Tabla 30. Problemas: Síntomas, causas y soluciones. _____	84
Tabla 31. Análisis del costo de mantenimiento por m ² del concreto permeable _____	84
Tabla 32. Análisis del costo de mantenimiento del concreto convencional _____	85
Tabla 33. Análisis de costos por metro cuadrado del pavimento drenante. _____	86

Tabla 34. Análisis de costos por ml del pavimento convencional $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ____	87
Tabla 35. Comparación de resultados por mezcla. _____	88
Tabla 36. Rangos y puntajes. _____	89
Tabla 37. Puntaje obtenido por mezcla. _____	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de los diversos climas que presenta el Perú de acuerdo a sus regiones	1
Figura 2. Desborde de las torrenteras el 8 de febrero del 2013 en Arequipa	3
Figura 3. Mapa de la provincia de Arequipa	4
Figura 4. Gráfico de barras sobre la temperatura promedio mínima y máxima	8
Figura 5. Inundación de las calles de la ciudad de Arequipa	9
Figura 6. Inundación de un pequeño poblado del norte del país	10
Figura 7. Fotografía de la aplicación del concreto permeable.	14
Figura 8. Fotografía de la sección típica del pavimento drenante	15
Figura 9. Fotografía del estacionamiento del Hospital Regional Honorio Delgado	16
Figura 10. Sección planteada para el sistema de captación en el Hospital Honorio Delgado	16
Figura 11. Fotografía de un concreto permeable	17
Figura 12. Cancha deportiva de concreto permeable, Xalapa - México	19
Figura 13. Humedecimiento de la base donde se colocará el concreto permeable	21
Figura 14. Depósito del concreto permeable por descarga directa	21
Figura 15. a) y b) Paso del rodillo principal para la superficie	22
Figura 16. a) y b) Cortado de juntas con el rodillo de aleta transversa	22
Figura 17. a) y b) Curado del concreto poroso cubriéndolo con plástico	22
Figura 18. Mantenimiento del concreto permeable: Lavado a alta presión	25
Figura 19. Concreto permeable decorativo para los Juegos Olímpicos, China	26
Figura 20. Pista de ciclismo extremo elaborado con concreto permeable en Francia	27
Figura 21. Concreto permeable en estacionamiento del estadio Finley, Estados Unidos	28
Figura 22. Flujograma de la metodología de cálculo de los diseños de mezclas	31
Figura 23. a) b) Ensayo granulométrico en el agregado grueso	36
Figura 24. Secado en estufa para determinar el % de Humedad de los agregados	37
Figura 25. Ensayo para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso	38
Figura 26. Ensayo para determinar el peso específico y absorción del agregado fino	38
Figura 27. Ensayo de “El cono de Abrams”	39
Figura 28. Ensayo de resistencia a la compresión	40
Figura 29. Ensayo de resistencia a la flexión	41
Figura 30. Permeabilímetro de carga constante	42
Figura 31. Flujograma del proceso constructivo de un permeabilímetro	43
Figura 32. Curva granulométrica del agregado grueso Huso 7	50

Figura 33. Curva granulométrica del agregado grueso Huso 67	51
Figura 34. Curva granulométrica del agregado fino	53
Figura 35. Semana vs Porcentaje de Humedad	56
Figura 36. Ensayo de slump	58
Figura 37. Prueba del guante del diseño de mezcla 7 (M7)	59
Figura 38. Especímen de concreto permeable mojado pesado	57
Figura 39. Masa unitaria real	61
Figura 40. Porcentaje de vacíos	61
Figura 41. Ensayo de resistencia a la compresión	62
Figura 42. Resistencia a la Compresión de las mezclas Tipo I de Huso 7	65
Figura 43. Resistencia a la Compresión de las mezclas Tipo II de Huso 7	65
Figura 44. Resistencia a la Compresión de las mezclas Tipo III de Huso 7	66
Figura 45. Resistencia a la Compresión de las mezclas Tipo I de Huso 67	66
Figura 46. Resistencia a la Compresión de las mezclas Tipo II de Huso 67	67
Figura 47. Resistencia a la Compresión de las mezclas Tipo III de Huso 67	67
Figura 48. Comparación de resultados de f'_c para mezclas de Huso 7	68
Figura 49. Comparación de resultados de f'_c para mezclas de Huso 67	68
Figura 50. Ensayo de resistencia a la flexión	69
Figura 51. Resultados de ensayo de resistencia a la flexión por tracción	71
Figura 52. Espécimen listo para el ensayo de resistencia a la flexión	71
Figura 53. Muestras de concreto permeable de 4" x 8"	71
Figura 54. Tasa de Permeabilidad	73
Figura 55. Resultado de la resistencia a los 28 días (kg/cm ²) y permeabilidad (cm/s)	74
Figura 56. Resultado del MR (kg/cm ²) y tasa de permeabilidad (cm/s)	76
Figura 57. Resultado del MR (kg/cm ²) vs f'_c a los 28 días (kg/cm ²)	77
Figura 58. Resultado de tasa de Permeabilidad vs % de Vacíos	79
Figura 59. Resultado de Prueba del guante vs slump	80
Figura 60. Análisis Cualitativo	90

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se expondrá uno de los problemas más graves de la región de Arequipa en la actualidad. Además, se presentará el alcance del estudio realizado, así como el objetivo general y los objetivos específicos.

1.1. Antecedentes

El Perú es un país que presenta diversos climas y microclimas a lo largo de todas sus regiones, esto se debe a la zona intertropical en la que se encuentra el país, modificaciones altitudinales que introduce la cordillera de los Andes y a la Corriente Peruana o de Humboldt (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2018). Por ende, cada departamento tiene sus propios climas y microclimas y, además, problemas que se asocian a los mismos como los diferentes desastres naturales tales como las inundaciones.

Figura 1. Mapa de los diversos climas que presenta el Perú de acuerdo a sus regiones. Adaptado de “Normatividad para edificaciones bioclimáticas en Perú”, por El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), 2018.

De acuerdo con el mapa de la Figura 1, nos damos cuenta de que Arequipa presenta tres climas más sobresalientes, los cuales son: árido, semiseco y lluvioso. Por esto, uno de los mayores problemas de Arequipa son las fuertes lluvias. Un claro ejemplo ocurrió el 8 de febrero del 2013 donde, según el SENAMHI (2013), llovió con una precipitación de 124.5 mm¹; lo que provocó que las torrenteras se desbordaran causando que numerosos

¹ Estación Hidrometeorológica La Pampilla.

vehículos fueran arrastrados, viviendas inundadas, gran cantidad de heridos y muertes. Las pérdidas se estimaron en 100 millones de soles. (Diario Correo, 2014).

Tabla 1.

Registros hidrometeorológicos: Estación La Pampilla.

Año	Mes	Día	Precipitación Acumulada	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
2013	2	1	0.0	22.4	12.6
2013	2	2	0.0	22.6	12.5
2013	2	3	9.6	22.5	11.0
2013	2	4	0.9	21.2	12.8
2013	2	5	5.6	21.4	12.2
2013	2	6	4.3	21.4	13.1
2013	2	7	1.8	22.6	11.2
2013	2	8	124.5	22.5	8.5
2013	2	9	8.7	18.8	11.8
2013	2	10	4.9	18.2	9.4
2013	2	11	4.5	20.4	7.4
2013	2	12	0.0	21.80	7.20

Nota: Se ha realizado una tabla de registros hidrometeorológicos de la Estación La Pampilla, indicando tanto la precipitación como la temperatura máxima y mínima por día. Adaptado de “Descarga de datos meteorológicos a nivel nacional”, por SENAMHI, 2013.

Las soluciones que ha implementado el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2018) son crear planes de contingencia de inundaciones en el Perú, boletines informativos y manuales comunitarios para la reducción del riesgo y preparación ante situaciones de desastre, en donde se pide a la comunidad participar activamente para identificar los peligros y riesgos, reconocer las zonas seguras y de evacuación en caso de desastres, el qué hacer en caso de que el desastre ocurra, contar con herramientas de limpieza, construcción de barreras en las linderas de los ríos y difundir todo lo aprendido.

Figura 2. Desborde de las torrenteras el 8 de febrero del 2013 en Arequipa debido a las altas precipitaciones. Adaptado de “Arequipa soportó ayer lluvia histórica”, por Perú 21, 2013.

Como podemos observar, la solución de los planes y/o programas radica en construir infraestructuras que eviten el desborde del caudal de los ríos como diques, muros de contención, etc; concientizar a las personas sobre sus efectos, desarrollar mapas de evacuación o inundación. En todas se trata de ganar un poco de tiempo para que las personas logren huir. Sin embargo, necesitamos una solución que ataque directamente al problema, que no deje que se originen las inundaciones.

1.2. Alcance del estudio

Actualmente, en muchos países de nuestra región se están reportando grandes cantidades de fenómenos hidrometeorológicos² que conllevan a múltiples daños en el patrimonio y hasta en pérdidas humanas. Uno de los desastres naturales más perjudiciales son las inundaciones, esto se debe a que las ciudades no están preparadas para un evento de esa envergadura. “En Costa Rica, Honduras, Estados Unidos, Nicaragua y Uruguay, entre otros, las fuertes lluvias registradas recientemente han provocado inundaciones generando pérdidas de vidas, afectación de las comunidades aisladas, evacuaciones de urgencia e importantes daños de viviendas e infraestructura.” (Pan American Health Organization [PAHO], 2013, párr. 5).

El Perú también se ha visto afectado por el registro de las fuertes lluvias, un claro ejemplo ocurrió durante el Fenómeno de El Niño que azotó el año pasado el norte del país, en donde, las fuertes lluvias imprevistas ocasionaron el desborde de ríos e inundaciones en

² Los fenómenos hidrometeorológicos, son aquellos que tienen por origen un elemento en común: el agua.

muchos pueblos y ciudades. Según el Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (PAHO, 2017). “Se reportaron 231,874 damnificados; 1 129,013 afectados y 143 fallecidos, han colapsado 25,700 viviendas, 258,545 están afectadas y 23,280 están inhabitables”. El norte del país no es el único lugar donde las inundaciones han causado daños catastróficos; situándonos al Sur del país, Arequipa es una de las ciudades en las que las inundaciones podrían ser perjudiciales para el continuo crecimiento poblacional y económico que ha venido teniendo.

Para fines de esta investigación, el estudio se enfocará en la provincia de Arequipa, Arequipa, Perú. La cual, cuenta con una población de más de 54 mil habitantes. Además, en la Figura 3 se observa en un mapa del departamento de Arequipa la ubicación del estudio a realizar.

Figura 3. Mapa de la provincia de Arequipa. Adaptado de “Procesos programados para el año 2004 del departamento de Arequipa”, por Sistema Electrónico de Contrataciones del Estado (SEACE), 2004.

Uno de los lugares en donde es importante mitigar las consecuencias de las inundaciones es en los hospitales, ya que es donde las personas se refugian y atienden si hay alguna catástrofe y siempre deben estar en funcionamiento.

Según el Informe de Inundaciones en Perú de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2010), Arequipa, dentro de un estudio de 11 departamentos, fue la región con mayor índice de establecimientos de salud afectados por las fuertes lluvias.

Tabla 2.

Establecimientos de salud afectados por departamento.

Departamento	Número de Establecimientos de Salud afectados
Amazonas	1
Ancash	1
Ucayali	1
Junín	-
Ayacucho	-
Arequipa	5
Lima	3
Cusco	3
Apurímac	-
Puno	1
Huancavelica	2
Total	17

Nota: Se ha realizado una tabla del número de centros de salud afectados por las fuertes lluvias por departamento de un estudio realizado por INDECI. Adaptado de “Informes de Inundaciones en Perú”, por OPS, 2010.

Además, en el mes de febrero, el Ministerio de Salud (MINSA, 2015), reportó:

“Ocho establecimientos de salud de once distritos de las provincias Arequipa y Caylloma, en la región Arequipa, fueron afectados por inundaciones debido a las fuertes precipitaciones. [...] De inmediato, las brigadas de salud y el personal de la Red de Salud Arequipa - Caylloma realizaron tareas de limpieza y protección de equipos médicos para recuperar la operatividad de los ocho establecimientos de salud que resultaron afectados por la filtración de agua en techos y paredes en todas sus instalaciones.” (párr. 7).

De la Tabla 2, se puede observar que Arequipa es la región que más daños ha sufrido con respecto a la infraestructura de los centros de salud, esto también engloba a los estacionamientos que, por su antigüedad y a la fuerza de las lluvias, son expuestos a deformaciones y fisuras.

El mayor riesgo se observa cerca al Hospital General Honorio Delgado, por el intercambio vial que se encuentra próximo al centro de salud, junto con la torrentera que atraviesa dicho intercambio (La República, 2017). Si las aguas de esta torrentera se desbordaran, atravesarían las calles, el estacionamiento y acabarían inundando este hospital. Además, los grandes estacionamientos funcionan como lugares para instalar puestos de auxilio rápido ante emergencias y como zona segura ante un desastre. A continuación, en la Tabla 3 se mostrarán todos los hospitales que se encuentran en la provincia de Arequipa y si estos cuentan o no con zona de estacionamiento.

Tabla 3.

Tabla informativa sobre los hospitales públicos en la ciudad de Arequipa.

Nº	Nombre del EE.SS.	Prov.	D	Dirección	E
1	Hospital Geriátrico de Arequipa	Aqp	Aqp	Av. Pumacahua 101	SÍ
2	Hospital General Honorio Delgado	Aqp	Aqp	Av. Daniel Alcides Carrión	SÍ
3	Policlínico García Bragagnini	Aqp	Aqp	Morán MZ J LT 02	NO
4	Alerta Médica	Aqp	Aqp	Av. Víctor Andrea Belaunde con av. José Abelardo Quiñones	NO
5	Hospital III Yanahuara ESSALUD	Aqp	Aqp	Av. Garaycochea	SÍ
6	Hospital Metropolitano	Aqp	Aqp	Calle Ayacucho	SÍ
7	Hospital Nacional Alberto Seguin Escobedo	Aqp	Aqp	Esquina de Peral y Filtro	SÍ
8	Policlínico Miraflores	Aqp	Aqp	Av. San Martín con av. 22 de Agosto	NO
9	Hospital Goyeneche	Aqp	Aqp	Av. Goyeneche	SÍ
10	Hospital Militar Regional Arequipa	Aqp	Aqp	Jirón Mariano Melgar Arequipa, Ica 500	SÍ
11	Centro Médico Ceen	Aqp	Aqp	Alameda Mario Vargas Llosa 211	SÍ
12	Policlínico Plan de vida	Aqp	Aqp	Av. Daniel Alcides Carrión 518, Arequipa	NO

13	Centro Médico Daniel Alcides Carrión	Aqp	Aqp	Calle Cloinda Matto de Turner 116	NO
14	Hospital Edmundo Escomel ESSALUD	Aqp	Aqp	Av. Industrial Cayo	SÍ
15	Hospital Infantil Tony Molleapaza Rojas	Aqp	Aqp	Urb. Villa Continental, Calle 4, Calle Colón 101	SÍ
16	Punto de Salud Sachaca	Aqp	Aqp	Fernandini	NO
17	Hospital ESSALUD Meliton Salas	Aqp	Aqp	Av. Socabaya 306	SÍ
18	Posta Médica Cono Norte - ESSALUD	Aqp	Aqp	Villa Hermosa 520	SÍ
19	Centro de Salud Víctor Raul Hinojosa Llerena	Aqp	Aqp	Urb. Simón Bolívar, Venezuela MZ.22-A LT1	NO
20	Puesto de Salud Nazareno	Aqp	Aqp	Frente al Parque Nazareno 4ta Etapa	NO
21	Hospital Docente de la Unas	Aqp	Aqp	Av. Aeropuerto con av. Marañón	SÍ
22	Hospital de la Policía	Aqp	Aqp	Av. Bolognesi	SÍ
23	Hospital ESSALUD Arequipa	Aqp	Aqp	Calle Peral 555	SÍ
24	Hospital Rebagliati	Aqp	Aqp	Av. Salaverry con av. Álvarez Thomas	NO
25	Hospital de Neoplásicas de Arequipa	Aqp	Aqp	Av. Los incas, José Luis Bustamante y Rivero	SÍ
26	Posta de Cerro Colorado	Aqp	Aqp	Av. Villa Hermosa con av. Miguel Grau	NO
27	Centro de Salud Zamacola	Aqp	Aqp	Av. Marañón con av. Yavarí	SÍ
28	Posta Médica Leopoldo Rondón Sabandia	Aqp	Aqp	Av. Sabandia 206	NO
29	Moisés Heresi	Aqp	Aqp	Av. Pumacahua , Cerro Colorado	SÍ
30	Instituto Regional de Enfermedades Neoplásicas	Aqp	Aqp	Av. De La Salud	SÍ

Nota: Se ha realizado una tabla de hospitales de la región de Arequipa - Arequipa, indicando el nombre, ubicación y si cuenta o no con estacionamiento. D= Distrito y E= Estacionamiento. Fuente: Propia.

Como se observa en la Tabla 3, la cantidad de hospitales que cuentan con estacionamiento en el distrito de Arequipa son 19.

1.2.1. Situación actual en Arequipa

La principal causa de las inundaciones en el departamento de Arequipa son las fuertes lluvias producidas principalmente durante el verano como se aprecia en la Figura 4, según el SENAMHI (2017) el 25 y 26 de febrero del 2017 llovió con una duración de 36 horas seguidas, las intensas lluvias sumadas con los accidentes geográficos de la ciudad vuelven a Arequipa vulnerable a desastres naturales hidrológicos.

Figura 4. Gráfico de barras sobre la temperatura promedio mínima y máxima y la intensidad de la lluvia. Adaptado de “Descarga de datos Meteorológicos en Arequipa”, por SENAMHI, 2017.

Además, Arequipa se caracteriza por la presencia de torrenteras que atraviesan toda la ciudad, así como la presencia del río Chili, los cuales discurren relativamente cerca de las importantes clínicas y hospitales de la región.

Entre las torrenteras más significativas está la Torrentera Polanco, por donde recientemente se han instalado dos asentamientos humanos, y la Torrentera Zamacola, la cual cruza varias calles que son consideradas zonas de peligro (Fernández & Benites, 2003). La presencia de estos afluentes en el corazón de Arequipa y la falta de limpieza de los cauces naturales son otras de las causas que originan las inundaciones en la ciudad (Cacya, Meza, Carlotto & Mamani, 2013).

Figura 5. Inundación de las calles de la ciudad de Arequipa. Adaptado de “SENAMHI: lluvias en Arequipa continuarán hasta el 28 de febrero”, por Andina, 2017.

A pesar del registro histórico de fuertes lluvias y de las inundaciones que han ocurrido en Arequipa, aún no se han implementado sistemas óptimos de drenaje en esta ciudad, la falta de implementación de sistemas de drenaje óptimos ocasiona que las inundaciones continúen provocando daños y pérdidas para los arequipeños.

Por otro lado, los daños más perjudiciales son, en primer lugar, que ocasiona deformaciones y agrietamiento en los pavimentos de concreto, ya que los pavimentos existentes en los hospitales no se encuentran en buen estado, por lo que el agua al entrar al concreto por los poros, teniendo un pH más ácido reacciona con los demás elementos. Esto ocasiona que disminuya su resistencia y lo debilite, teniendo que invertir en reparaciones continuas y costosas (Simonova, 2017). Además de que esta agua alojada en los poros del pavimento, sumado con la presión de los neumáticos, genera una presión extra en el pavimento provocando fisuras (Obando, 2017). En segundo lugar, las inundaciones generan la interrupción del ciclo hidrológico, ya que el agua se queda estancada en el pavimento, generando así el aumento de la temperatura normal del pavimento, la temperatura del ambiente y de las islas de calor (Rahman, Northmore, Henderson & Tighe, 2015). En tercer lugar, se interrumpe el tráfico vehicular y peatonal, ya que el agua empozada no deja circular a las personas correctamente ni con facilidad. Lo cual, genera descontento entre los usuarios, inhabilitación del uso del hospital y posibles accidentes. Por último, impide utilizar los estacionamientos como zona segura ante desastres naturales.

En conclusión, existen varias razones por las que se necesita mitigar las consecuencias de las inundaciones de los estacionamientos de los hospitales en Arequipa, ya que estas traen consigo resultados muy peligrosos de los que tal vez no se pueda volver a recuperar en un largo periodo de tiempo.

1.2.2. Formulación de la problemática

Ante la presencia de altas precipitaciones registradas en diversos departamentos del Perú y las consecuencias que estas traen consigo, se requiere implementar un sistema de captación de agua eficiente que reduzca el daño que producen las fuertes lluvias.

Las fuertes lluvias traen como consecuencia el aumento del caudal de los ríos y torrenteras, esto produce que las infraestructuras destinadas a la conducción del cauce superen su capacidad de diseño y finalmente se desborden causando inundaciones.

Las aguas de los ríos se desbordan por la ciudad más cercana afectando a la población, sus viviendas, el libre tráfico vehicular y peatonal; y evitando el uso regular de las infraestructuras importantes como colegios, centros de comercio y hospitales.

Figura 6. Inundación de un pequeño poblado del norte del país ocasionado por el desborde del río. Adaptado de “Las inundaciones en Perú afectan a 600 000 personas”, por Iagua, 2017.

De lo expuesto anteriormente, se observa que los estacionamientos de los hospitales son una zona importante para la sociedad y que las fuertes lluvias en Arequipa es una realidad cuyos daños deben ser mitigados, esto nos conlleva a resaltar que la principal problemática en la que se enfocará esta investigación es:

Las inundaciones en los estacionamientos de hospitales en la ciudad de Arequipa.

1.2.3. Hipótesis

La alternativa de solución que se plantea para los estacionamientos en los hospitales de Arequipa es la utilización de pavimento drenante; el cual, busca drenar y almacenar el agua de inundación a través de su diseño de mezcla con poco o nada de finos. Así se evitaría que estas aguas lleguen a las instalaciones de los hospitales y estos puedan seguir funcionando con normalidad, ya que los centros de salud son de gran importancia durante y después de un desastre natural de gran envergadura como son las inundaciones. Dado esto se plantea la siguiente hipótesis:

El pavimento drenante es una propuesta sostenible que permitirá la evacuación continua de las aguas de lluvia sin generar inundaciones.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

El objetivo general de la propuesta de investigación es:

- ❖ Proponer mezclas de concretos permeables para la construcción de pavimentos drenantes en estacionamientos de hospitales en Arequipa, que facilite la captación y almacenamiento del agua de lluvia para mitigar los desastres naturales por inundaciones.

1.3.2. Objetivos específicos

A lo largo de la investigación, se irán alcanzando objetivos específicos que ayudarán a cumplir el objetivo general.

- ❖ Diseñar mezclas de concretos permeables con la incorporación de cementos adicionados, aditivos superplastificantes-retardantes, y agregado grueso huso 7 y 67.
- ❖ Estudiar el comportamiento de los concretos permeables en estado fresco y endurecido a escala de laboratorio.
- ❖ Comparar los resultados obtenidos en estado fresco y endurecido de los diferentes diseños de mezcla de concreto permeable, en términos de resistencia, MR y permeabilidad
- ❖ Realizar un análisis comparativo costo-beneficio para elección de las mezclas optimizadas frente al sistema convencional.

1.3.3. Indicadores de logro

- ❖ Obtener 2 mezclas óptimas que cumplan con los requisitos propuestos en el ACI-522R.10.
- ❖ Cumplimiento de especificaciones técnicas de fluidez, permeabilidad y resistencia según el ACI 522R y Norma CE0.10 Pavimentos Urbanos.
- ❖ Obtener la mezcla óptima que cumpla con todos los requerimientos del ACI.
- ❖ Obtención de una mezcla de concreto permeable competitiva en el mercado.

2. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se contará un poco de la historia del concreto permeable, cómo se descubrió y cómo ha ido revolucionando la industria de la construcción. Además, se detallarán las características de este tipo de concreto, así como también su proceso constructivo, sistema de captación, control de calidad, ventajas y desventajas.

2.1. Marco histórico

Los primeros antecedentes de empleo de concreto permeable se dieron en el año 1852 en el Reino Unido, donde se construyeron casas utilizando grava natural y cemento. El siguiente avance no se dio hasta 1923 en Holanda, en donde se construyeron 50 casas de dos pisos en Edimburgo. Años después, siguieron su ejemplo Liverpool, Manchester, Londres y Willesden construyendo más de 800 casas. (Cruz et al., 2014).

Mientras tanto, entre los años 1945-1950 se comenzó a experimentar el concreto poroso como capa de rodadura en la construcción de vías terrestres para luego decaer su popularidad. Sin embargo, en los años 60 se reavivó su interés para poder asegurar la seguridad del usuario y permitir un tránsito fluido en cualquier condición y/o clima.

El primer país en utilizar el concreto poroso en la capa de rodadura fue Japón en 1974, ya que debido a sus condiciones climáticas (80% de la superficie es ondulada y montañosa, y a que cuenta con una precipitación media anual de 1500 mm) se adaptó perfectamente a sus necesidades. Lo implementaron en aceras, estacionamientos, plazas, etc. Las principales ventajas que le encontraron fue la de drenaje sin considerar las ventajas acústicas, la reducción de la huella de carbono, mayor reflectividad, etc. (Cruz et al., 2014).

Otro de los países que también fue uno de los pioneros en adoptar este tipo de concreto fue Francia, en donde algunas de sus comunidades exigieron que se construyera.

Por otro lado, en América el uso del concreto permeable ha sido muy limitado. En América del Norte no se presentó escasez de materiales como Europa después de la Segunda Guerra Mundial; por eso siguió con los métodos tradicionales. La primera aplicación en toda América se dio en Canadá en 1960.

Para demostrar la efectividad del flujo en USA se soltó 6815 litros de agua en un pavimento, lo que excedía la lluvia más pesada posible, y se halló que el agua drenó con efectividad sin fuga (Benites, 2014). Además, en México se realizó una prueba similar, soltando 4000 litros de agua en un minuto.

Figura 7. Fotografía de la aplicación del concreto permeable. Adaptado de “Asfalto Absorbente, la solución a las inundaciones en la ciudad”, por Tarmac, 2015.

En la actualidad, el concreto permeable se utiliza en pavimentos de bajo tránsito en calles residenciales, parqueaderos, parques, áreas peatonales, estacionamientos y ciclovías. Además, se siguen realizando diferentes pruebas para demostrar sus ventajas hidráulicas, ecológicas y mecánicas en países como México, USA, Colombia, Japón, Australia y Argentina como se observa en la Figura 7. En Brasil se plantea implementar el concreto poroso para la ciudad de Porto Alegre ya que es una ciudad que cuenta con mayores registros de contaminación del agua y precipitaciones. (Haselbach, Pasa, Schwetz & Pinto, 2016).

2.2. Definición del pavimento drenante

El pavimento drenante es un sistema perteneciente al SUDS³ que permite el manejo del agua, ya sea infiltrándola al propio terreno o captándola para su posterior utilización y, que, a su vez, sirve como caminos, estacionamientos, aceras, veredas, entre otros de tráfico ligero.

Su estructura comprende de tres capas:

- Una capa de rodadura, la cual permite la entrada del agua. Material: concreto permeable.
- Una capa de material granular fino, que permite una instalación adecuada de la capa de rodadura.
- Una capa compuesta por una matriz de material granular de gran tamaño, o por módulos de geo-células plásticas donde el agua se almacena (sub-base).

³ Sistemas urbanos de drenajes sostenibles.

En la Figura 8, se graficarán las tres capas mencionadas anteriormente.

Figura 8. Fotografía de la sección típica del pavimento drenante. Adaptado de “Preliminary Study to Develop Standard Acceptance Tests for Pervious Concrete”, por Washington State Department of Transportation, 2017.

2.2.1. Sistema de captación

Una de las ventajas del concreto permeable es que se puede utilizar como un sistema de captación del agua pluvial, las características de este concreto permiten que el agua se filtre a través de sus poros a una sub-base y base de piedra granular de 3/4” y 1 1/2” a 6” respectivamente, permitiendo que el agua se limpie y pueda ser distribuido a una poza de almacenamiento.

En caso se desee utilizar el concreto permeable para un sistema de captación y almacenamiento, es importante tener en cuenta lo siguiente:

- Debido a que el agua funciona a presión y gravedad, es importante que, para evitar que esta se empoce en algunas partes del sistema y poder redirigir al máximo el agua de lluvia, debe existir una pendiente mínima para su correcta distribución.
- El uso de una geomalla impermeable es fundamental, ya que evitará que el agua se filtre al sub-suelo.
- Se debe tener en cuenta la precipitación máxima de la región para así elegir un sistema de captación adecuado.

En la Tabla 3 presentada en el capítulo anterior, se muestra un cuadro informativo de los Hospitales que existen en la ciudad de Arequipa, además se observa aquellos que cuentan o no con estacionamientos. Para fines de brindar un mayor detalle, se presentará un

ejemplo del sistema de captación que se podría utilizar en el Hospital Regional Honorio Delgado Espinoza.

Figura 9. Fotografía del estacionamiento del Hospital Regional Honorio Delgado Espinoza. Por Google Maps, 2020.

Como se observa en la Figura 9, el hospital cuenta con un amplio estacionamiento y diversas áreas verdes. En el Anexo 1 (Ficha Técnica del Hospital Honorio Delgado), se presenta la ficha técnica del establecimiento de emitido por el Ministerio de Salud, donde informa que el hospital cuenta con un total de 105 m² de área libre que engloba estacionamientos, veredas o rutas de acceso y áreas verdes. Además, detalla que el centro cuenta con 58 años de funcionamiento, su superficie de terreno es plana y se especifica que es vulnerable a inundaciones. En el Anexo 2 (Sección típica del Hospital Honorio Delgado), se presenta el detalle en planta de una parte del estacionamiento del hospital, en la sección A, se representa la sección típica del sistema de captación. Para este hospital se plantea una capa de rodadura de 15cm de espesor, una subbase de 5cm y una base de piedra angular o balastro de 20cm, además se utilizará una geomalla impermeable no tejida y en el centro de la sección se hará una zanja adicional de un metro de profundidad donde se colocará la tubería de captación en todo el largo del estacionamiento.

Figura 10. Sección planteada para el sistema de captación en el Hospital Honorio Delgado. Fuente: Propia.

Es importante resaltar que, en la Figura 10, se representa la dirección de las pendientes que debe tener la sección para el adecuado flujo del agua.

Así mismo, se menciona que los espesores del concreto, base y subbase de la sección presentada serán los mismos que se utilizará para el análisis costo beneficio al final de la investigación.

En la sección B del Anexo 2 (Sección típica del Hospital Honorio Delgado), se presenta el sistema de almacenamiento, es decir, se muestra como la tubería de captación llega a una poza de almacenamiento para su futura distribución. Además, se puede observar una tubería de desfogue que será dirigida a las áreas verdes del hospital, esto es importante para evitar que la cisterna y el sistema no se saturen.

2.3. Concreto permeable

El concreto permeable, como se muestra en la Figura 11, es una estructura conformada por vacíos interconectados a través de los cuales permite que el agua de lluvia y tormenta infiltren en el acuífero. Consiste en cemento, agregado grueso, algún porcentaje de agregado fino y agua.

Figura 11. Fotografía de un concreto permeable. Adaptado de “Concreto sostenible: Permeable para pisos exteriores”, por Unicon, 2016.

Además, es un material de construcción respetuoso con el medio ambiente y EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente) lo ha identificado como una mejor Práctica de Gestión (BMP) para la gestión de aguas pluviales (Uma & Narasimha, 2013).

2.4. Ventajas y limitaciones

2.4.1. Ventajas

El concreto permeable no solo ayuda a mitigar la acumulación de escorrentía de agua superficial, sino que, su propia conformación con alto contenido de agregado grueso funciona como una capa que mejora la calidad del agua de lluvia logrando su reutilización y volviendo al concreto poroso, una alternativa sostenible. Además, posee características de mitigación de ruido y polvo, ya que proporciona una superficie libre de polvo, lisa y segura; también puede eliminar instalaciones de drenaje, reducir su costo de instalación y maximizar el uso de tierras, ya que no requieren zanjas para las mismas. Del mismo modo, reduce el efecto de las islas de calor, esto se debe a que el calor del pavimento influye en el aumento o disminución temperatura ambiental. Entonces, si el agua de lluvia se queda atrapada en la superficie de un pavimento de concreto convencional y se calienta, aumentará la temperatura normal del pavimento y, por consiguiente, la ambiental. Así mismo, aumenta la reflectividad, esto se debe a su color gris claro con lo que disminuye el costo por iluminación. Por último, el agua captada se puede desviar hacia jardines, campos de cultivos o parques para aprovechar su uso.

En otros países alrededor del mundo como China, México, USA, Francia, Panamá, España, entre otros, ya han implementado este sistema de pavimentación hace muchos años y los beneficios que se han registrado han sido muy elevados. Es por esto, que debemos implementar este sistema en los estacionamientos de los hospitales en Arequipa.

2.4.2. Limitaciones

El concreto permeable, como ya se comentó anteriormente, posee variedad de ventajas para su implementación, no obstante, se tiene que tener en cuenta las limitaciones en el ámbito social, ambiental y económico.

2.4.2.1. Ámbito social

En el ámbito social, a pesar de que el concreto poroso es una técnica que ha venido tomando fuerza en los últimos años, aún no cuenta con normativa para su elaboración ni para la realización de ensayos, a todo esto, se le puede sumar la carencia de construcciones similares en el Perú por lo que el número de profesionales conocedores del tema y la mano de obra especializada son limitados. Además, por la gran cantidad de vacíos que posee, representa una resistencia limitada por lo que solo puede ser empleado en zonas

de bajo tráfico como estacionamientos, ciclovías, jirones o calles pequeñas, canchas (Figura 12) o pistas deportivas, zonas de ingreso peatonal, etc.

Figura 12. Cancha deportiva de concreto permeable, Xalapa - México. Recuperado de Twitter: Américo Zuñiga, 2017.

2.4.2.2. Ámbito ambiental

En el ámbito ambiental se debe evitar la colmatación⁴ por sólidos arrastrados por agua y viento o las partículas adheridas en los neumáticos, ya que esto representaría la obstrucción de los poros y el impedimento del paso normal del agua, disminuyendo la vida útil del concreto permeable. (García, 2011). Además, este tipo de concreto presenta un bajo desempeño en climas fríos debido al congelamiento de la salida de infiltración, al esparcimiento de sal o arena para descongelar las calles que podrían tapar los poros, y al congelamiento y deshielo. Por último, es importante verificar la permeabilidad del suelo donde se vaciará, ya que no está diseñado para precipitaciones excesivas (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 2015).

2.4.2.3. Ámbito económico

Finalmente, en el ámbito económico, el concreto permeable presenta un alto costo durante la etapa de instalación, requiere mano de obra especializada y mantenimiento especial (el cual en ocasiones es más costoso) (UNAM, 2015).

El concreto permeable no tiene usos limitados debido a todo lo mencionado anteriormente, sino que su éxito radica en una buen diseño, instalación y profesionales conocedores del tema.

⁴ Sedimentación con partículas arrastradas

2.5. Proceso constructivo

Para garantizar un desempeño adecuado en términos de resistencia y durabilidad de las estructuras de concreto permeable se necesitan seguir ciertos lineamientos propuestos en el ACI 522R (2010):

- En primer lugar, se debe humedecer con abundante agua la base donde se colocará el concreto permeable un día antes y el mismo día de la descarga para evitar que esta le robe humedad al concreto. Luego, colocar la forma, las estacas suficientes que soporten el movimiento y la flexión, y el agente de liberación necesario (Figura 13).
- En segundo lugar, se deposita el concreto permeable por descarga directa desde la tolva de la mezcladora hacia la base o sub-base y se nivela hasta la altura deseada (Figura 14). Si la posición del concreto no está en la posición de la tolva se pueden utilizar transportadores.
- En tercer lugar, se debe compactar el concreto permeable en su posición final. Se colocarán tiras verticales en la parte superior entre $3/8$ a $3/4$ de espesor. Pasar el rodillo principal sobre la superficie para compactarla de manera uniforme y compactar los bordes con un pisón manual (esto impide el desprendimiento del material). Luego añada concreto en los bordes compactados y espacios vacíos, y pasar el rodillo principal una vez más (Figura 15).
El peso promedio de un rodillo giratorio necesario para compactar una franja de 3.7 m es de 500 lb (227 kg). Un rodillo pequeño utilizado para compactar áreas menores de pavimento puede pesar aproximadamente 70 lb (32 kg). La presión mínima vertical ejercida debe ser mayor a 0.07 Mpa (ACI 522R, 2010).
- En cuarto lugar, corta las juntas con el rodillo de aleta transversal usando el codal como guía y dale acabado pasando el rodillo de compactación manual en el sentido perpendicular al paso del rodillo longitudinal (Figura 16).
- Finalmente, se procederá a curar el concreto permeable. El cual, no se debe curar con agua, ya que sella los poros del concreto perdiendo su funcionalidad. Para el curado se debe cubrir la superficie con un plástico de color claro de 0.15 mm como mínimo. Dejar el plástico mínimo durante 7 días y se debe asegurar el plástico para que no se levante por usos o vientos fuertes (Figura 17).

Para colocar una sección continua se debe:

- Despegar cuidadosamente el borde de la lámina de curado del concreto permeable anterior. Se recomienda nebulizar las áreas descubiertas.
- Colocar una tira vertical o una lámina protectora encima de la colocación terminada y a lo largo del borde
- Colocar el concreto permeable nuevo hasta el borde del pavimento existente
- Golpear el concreto permeable recién colocado con la elevación adecuada y los bordes compactos, teniendo cuidado de no afectar la ubicación existente.
- Continuar con el acabado en rodillo como de costumbre, las juntas de alineación con colocación previa
- Volver a cubrir la colocación existente y la nueva colocación con hojas de curado.

Figura 13. Humedecimiento de la base donde se colocará el concreto permeable. Adaptado de “Proceso constructivo de concreto permeable”, por Cementos Argos, 2017.

Figura 14. Depósito del concreto permeable por descarga directa. Adaptado de “Proceso constructivo de concreto permeable”, por Cementos Argos, 2017.

Figura 15. a) y b) Paso del rodillo principal para la superficie. Adaptado de “Proceso constructivo de concreto permeable”, por Cementos Argos, 2017.

Figura 16. a) y b) Cortado de juntas con el rodillo de aleta transversa. Adaptado de “Proceso constructivo de concreto permeable”, por Cementos Argos, 2017.

Figura 17. a) y b) Curado del concreto poroso cubriéndolo con plástico. Adaptado de “Proceso constructivo de concreto permeable”, por Cementos Argos, 2017.

2.6. Control de calidad

Al igual que con cualquier material, se requiere verificar la calidad del concreto permeable. A partir del 2008, según el ACI⁵ 522-R, se desarrollaron 5 estándares de pruebas:

⁵ American Concrete Institute

- Densidad fresca y contenido de vacíos.
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la flexión
- Permeabilidad de campo
- Densidad y porosidad endurecidas

Inspección y prueba de pre-construcción: Pruebas en la subrasante

- Las pruebas básicas deben incluir un análisis de tamaño de partículas y clasificación de suelos y una prueba de próctor estándar o modificado.
- Además, se debe compactar una sección del suelo de la subrasante a la densidad especificada y realizar un infiltrómetro de doble anillo u otra prueba para probar adecuadamente la permeabilidad.
- Para proyectos pequeños puede que estas pruebas no sean necesarias y más si el diseñador tiene experiencia previa con suelos locales similares.

Inspección y prueba durante la construcción:

- Primer criterio de aceptación: cuando la inspección visual indique un cambio en la apariencia de la mezcla fresca (brillo metálico y consistencia como la pasta de yogurt), se debe realizar al menos una prueba para verificar la densidad del material. La prueba debe realizarse según el ASTM C1688. La aceptación debe basarse en $\pm 5 \text{ lb} / \text{ft}^3$ ($80 \text{ kg} / \text{m}^3$) de la densidad fresca especificada.
- Segundo criterio de aceptación: las pruebas de campo e inspecciones deben ser realizadas por una persona certificada como Técnico de concreto permeable certificado por NRMCA⁶ o equivalente y un Técnico de Pruebas de Campo de Concreto de ACI - Grado I o equivalente.

⁶ National Ready Mixed Concrete Association

Inspección y prueba posterior a la construcción:

- Se debe probar cada 500 p² muestras de aceptación para el espesor y densidad del concreto. Las muestras de núcleos se deben obtener de acuerdo con ASTM C42 / C42M no menos de 7 días después de la colocación. Los núcleos deben medirse con respecto al grosor por un técnico de laboratorio certificado según ACI según ASTM C42 / C42M y debe probarse su densidad de acuerdo con ASTM C140.
- La tolerancia para el espesor reportado como el promedio de tres núcleos de cada lote no debe ser más de 1/4 in. (6 mm) menor que el espesor especificado, sin núcleo único que exceda 1/2 pulgada (13 mm) menos que el espesor especificado, ni el grosor compactado promedio debe ser más de 1,5 pulgadas (40 mm) más que el espesor especificado.
- La densidad endurecida aceptable debe estar dentro de $\pm 5\%$ de la densidad endurecida aprobada de los paneles de prueba

2.7. Mantenimiento

Debido a que el concreto permeable, como lo explicamos en el subcapítulo 2.2, es una mezcla con un tamaño de poros considerables que permiten el paso del agua de lluvia, cualquier residuo podría bloquear o interponer el fluido correcto del agua y el sistema podría colapsar, es por esto por lo que es muy importante su mantenimiento. El mantenimiento requerido para un concreto permeable depende en gran medida del lugar y zona (Kevern, 2010). Las medidas que se mencionarán a continuación serán implementadas en este caso, para un concreto permeable de estacionamientos de hospitales en Arequipa:

- La limpieza manual que consiste en el barrido y en el retiro de posible vegetación se puede realizar semestral, por estación o semanal.
- Retirar hojas, flores, envolturas, escombros, entre otros de las superficies regularmente.
- Es recomendable realizar un lavado a alta presión (para la OGFC⁷ entre 860 kPa a 3,450 kPa) entre una y dos veces al año.

⁷ OGFC: Open-Graded Friction Course (pavement surface course)

- Utilizar, en casos extremos, una aspiradora al vacío como se muestra en la Figura 18, esto se realiza solo en el caso que el lavado a alta presión no logra liberar todos los poros, ya que este método es tiene un mayor costo.

Figura 18. Mantenimiento del concreto permeable en un estacionamiento de un centro comercial: Lavado a alta presión. Adaptado de “Surface cleaning the green way”, por Cleazine, 2013.

Por otro lado, se recomienda colocar señalización que permita a los usuarios conocer el tipo de sistema utilizado en los estacionamientos para así evitar que realicen algunas actividades perjudiciales para el buen funcionamiento del mismo. Las actividades que no se deberían realizar en estas áreas son las siguientes:

- No se deberán lavar carros u algún otro material o cosa, ya que a medida que más y más partículas se filtran, habrá una falla progresiva de la permeabilidad (Kevern, 2010).
- No se deberán reparar los vehículos, ya que si algún fluido cae a la superficie podría afectar a su permeabilidad.
- No permitir que vehículos muy grandes transiten por la vía.
- Lo vehículos con una alta carga o peso no deberían dar vueltas bruscas, ya que este tipo de concreto tiene poca resistencia a la abrasión.

2.8. Aplicaciones en Obras de Ingeniería Civil

Si bien es cierto que en el Perú aún no se ha implementado el pavimento drenante como alternativa sostenible, en diversos lugares del mundo ya se viene utilizando en estacionamientos de centros comerciales y hospitales, veredas, pavimentos urbanos, entre otros. A continuación, se presentarán diversos ejemplos del uso del pavimento drenante en el mundo:

- **Juegos Olímpicos del 2008, Beijing – China.**

En los juegos olímpicos del 2008 se utilizó el pavimento permeable de manera decorativa, para el escenario de 2.7 millones de pies cuadrados como se muestra en la Figura 19.

Figura 19. Concreto permeable decorativo para los Juegos Olímpicos del 2008 en Beijing, China. Adaptado de “Concreto permeable: desarrollo urbano de bajo impacto”, por Concrete Decor, 2010.

En este proyecto, se realizó el vaciado del concreto permeable en dos capas, la capa inferior consto únicamente de agregado grueso, cemento típico, sin aditivos y en la capa superior si se le agregó aditivos y se utilizó un agregado Premium; el vaciado de la segunda capa debe realizarse dentro de 20 minutos terminando la primera. (Concrete Decor, 2010).

- **Pista Ciclista de BMX, Saint Etienne - Francia**

En Saint Etienne - Francia, se necesitaba construir una pista de bicicletas todo terreno que resistiera las fuertes lluvias y evitara los encharcamientos, esto disminuiría el riesgo para los ciclistas que necesitan alcanzar altas velocidades. El concreto permeable fue la solución (CEMEX, 2016).

Figura 20. Pista de ciclismo extremo elaborado con concreto permeable en Francia. Adaptado de “CEMEX provee solución de concreto permeable para pista de BMX todoterreno y todo tipo de clima en Francia”, por CEMEX, 2016.

En la Figura 20 se observa una pista con 15 metros de altura y una inclinación de 50%. La pista Etienne BMX se convirtió en un claro ejemplo del uso funcional del concreto permeable permitiendo el paso de las aguas de lluvia y evitando el efecto “Aquaplaning”⁸.

- **Estacionamiento del Estadio Finley - Estados Unidos**

Se necesitaba ampliar la zona de estacionamiento en el Estadio Finley en Estados Unidos y se optó por la implementación de concreto permeable para poder reutilizar el agua captada para regar el campo de juego y así reducir su costo a largo plazo.

⁸ Situación en la que un vehículo a alta velocidad atraviesa una superficie con agua y provoca la pérdida de tracción y control del mismo.

Figura 21. Concreto permeable en estacionamiento del estadio Finley en Estados Unidos. Adaptado de “Recorriendo latitudes con concreto permeable”, por Cementos Argos, 2015.

Como se observa en la Figura 21, el concreto permeable se instaló en franjas adyacentes a toda el área de estacionamiento, con las otras áreas con inclinaciones hacia las franjas permeables, estas franjas se diseñaron para atrapar tanto las aguas de lluvia como los líquidos que eliminan los vehículos.

3. DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE

En el presente capítulo se detallará los materiales necesarios para la elaboración del concreto permeable y la normativa respectiva que se debe considerar. Se especificará los rangos y valores expuestos en el ACI 522R_10 que se tomaron en cuenta para el diseño de mezcla, tales como la relación a/c⁹, el tamaño del agregado grueso, etc. Por último, se explicará el procedimiento para la dosificación de los diseños de mezclas, donde se considera como variables principales la relación a/c y el porcentaje de agregado fino.

3.1. Materiales

La elaboración del concreto permeable consiste en la utilización de cemento, agua, aditivos, agregado grueso y un porcentaje, o nada, de agregado fino. A continuación, se detallará la normativa que deben seguir los materiales a utilizar en la elaboración de concreto permeable.

3.1.1. Materiales cementantes

Para el material cementicio puede considerarse utilizar cemento Portland o cemento con adiciones conforme al ASTM C150 / C150M, C595 / C595M o C1157 / C1157M y ASTM C618, C989 o C1240 respectivamente.

3.1.2. Agregado grueso y fino

El agregado grueso utilizado en los concretos permeables generalmente son áridos pertenecientes entre 3/4" y 3/8" de acuerdo con el ACI 522R_10.

Los agregados a utilizar deben cumplir con exigencias de las normas ASTM D448 y C33 / C33M. El primero para agregados para pavimentos y el segundo, para construcción en general del concreto. Además, el peso unitario de los agregados debe determinarse por el ASTM C29 / C29M.

3.1.3. Agua

La calidad del agua para el concreto permeable se rige por las mismas normativas que para un concreto convencional, considerándose el ACI 301, ASTM C 94 o AASHTO M 157.

⁹ a/c: agua/cemento

3.1.4. Aditivos

Si se desea incorporar aditivos reductores de agua o plastificantes se debe verificar que cumplan con los requisitos estipulados en el ASTM C494 / C494M, este tipo de aditivos otorga fluidez a la mezcla, por lo tanto, aumenta la trabajabilidad sin afectar la resistencia, proporcionándole más agua al cemento sin la incorporación directa de la misma y sin cambiar la relación a/c.

Con respecto a los aditivos retardantes, estos retrasan el fraguado del concreto y actúan como lubricantes para la descarga del mixer.

Además, se incorporará un aditivo mejorador de adherencia el cual ayudará en el comportamiento de la pasta sobre el agregado.

3.2. Criterios de diseño de mezcla

A continuación, se definirá la metodología utilizada para el cálculo de los diseños de mezcla a través de un organizador visual, así como los criterios y normativa que se tomará en cuenta para las exigencias mínimas y máximas de los materiales a utilizar.

3.2.1. Diagrama de flujo para la metodología de cálculo de diseño de mezcla

En la Figura 22 se detallará los procesos, especificaciones y fórmulas necesarias para el cálculo de los diseños de mezcla siguiendo los parámetros establecidos en el ACI 522R y la Norma CE.010 de Pavimentos Urbanos, es importante resaltar que las propiedades de absorción y contenido de humedad de los agregados, restan y aumentan respectivamente agua a la mezcla, ya que es de suma importancia que todas las partículas de cemento se hidraten con la dosis correcta de agua; además, se debe hacer una corrección en el peso por metro cúbico del agua y de los agregados.

Figura 22. Flujograma de la metodología de cálculo de los diseños de mezclas. Fuente: Propia.

3.2.2 Selección de agregados

De acuerdo con el ACI el tamaño nominal del agregado grueso que se utiliza en el concreto permeable se encuentra mayormente entre 3/4" y 3/8". Para mejorar la permeabilidad del concreto poroso se recomienda utilizar agregado de tamaño uniforme y con angularidad. La relación entre el diámetro del agregado más grande con el más pequeño no debe superar el valor de 2.5, de lo contrario se disminuirá la porosidad y la permeabilidad. (ACI 522R, 2010).

El agregado fino otorga características de resistencia a la mezcla del concreto; sin embargo, los finos cubrirán los vacíos que son necesarios para permitir la filtración del agua reduciendo la permeabilidad. Es necesario lograr un equilibrio entre la resistencia y permeabilidad con relación al porcentaje de agregado fino. Estudios realizados detallan que no se debe agregar más del 10% de agregado fino ya que se empezaría a comprometer el % de vacíos y la permeabilidad. (M. Uma Maguesvari & V.L. Narasimha, 2013).

3.2.3. Relación agua/ cemento

Con respecto a la relación a/c, se debe tener en consideración que a mayor relación a/c se obtendrá una mayor trabajabilidad, pero se disminuirá la resistencia; por otro lado, una baja relación agua/ cemento puede resultar en una baja permeabilidad y problemas para la adhesión entre los agregados.

Al incrementar el porcentaje de agregados gruesos en la elaboración de concreto se obtiene una mezcla con alta presencia de poros. Según el ACI, para el concreto permeable es recomendable tener una relación agua/ cemento entre 0.26 y 0.40 y el tamaño óptimo de los poros, para que el agua filtrada pueda pasar con facilidad, debe ser entre 6 - 8mm. (ACI 522, 2010).

3.2.4. Selección de aditivo químico

En el reporte “Concreto Permeable” del ACI, se menciona a los aditivos reductores de agua, los retardantes y a los incorporadores de aire; sin embargo, este último no es muy usado en la elaboración de concreto poroso (ACI 522, 2010).

3.3. Metodología de cálculo del diseño de mezcla

Para elaborar la dosificación del diseño de mezcla se utilizó la metodología descrita en el ACI 522R.

Es necesario conocer previamente los datos de peso específico de los materiales, junto con el porcentaje de humedad y absorción de los agregados. A continuación, se detallará el procedimiento del diseño M1 que utiliza 100% de agregado grueso.

Datos:

Pesos específicos:

- Cemento Yura T-IP : 2850 kg/m³
- Agua : 1000 kg/m³
- Piedra Huso 7 : 2723 kg/m³
- Sika Plastiment TM-12 (Retardante- plastificante) : 1170 kg/L
- Sika Viscocrete 3330 (Superplastificante) : 1070 kg/L
- Sika Latex (Mejorador de Adherencia) : 1600 kg/m³

Datos del agregado Huso 7:

- % Hum. grueso : 0.42 %
- % Abs. grueso : 0.66 %

El diseño de mezcla M1 requiere una relación w/c de 0.32 y una incorporación de aditivo de 0.30% del peso del cemento para el retardante plastificante y 0.35% para el superplastificante, para el mejorador de adherencia se considerará una dosis de 1.60 kg/m³.

Primero es necesario conocer el peso del agregado por metro cúbico, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación (1):

$$Magr = GS \times \frac{b}{b_o} \times \left(1 + \frac{\%Abs.}{100}\right) \times \left(1 - \frac{\%Hum.}{100}\right) \quad (1)$$

Donde:

$Magr$ = Peso del agregado grueso por metro cúbico (m³)

GS = Gravedad específica del agregado grueso

$\frac{b}{b_o}$ = Volumen de agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen del concreto.

$\%Abs.$ = % Absorción del agregado grueso

$\%Hum.$ = % Humedad del agregado grueso

Reemplazando los valores en la ecuación (1) se calculó que el peso del agregado grueso por metro cúbico es de:

$$M_{agr} = 1591 \times 0.99 \times \left(1 + \frac{0.66}{100}\right) \times \left(1 - \frac{0.42}{100}\right) = 1578.827 \text{ m}^3$$

Teniendo el peso del agregado, se puede calcular su volumen con la siguiente ecuación (2):

$$V_{agr} = \frac{M_{agr}}{\gamma_{agr}} \quad (2)$$

Donde:

V_{agr} = Volumen del agregado grueso (m^3)

M_{agr} = Peso del agregado grueso por metro cúbico (kg)

γ_{agr} = Peso específico del agregado grueso (kg/m^3)

Con la ecuación (2) se puede determinar el valor del volumen del agregado grueso es de:

$$V_{agr} = \frac{1578.827}{2723} = 0.580 \text{ m}^3$$

Como se diseña por metro cúbico y se conoce que el % de vacíos debe ser de 15% se tiene que el volumen de la pasta se determina con la siguiente ecuación (3):

$$V_p = V_{agr} - V_{aire} \quad (3)$$

Donde:

V_p = Volumen de la pasta (m^3)

V_{agr} = Volumen del agregado grueso (m^3)

V_{aire} = Volumen del aire (m^3)

Por ende, concluimos que el volumen de la pasta es de:

$$V_p = 0.58 - 0.15 = 0.27 \text{ m}^3$$

El contenido de agua y aditivos está en relación a la cantidad de cemento, y además se conoce sus pesos específicos, es decir que se puede calcular los pesos de los componentes de la pasta conociendo que el volumen de la pasta es de 0.27 m^3 . Esta ecuación nos da los siguientes resultados:

$$\begin{aligned} M_{cem}: 396.688 \text{ kg/m}^3 & & M_{sup.plas}: 1.388 \text{ kg/m}^3 \\ M_{agua}: 126.940 \text{ kg/m}^3 & & M_{mej.adh}: 1.600 \text{ kg/m}^3 \\ M_{ret.plas}: 1.190 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Teniendo los pesos y los pesos específicos, se puede conocer el volumen de los componentes de la pasta.

$$\begin{aligned} M_{cem}: 0.139 \text{ m}^3 & & M_{sup.plas}: 0.001 \text{ kg/m}^3 \\ M_{agua}: 0.127 \text{ m}^3 & & M_{mej.adh}: 0.002 \text{ kg/m}^3 \\ M_{ret.plas}: 0.001 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

En la Tabla 4 se presenta un resumen de la dosificación realizada en las líneas superiores para la mezcla 1 (M1), en donde se detalla el peso y volumen por metro cúbico de cada material.

Tabla 4.

Resumen de dosificación para el diseño de Mezcla M1.

Material	Peso (kg)	Volumen (m^3)
Cemento Yura T - IP	396.688	0.139
Agua	126.940	0.127
Agregado Grueso Huso 7	1578.83	0.580
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.190	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.388	0.001
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Nota: Se ha realizado una tabla de los pesos por metro cúbico seco y corregido de los materiales usados en la M1, así como su volumen. Fuente: Propia.

4. ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD

Las propiedades del concreto permeable dependen principalmente de su porosidad, que a su vez depende del contenido de cemento, relación agua/cemento, nivel de compactación y, gradación y calidad del agregado (ACI 522R, 2010). Es por eso, que en el presente capítulo se detallarán los ensayos y normativas que se utilizarán para verificar las características mencionadas anteriormente.

4.1. Ensayos de los agregados

4.1.1. Granulometría

Se realizó el procedimiento descrito en el ASTM C136 como se observa en la Figura 23. Este ensayo permitirá corroborar el Huso granulométrico en el que se encuentra el agregado seleccionado de acuerdo con los límites establecidos en el ASTM C33.

Figura 23. a) b) Ensayo granulométrico en el agregado grueso. Fuente: Propia.

4.1.2. Contenido de humedad

En la norma NTP 185.2002, presenta la siguiente ecuación (4) para determinar el porcentaje de humedad del agregado.

$$\%Hum = \frac{(Whum - Wseco)}{Wseco} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

$\%Hum$ = Porcentaje de humedad del agregado (%)

$Whum$ = Peso inicial o húmedo de la muestra de agregado (kg)

$Wseco$ = Peso seco de la muestra de agregado (kg)

Se debe seleccionar una fracción representativa del material, ubicarla en un recipiente limpio, seco y tarado. Luego, pesar la muestra en el recipiente y llevar al horno a 110 °C por 24 horas. Después de concluido el secado, se enfría y pesa la muestra.

Figura 24. Secado en estufa para determinar el % de Humedad del agregado fino y grueso. Fuente: Propia.

4.1.3. Peso específico y absorción

Para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso primero se debe sumergir el agregado en agua 24 horas antes. Luego, retirar la muestra del agua y secar el agua restante de la superficie utilizando una franela. El peso de este material será en estado superficialmente seco. Para determinar el peso del material suspendido en agua (C) colocar el material en el dispositivo de Arquímedes. Por último, para hallar el peso seco del material, llevar la muestra al horno para su respectivo secado a una temperatura de 105 C°.

$$\gamma_{agr} = \frac{W_{seco}}{(W_{sss} - W)} \quad (5)$$

$$\%Abs = \left(\frac{W_{sss} - W_{seco}}{W_{seco}} \right) \times 100 \quad (6)$$

Donde:

γ_{agr} = Peso específico del agregado

$\%Abs$ = Porcentaje de absorción del agregado

W_{seco} = Peso seco de la muestra de agregado (kg)

W_{sss} = Peso del agregado en estado superficialmente seco (kg)

W_{ea} = Peso aparente de la muestra (kg)

Figura 25. Ensayo para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso. Fuente: Propia.

Por otro lado, para determinar el peso específico y absorción del agregado fino primero se debe seleccionar por cuarteo una parte de la muestra y secarla al horno a 100-110 °C, se enfría luego al aire durante 1 a 3 horas y una vez fría se pesa. Luego, sumergir la muestra en agua 24 horas. Después del periodo de inmersión, se decanta la muestra y se extiende la muestra sobre una bandeja para secar la superficie con una moderada corriente de aire caliente. Por último, se introduce una muestra en un picnómetro de 100 g del agregado fino y se añade agua hasta un 90% de su capacidad, se elimina el aire atrapado, se coloca en un baño de agua a una temperatura de 21 a 25 °C durante 1h; transcurrido el tiempo, se retira, se seca rápidamente su superficie y se determina su peso total (picnómetro, muestra y agua). Por último, se saca el agregado del envase y se seca al horno a 100 - 110 °C, se enfría a temperatura ambiente durante 1 - 1 ½ horas y se determina finalmente su peso seco.

Figura 26. Ensayo para determinar el peso específico y absorción del agregado fino. Fuente: Propia.

4.2. Ensayos del concreto permeable fresco

4.2.1. Fluidez

Para realizar la medición de la fluidez del concreto, según el ASTM C143, se necesita colocar una parte de la mezcla a ensayar en el cono de Abrams, es necesario llenar el cono

en tres capas con espesores similares y compactar 25 veces cada capa. Por último, se levanta el cono de Abrams y se mide el desnivel con una wincha.

Figura 27. Ensayo de “El cono de Abrams”. Fuente: Propia.

4.2.2. Masa unitaria

Se debe hallar la masa unitaria para poder calcular el porcentaje de vacíos del concreto poroso, tanto la real como la teórica. Primero, se debe hallar la masa unitaria real (D) restando la masa total (Mc) menos la masa del recipiente (Mm) entre el volumen del mismo (Vm) , y la masa unitaria teórica (T) que es la masa total de todos los materiales (M) entre su respectivo volumen (V).

$$D = (M_c - M_m) / V_m$$

$$T = M / V$$

4.2.3. Contenido de vacíos

En el concreto permeable, calcular el contenido de vacíos es de suma importancia para asegurar la filtración del agua a través de los poros. Mediante el ASTM C138 se puede calcular el % de vacíos en base a la densidad.

Con los datos obtenidos en el ítem anterior, podremos hallar el porcentaje de vacíos mediante la siguiente ecuación (7):

$$\%Vacios = \frac{T - D}{T} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

$\%Vacíos$ = Porcentaje de vacíos de la muestra

T = Masa unitaria teórica de la muestra (kg)

D = Masa unitaria real de la muestra (kg)

Para concreto poroso, se estima obtener valores que oscilen entre 15 % a 35% respecto al porcentaje de vacíos. Además, los valores de densidad se compararán con el contenido de cemento, $f'c$, % de vacíos, entre otros.

4.3. Ensayos del concreto permeable endurecido

4.3.1. Resistencia a la compresión

En el concreto permeable, según el ACI 522R, la resistencia a la compresión se ve principalmente afectada por el diseño de la mezcla y el esfuerzo de compactación durante la colocación.

Debido a que no existe una norma que estandarice el ensayo a compresión del concreto permeable, se utilizará la norma ASTM C39 para concreto convencional. Se someterá una probeta de 6" x 12" a esfuerzos de compresión en una máquina universal de compresión; la cual, dará como resultado la máxima carga soportada. La resistencia a la compresión (kg/cm^2) se calcula a partir de la máxima carga soportada dividida entre el área de la sección que resiste la carga. Se espera obtener una resistencia mayor a 175 kg/cm^2 a los 28 días para cumplir con lo establecido para estacionamientos en la Norma CE.010 - Pavimentos Urbanos (p.32).

Figura 28. Ensayo de resistencia a la compresión. Fuente: Propia.

4.3.2. Resistencia a la flexión

Este ensayo es importante para poder determinar el Módulo de Rotura (MR) de concretos que se desean utilizar como capa de rodadura. Se espera que en este tipo de concreto el MR sea mayor o igual a 20 kg/cm^2 .

La resistencia a la flexión del concreto permeable se puede determinar con la ASTM C78, la cual se basa en apoyar una viga de $6'' \times 6'' \times 20''$ en los extremos y colocarle cargas en los puntos tercios.

Figura 29. Ensayo de resistencia a la flexión. Fuente: Propia.

4.3.3. Permeabilidad

La permeabilidad del concreto permeable depende en gran medida del tamaño de los poros y de la porosidad. Según el ACI 522R, se puede medir mediante un permeabilímetro de carga constante.

Este ensayo es de gran relevancia para la elaboración de concreto permeable ya que la principal característica es lograr el paso del agua de lluvia a través de sus poros y lograr que la intensidad de precipitación de la zona donde se desea implementar no supere la tasa de infiltración.

Figura 30. Permeabilímetro de carga constante. Fuente: Propia.

Con este ensayo se espera obtener un coeficiente de permeabilidad mínimo de 10 cm/s, y para calcularlo, el ACI 522R plantea la construcción de un permeabilímetro de carga constante para probetas de 4" de diámetro.

4.3.3.1. Permeabilímetro de carga constante

Para poder calcular el coeficiente de permeabilidad del concreto poroso, es necesario realizarla a través de un permeabilímetro de carga constante, tal como se propone en el ACI 522R, donde se sugiere la construcción de un equipo funcional para la medición de la filtración del agua a través de probetas cilíndricas.

Para fines de esta investigación se propone la elaboración de una réplica de lo descrito en el ACI 522R, que cumpla con la misma funcionalidad y que será elaborado con materiales más accesibles.

El ensayo consiste en dos sistemas conectados a través de una válvula de paso, en el primer sistema se colocará la probeta de 28 días de edad dentro de una tubería de 4", se optó por esto para evitar filtraciones a través del sistema, sobre la probeta se colocará un cilindro acrílico graduado de 30 centímetros de altura y 4" de diámetro, el segundo sistema tiene la finalidad de tubería de desfogue, su altura máxima debe ser de un centímetro por encima de la cara superior de la muestra.

Con la válvula cerrada se llena de agua al primer sistema hasta saturar la probeta, luego se sigue llenando de agua hasta una cierta altura del cilindro acrílico, posteriormente se abre la válvula y se mide el tiempo que demora en fluir el agua a través del segundo sistema hasta que el agua deje de rebalsar, esto significa que la altura del agua medida en el cilindro acrílico ya atravesó la parte superior de la muestra. Teniendo la altura del agua

y el tiempo que demoró en atravesar la capa superior de la probeta, se puede determinar el coeficiente de permeabilidad cuyas unidades son centímetros/segundos.

En la Figura 31 se presentará el proceso constructivo del permeabilímetro, así como los materiales que se utilizaron y sus dimensiones.

Figura 31. Flujograma del proceso constructivo de un permeabilímetro basando en el ACI 522R. Fuente: Propia.

5. PROGRAMA EXPERIMENTAL

En el programa experimental se busca establecer las variables principales que se tomaran en cuenta para la elaboración de los 18 diseños de mezcla, además, se detallará las características de los materiales a utilizar en la elaboración de las probetas. También se detallará el protocolo de mezclado y los ensayos que se desarrollarán por cada diseño de mezcla, así como su frecuencia, el número y dimensión de probetas por ensayo.

5.1. Definición de variables

En nuestro estudio hemos considerado a la relación a/c y al porcentaje de agregado fino como las variables principales, debido a que la primera está relacionada con la resistencia y la trabajabilidad de la pasta, y la segunda, con la permeabilidad.

5.2. Materiales

Sobre la base de las exigencias técnicas del concreto convencional para pavimentos urbanos, se describe a continuación los materiales integrantes empleados en el concreto para pavimentos drenantes:

5.2.1. Cemento

Por las condiciones de clima y existencia de fuentes de agregados reactivos en Arequipa, se ha elegido el cemento Yura tipo IP, el cual cumple con la Norma Técnica Peruana NTP-334.090.

El cemento tipo IP contiene un porcentaje adicionado de puzolana mayor al 15%, otorgando propiedades hidráulicas a la mezcla de concreto.

Beneficios:

- ❖ Alta resistencia a mediano y largo plazo, mejorando la durabilidad.
- ❖ Disminuye las fisuras en el concreto
- ❖ Alta defensa a la acción de agentes externos (sales y cloruros).
- ❖ Bajo calor de hidratación. Ideal para climas cálidos y fríos.
- ❖ Bajo contenido de álcalis. Buenas resistencias a los agregados álcalis reactivos.
- ❖ Aumenta la resistencia a la abrasión y tracción.

Figura 32. Cemento Yura Tipo IP. Fuente: Propia.

5.2.2. Agregado grueso

Siguiendo la recomendación del ACI 522R, para el agregado grueso se utilizará piedra de Huso 67 y Huso 7.

5.2.3. Agregado fino

Debido a la baja resistencia de este tipo de concretos se ha optado por adicionar 0%, 3 % y 5 % de agregado fino.

5.2.4. Aditivos

Debido al bajo porcentaje de agua y finos, se usarán un aditivo retardante - plastificante, un superplastificante y un mejorador de adherencia. Se ha elegido utilizar el aditivo Plastiment TM-12, ViscoCrete 3330 y SikaLatex, de la marca Sika. El aditivo retardante plastificante ayudará a que las partículas de concreto se hidraten correctamente y a tener un control sobre el tiempo de fraguado del concreto, el superplastificante ayudará a aumentar la trabajabilidad y reducir la segregación, y el mejorador de adherencia logrará una mayor adhesión de la pasta con el agregado (Sika Perú, 2018).

Beneficios:

- Reducción de agua entre 5 y 15%
- Mejoran la trabajabilidad.
- Incrementan la resistencia a la compresión y flexión en todas las edades.

Una vez definido la procedencia y marca de los materiales a utilizar, es necesario conocer el peso específico de cada uno para realizar el diseño de mezcla por metro cúbico. En la Tabla 5, se muestra un resumen de la procedencia de los materiales.

Tabla 5.

Procedencia de los materiales.

Material	Marca - Procedencia	Peso Específico
Cemento	Yura IP	2850
Agregado grueso Huso 67	Unicon Cantera La Poderosa	2732
Agregado grueso Huso 7	Unicon Cantera La Poderosa	2723
Agregado fino	Unicon Cantera La Poderosa	2636
Aditivo R-P	Plastiment TM-12 marca Sika	1170
Aditivo SP	ViscoCrete 3330 - marca Sika	1080
Aditivo Mej. Adh.	Sika Latex - marca Sika	1020

Nota: El peso específico se encuentra en kg/m³, Fuente: Propia.

5.3. Propuesta de diseños de mezcla

El estudio se ha realizado con agregado grueso de Huso 7 y de Huso 67. En los cuales se propone como variables principales la relación agua/cemento que varía entre 0.27 y 0.32 y, el porcentaje de agregado fino entre 0% a 5%. En la Tabla 6 y Tabla 7 se presentará el resumen de los 9 diseños de mezcla por huso.

Tabla 6.

Especificaciones Técnicas de los Diseños de Mezcla Huso 7.

Mezcla	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Relación a/c	0.32	0.29	0.27	0.32	0.29	0.27	0.32	0.29	0.27
%Arena	0%	0%	0%	3%	3%	3%	5%	5%	5%
Ag. Grueso	Huso 7								
Plast-Retard	0.30%								
SuperPlast	0.35	0.40	0.45	0.35	0.40	0.45	0.35	0.40	0.45
Mej. Adh.	1.6 kg/m ³								

Nota: Estos diseños fueron realizados de acuerdo con los resultados obtenidos en la etapa preliminar.

Fuente: Propia.

Tabla 7.

Especificaciones Técnicas de los Diseños de Mezcla Huso 67.

Mezcla	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
Relación a/c	0.32	0.29	0.27	0.32	0.29	0.27	0.32	0.29	0.27
% Arena	0%	0%	0%	3%	3%	3%	5%	5%	5%
Ag. Grueso	Huso 67								
Plast-Retard	0.30%								
SuperPlast	0.35	0.40	0.45	0.35	0.40	0.45	0.35	0.40	0.45
Mej. Adh	1.6 kg/m ³								

Nota: Estos diseños fueron realizados de acuerdo con los resultados obtenidos en la etapa preliminar.

Fuente: Propia.

5.4. Protocolo de mezclado

El concreto permeable a pesar de ser una alternativa que ha tomado fuerza en los últimos años, aún no existe una normativa que especifique el procedimiento de elaboración de la mezcla, probetas o ensayos.

Al ser un concreto con alto contenido de agregado grueso y baja cantidad de agua, la mayor complicación es lograr que la pasta envuelva de forma pareja al agregado. En base a la investigación y a la iteración de diferentes procedimientos de mezclado, se detallará el método que mostró mejores características de mezclado uniforme y adherencia de materiales.

Teniendo todos los materiales pesados de acuerdo al diseño de mezcla, se comienza incorporando al trompo aproximadamente el 60% de agua combinada con el aditivo Plastiment TM -12, seguido por los agregados, dejando que se mezcle bien durante 30 seg. Después, incorporar gradualmente el cemento y el 15% de agua combinado con el SikaLatex, intercalándolos y dejando que se mezcle bien por 60 seg. Terminando esto se agrega el 15% del agua combinada con el aditivo Viscocrete 3330 para que el cemento reaccione con el superplastificante y se mezcla por otros 60 seg. Es importante mantener un constante varillado para que la pasta envuelva en su totalidad al agregado. Para finalizar se incorpora el 10% restante del agua y se deja mezclando durante 7 minutos. Se recomienda mantener el trompo lo más horizontal posible, de modo que se permita un mejor mezclado ya que este tipo de concreto se tiende a pegar en los contornos de la mezcladora.

5.5. Ensayos desarrollados en laboratorio

Se desarrollarán ensayos en estado fresco y endurecido que corroboren la fluidez, resistencia, capacidad de drenaje y durabilidad de las muestras de concreto permeable. En la Tabla 8 se muestra un resumen de los tipos de ensayos, el tipo de probetas y la frecuencia en la que se realizarán.

Tabla 8.

Ensayos por desarrollar en laboratorio.

Tipo	Ensayo	Probeta	Frecuencia
Ensayos de Calidad en los Agregados	Granulometría	-	Una sola vez
	Peso unitario	-	Una sola vez
	Peso específico	-	Una sola vez
	% Humedad y Absorción	-	Una vez por cada diseño
Ensayos del concreto en estado fresco	Slump	Cono de Abrams	Una vez por cada diseño de mezcla.
Ensayos del concreto en estado endurecido	Ensayo de Resistencia a la Compresión	3 probetas de 6" x 12"	A los 7, 14 y 28 días
	Ensayo a la tracción por flexión	2 vigas estándar de 6" x 6" x 20"	A los 28 días
	Ensayo de Permeabilidad	2 probetas de 4" x 8"	A los 28 días

Nota: La tabla detalla los tipos de ensayos a realizar, cantidad y tipo de probetas, y frecuencia. Fuente: Propia.

En la Tabla 8 se presentan todos los ensayos que se realizarán en el laboratorio para cada diseño de mezcla, así como su frecuencia; sin embargo, se deja constancia de que, al tratarse de agregados obtenidos de un mismo lote, no existe la necesidad de reiterar los ensayos de calidad en los agregados para todos los diseños de mezcla, estos se realizaron una sola vez antes de la elaboración de las probetas en la etapa preliminar. A excepción de los ensayos para determinar el % de Humedad y Absorción, ya que son datos que varían dependiendo del clima y zona de almacenamiento.

6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En el desarrollo de este capítulo se presentarán los resultados obtenidos luego de haber elaborado los 18 diseños de mezclas propuestos, y de elaborar todas las probetas y ensayos expuestos en los capítulos anteriores.

Se presentarán los resultados de la etapa preliminar y etapa final. En donde, se especificaremos si se llegó a los resultados deseados y si los resultados se encuentran dentro del rango permitido por el ACI 522-R y la Norma CE.010 de Pavimetnos urbanos.

6.1. Etapa preliminar

En la etapa preliminar se realizaron los ensayos de calidad para los agregados propuestos en el capítulo anterior. Se detallará si el agregado grueso y agregado fino cumplen con los requisitos mínimos exigidos en términos de resistencia, humedad y módulo de finura.

6.1.1. Resultados de ensayos de calidad de los agregados

Es importante mencionar que, para evitar variaciones en los resultados de los ensayos, se optó por realizar una única adquisición de agregado fino y grueso, esto con la finalidad de que los agregados que se utilizarán a lo largo de esta investigación permanezcan a un mismo lote.

6.1.1.1. Granulometría

El ensayo granulométrico se realizó una única vez al inicio del estudio y previo a la realización de las probetas.

En la Tabla 9 se presentan los resultados de granulometría obtenidos para el agregado grueso de Huso 7, donde se muestra los porcentajes de pasante acumulado por tamiz obtenidos en el laboratorio, con estos datos se procedió a elaborar la curva granulométrica presentada en la Figura 32 y se corroboró con los diferentes Husos granulométricos que presenta la ASTM C33 para poder determinar el Huso al que pertenece el agregado de la Cantera La Poderosa.

El mismo procedimiento se realizó con el agregado grueso de Huso 67 y se presentan los resultados obtenidos en la Tabla 10.

Tabla 9.

Cálculo de Datos para la granulometría del Agregado Grueso Huso 7

Malla	(mm)	Total retenido	Acumulado Retenido	%Retenido	%Acumulado Retenido	Pasante	%Pasante
2 1/2"	62.5	0.0	0	0.00	0.00	3270.0	100.00
2"	50.0	0.0	0	0.00	0.00	3270.0	100.00
1 1/2"	37.5	0.0	0	0.00	0.00	3270.0	100.00
1"	25.0	0.0	0	0.00	0.00	3270.0	100.00
3/4"	19.1	0.0	0.0	0.00	0.00	3270.0	100.00
1/2"	12.7	129.0	129.0	3.94	3.94	3141.0	96.06
3/8"	9.5	996.0	1125.0	30.46	34.40	2145.0	65.60
# 4	4.8	1983.0	3108.0	60.64	95.05	162.0	4.95
Fondo	0.0	162.0	3270.0	4.95	100.00	0.0	0.00
Total		3270.0					

Nota: La tabla detalla el porcentaje acumulado retenido y pasante para la realización de la curva granulométrica. Fuente: Propia.

Figura 32. Curva granulométrica del agregado grueso Huso 7. Fuente: Propia.

Tabla 10.

Cálculo de Datos para la granulometría del Agregado Grueso Huso 67

Malla	(mm)	Total retenido	Acumulado Retenido	%Retenido	%Acumulado Retenido	Pasante	%Pasante
2 1/2"	62.5	0.0	0	0.00	0.00	5697.0	100.00
2"	50.0	0.0	0	0.00	0.00	5697.0	100.00
1 1/2"	37.5	0.0	0	0.00	0.00	5697.0	100.00
1"	25.0	0.0	0	0.00	0.00	5697.0	100.00
3/4"	19.1	166.0	166.0	2.91	2.91	5531.0	97.09
1/2"	12.7	1918.0	2084.0	33.67	36.58	3613.0	63.42
3/8"	9.5	1157.0	3241.0	20.31	56.89	2456.0	43.11
# 4	4.8	1997.0	5238.0	35.05	91.94	459.0	8.06
Fondo	0.0	459.0	5697.0	8.06	100.00	0.0	0.00
Total		5697.0					

Nota: La tabla detalla el porcentaje acumulado retenido y pasante para la realización de la curva granulométrica. Fuente: Propia.

Figura 33. Curva granulométrica del agregado grueso. Fuente: Propia.

Como se muestra en las Figura 32 y Figura 33 , la curva granulométrica del agregado grueso obtenido de la cantera se encuentra dentro de los límites especificados por la norma ASTM C33 para el Huso 7 y 67, el agregado pertenece al Huso granulométrico esperado, por lo tanto, el agregado grueso adquirido se puede utilizar para la elaboración de los diseños de mezcla, probetas y ensayos.

Los tamices y cálculos utilizados para obtener la granulometría del agregado fino en el laboratorio se exponen en la Tabla 11 y, de igual manera, en la Figura 34 se observa su curva granulométrica.

Tabla 11.

Cálculo de Datos para la granulometría del Agregado Fino

Malla	mm	Total retenido	Acumulado Retenido	%Retenido	%Acumulado Retenido	Pasante	%Pasante
3/8"	9.5	4.6	4.6	0.93	0.93	491.1	99.07
# 4	4.8	20.0	24.6	4.03	4.96	471.1	95.04
# 8	3.2	57.2	81.8	11.54	16.50	413.9	83.50
# 16	1.6	104.2	186.0	21.02	37.52	309.7	62.48
# 30	0.8	123	309.0	24.81	62.34	186.7	37.66
# 50	0.5	85.9	394.9	17.33	79.67	100.8	20.33
# 100	0.3	74.8	469.7	15.09	94.75	26.0	5.25
Fondo	0.0	26.0	495.7	5.25	100.00		
Total		495.7					

Nota: La tabla detalla el porcentaje acumulado retenido y pasante para la realización de la curva granulométrica.
Fuente: Propia.

En la Figura 34 se observa que la curva granulométrica del agregado fino se encuentra dentro de los límites mínimos y máximos estipulados en el ASTM C33, por lo que se

procede a utilizarlo en la elaboración de las mezclas. Además, con los datos obtenidos se halló el módulo de finura del agregado fino presentado en la Tabla 12.

Figura 34. Curva granulométrica del agregado fino. Fuente: Propia.

Tabla 12.

Porcentaje de retenido acumulado de los agregados por mallas para el cálculo del módulo de finura.

Tamiz	% Retenido Acumulado
1/2"	0.00
3/8"	0.93
# 4	4.96
# 8	16.50
# 16	37.52
# 30	62.34
# 50	79.67
# 100	94.75
Fondo	100.00
MF	2.97

Nota: La tabla detalla el porcentaje de retenido acumulado por cada tamiz. Fuente: Propia.

Según la norma ASTM C33, el módulo de finura se debería encontrar en el rango de 2.3 a 3.1 para el agregado fino, por lo que se comprueba que la arena cumple con lo establecido.

Por los datos obtenidos de la granulometría, se concluye que los agregados sí cumplen con las características esperadas según el ASTM C33 y el ACI 522R para concretos permeables.

6.1.1.2. Peso específico

El cálculo del peso específico de los agregados es de suma importancia para la elaboración de los diseños de mezcla, ya que con ellos se determina el peso de los agregados. La Tabla 13 muestra el peso específico del agregado fino y grueso que se utilizaron para la elaboración de los diseños.

Tabla 13.

Peso específico de los agregados.

Agregado	Peso Específico (kg/m ³)
Fino	2636
Grueso Huso 7	2723
Grueso Huso 67	2732

Nota: La tabla detalla el peso específico del agregado fino y grueso utilizado en la investigación. Fuente: Propia.

La mayoría de los agregados naturales tienen un peso específico que varía entre 2.4 a 2.9 (Kosmatka et al., 2004). Por lo que se concluye que los agregados a utilizar tienen buena resistencia y se encuentran dentro del rango típico.

6.1.1.3. Absorción

Es necesario determinar la absorción de los agregados, ya que con ella fijamos la cantidad de agua a utilizar en la dosificación de los concretos. Además, es de gran importancia en los concretos permeables, ya que como poseen una baja relación agua/cemento es necesario calcular de manera adecuada el agua para que el cemento se hidrate correctamente formando una pasta que envuelva y conecte apropiadamente los agregados y así lograr una mayor resistencia.

Se realizó el ensayo descrito en el capítulo 4 según las normas ASTM C127 y ASTM C128, para el agregado grueso y fino. Los cuales, generalmente tienen niveles de absorción que varían del 0.2% al 4% y del 0.2 al 2% respectivamente.

Tabla 14.

Porcentaje de absorción del agregado fino y grueso.

Agregado	Absorción (%)
Fino	0.67
Grueso	0.64

Nota: La tabla detalla el porcentaje de absorción del agregado fino y grueso. Fuente: Propia.

En la Tabla 14 se muestran los porcentajes de absorción de los agregados, en donde se puede observar que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango establecido.

6.1.1.4. Contenido de humedad

Los agregados poseen poros, los cuales pueden estar llenos de agua o no. Es por eso, que era necesario calcular el contenido de humedad de los agregados cada vez que se realizaba un diseño de mezcla, ya que el agua atrapada en sus poros puede modificar el diseño de mezcla y afectar la relación agua/ cemento. Se realizó el ensayo descrito en la NTP 185.2002 como se especificó en el capítulo 4.

En la Tabla 15 se muestra el contenido de humedad del agregado fino y grueso hallado en laboratorio, cabe resaltar que el agregado fue adquirido de una cantera expuesta al aire libre.

Tabla 15.

Cálculo del contenido de humedad del agregado fino y grueso.

Tipo de agregado	Peso Seco (kg)	Peso Húmedo (kg)	% Humedad
Agregado Fino	0.49	0.51	4.1
Agregado grueso	2390	2400	0.42

Nota: Se detalla el peso del agregado húmedo y el peso seco resultado de colocar el agregado en la estufa, con estos datos se calculó el contenido de humedad. Fuente: Propia.

Se observa que el contenido de humedad del agregado grueso es realmente bajo, esto nos indica que presenta poca porosidad y, también, poca humedad superficial. Además, debido a su baja humedad, aporta una mínima cantidad de agua a la mezcla.

Por otro lado, el contenido de humedad del agregado fino es relativamente alto, esto pudo deberse a que el agregado fino se encontraba almacenado a la intemperie y visualmente se notaba húmedo.

Debido a que el porcentaje de humedad del agregado cambia de acuerdo a las condiciones de almacenamiento, clima y temperatura, es importante determinar la humedad cada vez que se utilizaban los agregados. Como se observa en la Figura 35, se calculó la humedad de los agregados cada día que se realizaron las mezclas. En el concreto permeable el contenido de agua juega un papel muy importante en la resistencia y trabajabilidad.

Figura 35. Semana vs Porcentaje de Humedad. Fuente: Propia.

En la Figura 35 se puede observar que el contenido de humedad disminuyó significativamente entre la primera vez que se elaboraron las mezclas y el resto de los días, esto se debe a que el día de la adquisición, se realizó el primer cálculo de la humedad con el material recién traído de la cantera, después se colocaron los agregados en sacos de 40 kilos y se cubrieron con plástico para evitar variaciones de humedad.

6.2. Etapa final

En esta etapa se han definido los 18 diseños de mezcla, de los cuales se realizarán los ensayos en estado fresco y endurecido respectivos para conocer qué mezcla se comporta mejor en términos de resistencia, trabajabilidad, módulo de rotura, permeabilidad y durabilidad, y cual se ajusta más a nuestra problemática.

En la Tabla 16, se muestran todos los diseños a realizar, los cuales se han dividido por tipo y por huso de agregado grueso. La división de tipos depende el porcentaje de agregado fino (ya que esta es uno de las características principales a investigar) y el huso de agregado grueso se divide dependiendo las relaciones agua/cemento: 0.27, 0.29 y 0.32.

Tabla 16.

Diseños de mezclas por Tipo.

	Agregado Grueso	Relación agua/cemento	Tipo I 0% de Agregado fino	Tipo II 3% de Agregado fino	Tipo III 5% de Agregado fino
DISEÑOS DE MEZCLA	Huso 7	a/c: 0.32	M1 SP: 0.35%	M4 SP: 0.40%	M7 SP: 0.45%
		a/c: 0.29	M2 SP: 0.35%	M5 SP: 0.40%	M8 SP: 0.45%
		a/c: 0.27	M3 SP: 0.35%	M6 SP: 0.40%	M9 SP: 0.45%
	Huso 67	a/c: 0.32	M10 SP: 0.35%	M13 SP: 0.40%	M16 SP: 0.45%
		a/c: 0.29	M11 SP: 0.35%	M14 SP: 0.40%	M17 SP: 0.45%
		a/c: 0.27	M12 SP: 0.35%	M15 SP: 0.40%	M18 SP: 0.45%

Nota: a/c= relación agua/cemento, SP= superplastificante, M= diseño de mezcla. Esta tabla se utilizará para los diseños de mezcla de Huso 7 y Huso 67. Fuente: Propia.

6.2.1. Ensayos del concreto fresco

En esta etapa se realizó el ensayo de cono de Abrams a los 18 diseños de mezcla en estado fresco para corroborar que todas las mezclas sean trabajables, por lo que se debería obtener el Slump entre 1" a 3". Además, se realizó la prueba del guante, como se recomienda en el ACI 522-R para comprobar que la pasta se haya unido correctamente con el agregado.

6.2.1.1. Fluidéz

Se realizó el ensayo del cono de Abrams a los 18 diseños de mezcla para determinar si la fluidez era la adecuada y cumplía con los requerimientos del ACI 522-R. En la Tabla 17 y Tabla 18 se presentan los resultados obtenidos de la prueba.

Tabla 17.

Resultados del ensayo Cono de Abrams - Huso 7.

	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9
Slump	3	2 1/2	2	3	2 1/2	2	2 1/2	2 1/2	2

Nota: Se realizó el ensayo de acuerdo a la norma ASTM C143. Fuente: Propia.

Como se aprecia en la Tabla 17 se obtuvo revenimiento entre 2 1/2” a 3” para los diseños de mezcla con agregado de huso 7 mientras que para los de huso 67 varía entre 0 a 2”, según la Tabla 18. Todas las mezclas tienden a tener poca trabajabilidad debido a las bajas relaciones a/c, por lo cual es necesario que se trabaje de una manera rápida y precisa para que la mezcla no se seque.

Tabla 18.

Resultados del ensayo Cono de Abrams - Huso 67.

	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
Slump	2	2	1 1/2	2	1 1/2	1/2	1 1/2	1/2	0

Nota: Se realizó el ensayo de acuerdo a la norma ASTM C143. Fuente: Propia.

Figura 36. Ensayo de slump. Fuente: Propia.

Además, se realizó, también, la prueba descrita en el ACI 522 R como “La prueba del guante” que consiste en armar una pelota con la mezcla como se aprecia en la Figura 37, la cual debe ser compacta y solo debe quedar en el guante las huellas del agregado grueso.

Figura 37. Prueba del guante del diseño de mezcla 7 (M7). Fuente: Propia.

En la Figura 37 podemos observar que el resultado de esta prueba fue satisfactorio, ya que, al realizar la pelota, esta no se desarmó y solo quedaron en el guante las huellas del agregado grueso. Sin embargo, no obtuvimos en todos los casos el mismo resultado. En el capítulo 8 se detallará más esta prueba y se le asignará un puntaje a cada diseño de mezcla.

6.2.2. Ensayos del concreto endurecido

Se realizaron los ensayos de masa unitaria, porcentaje de vacíos, resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, resistencia a la tracción y ensayo para determinar la tasa de permeabilidad de las mezclas.

6.2.2.1. Masa unitaria y porcentaje de vacíos

Para poder determinar la masa unitaria real, es necesario tener previamente los datos de masas reales de las muestras como también el volumen de las mismas. En la Figura 38 se puede apreciar el peso de un espécimen.

Figura 38. Especimen de concreto permeable pesado. Fuente: Propia.

La masa real unitaria se halló de cada probeta para compresión y se determinó un promedio para así poder hallar el porcentaje de vacíos real. En la Tabla 19 se presentan los resultados obtenidos de la masa real y volumen real para todos los diseños de mezcla. El volumen real se calculó sumergiendo cada espécimen en un balde milimetrado con agua (altura conocida) y, con la diferencia de la altura del agua final - inicial y con el área del balde se halló el volumen real.

Tabla 19.

Resultados de Masa y Volumen Real

	Diseños de mezcla	Mc (kg)	Mm (kg)	Mc-Mm (kg)	Vm1 (m³)	Vm2 (m³)	T (kg/m³)	D (kg/m³)	% vacíos	
Huso 7	Tipo I	1	11.15	0.9	10.25	0.006	0.0047	1843.53	2180.85	18.30
		2	11.23	0.9	10.33	0.006	0.0048	1857.91	2152.08	15.83
		3	11.37	0.9	10.47	0.006	0.0050	1883.09	2115.15	12.32
	Tipo II	4	11.46	0.9	10.56	0.006	0.0047	1899.28	2246.81	17.55
		5	11.34	0.9	10.44	0.006	0.0048	1877.70	2161.49	15.11
		6	11.42	0.9	10.52	0.006	0.0050	1892.09	2146.94	12.21
	Tipo III	7	11.57	0.9	10.67	0.006	0.0048	1919.06	2371.11	15.83
		8	11.45	0.9	10.55	0.006	0.0049	1897.48	2175.26	14.64
		9	11.59	0.9	10.69	0.006	0.0050	1922.66	2155.24	12.10
Huso 67	Tipo I	10	10.03	0.9	9.131	0.006	0.0045	1642.27	2029.11	23.56
		11	10.05	0.9	9.15	0.006	0.0045	1645.68	2024.34	23.01
		12	10.40	0.9	9.5	0.006	0.0046	1708.63	2065.22	20.87
	Tipo II	13	10.28	0.9	9.38	0.006	0.0044	1687.05	2131.82	26.36
		14	10.60	0.9	9.7	0.006	0.0045	1744.60	2155.56	22.47
		15	10.26	0.9	9.36	0.006	0.0048	1683.45	1950.00	15.83
	Tipo III	16	10.84	0.9	9.94	0.006	0.0044	1787.77	2243.79	25.51
		17	10.96	0.9	10.06	0.006	0.0046	1809.35	2186.96	20.87
		18	10.89	0.9	9.99	0.006	0.0049	1796.76	2038.78	13.47

Nota: El porcentaje de vacíos teórico fue de 15%. Fuente: Propia.

Según los datos obtenidos la masa unitaria real se encuentra 1900 kg/cm^3 y 2500 kg/cm^3 , como se puede observar en la Figura 39. Además, se puede observar que la masa real se encuentra entre 10 kg y 11.6 kg mientras que el volumen real tiende a ser 0.004 m^3 y 0.005 m^3 en todos los especímenes. Con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de vacíos presentados en la Tabla 19.

Figura 39. Masa unitaria real. Fuente: Propia.

El porcentaje de vacíos que se propuso teóricamente fue de 15%; sin embargo, de la Figura 40 nos podemos percatar que el porcentaje de vacíos obtenido se encuentra dentro de 12% a 27%. Esto se debe al tamaño máximo del agregado, porcentaje de agregado fino y, la forma y fuerza de compactación.

Figura 40. Porcentaje de vacíos. Fuente: Propia.

Por otro lado, según la Figura 40, nos percatamos que en el huso 7 los diseños de mezcla M3, M6, M8, M9 y en el huso 67 el diseño de mezcla M18 no cumplieron con el porcentaje de vacíos mínimo requerido.

6.2.2.2. Ensayo de resistencia a la compresión

La determinación de la resistencia a la compresión se realizó de acuerdo con la norma ASTM C 39. Por cada mezcla realizada se ensayaron nueve especímenes, tres por cada edad, a los 7, 14 y 28 días. En la Figura 41 se muestra un espécimen a punto de ser ensayado en la máquina universal de compresión.

Figura 41. Ensayo de resistencia a la compresión. Fuente: Propia.

En la Tabla 20 se muestran todos los resultados de las resistencias a la compresión de los 18 diseños de mezclas a los 7, 14 y 28 días de curado. En donde, además, se observa que las mezclas desarrollaron casi el 80% de sus resistencias a temprana edad (7 días).

Tabla 20.

Resultados del ensayo: Resistencia a la compresión.

Diseño	7 días			14 días			28 días		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
M 1	132.11	132.78	132.45	170.83	173.36	172.92	187.68	188.66	190.26
M 2	135.67	136.89	136.45	175.72	173.21	177.07	196.13	195.21	195.66
M 3	111.15	113.4	113.78	145.26	143.71	143.94	161.37	164.45	162.88
M 4	142.93	143.56	142.78	185.21	183.52	186.36	194.86	195.42	196.87
M5	148.93	147.42	148.71	190.37	187.34	183.51	208.62	210.42	207.26
M 6	118.52	117.34	117.13	148.36	147.05	145.60	154.30	157.20	154.70
M 7	145.29	145.89	146.36	183.62	181.81	182.16	209.47	211.56	213.47
M 8	148.78	147.99	148.32	192.43	191.52	191.84	215.22	214.64	213.36
M 9	114.57	115.51	115.98	132.44	133.58	132.68	148.48	151.18	152.41
M 10	112.98	111.58	112.27	143.65	142.42	144.64	157.91	159.24	162.15
M11	113.31	112.95	113.4	147.78	146.25	145.55	163.24	164.52	167.04
M 12	78.15	77.03	78.56	106.84	107.48	108.40	150.20	155.36	153.46
M 13	117.76	117.13	116.73	147.63	151.18	148.70	164.54	166.32	168.04
M 14	116.43	116.65	116.28	151.87	152.31	142.03	168.37	167.48	172.55
M 15	85.32	84.33	85.23	113.68	114.63	115.58	145.16	155.65	143.16
M 16	118.12	117.24	118.98	155.22	156.12	153.65	163.68	167.17	165.44
M 17	120.45	119.56	119.92	155.26	153.76	154.28	174.16	176.56	175.87
M 18	90.55	88.13	89.33	117.23	116.92	118.15	140.16	137.61	139.37

Nota: Todos los resultados están en kg/cm². Fuente: Propia.

De los resultados obtenidos se halló un promedio que se muestra en la Tabla 21 , para así poder comparar todas las mezclas. En donde se observa que el diseño de mezcla con mayor resistencia a la compresión es la M8 con 214.41 kg/cm² y con menor resistencia a la compresión es la M 12 con 121.83 kg/cm².

Tabla 21.

Resultados promedios del ensayo de resistencia a la compresión.

		Diseño	f'c a 7 días	f'c a 14 días	f'c a 28 días
Huso 7	Tipo I	M 1	132.45	172.37	188.87
		M 2	136.34	175.33	195.67
		M 3	112.78	144.30	162.90
		M 4	143.09	185.03	195.72
	Tipo II	M5	148.35	187.07	208.77
		M 6	117.66	147.00	155.40
		M 7	145.85	182.53	211.50
	Tipo III	M 8	148.36	191.93	214.41
		M 9	115.35	132.90	150.69
Huso 67	Tipo I	M 10	112.28	143.57	159.77
		M 11	113.22	146.53	164.93
		M 12	77.91	107.57	153.01
	Tipo II	M 13	116.45	152.07	166.30
		M 14	117.21	149.17	169.47
		M 15	84.96	114.63	147.99
		M 16	118.11	155.00	165.43
	Tipo III	M 17	119.98	154.43	175.53
		M 18	89.34	117.43	139.05

Nota: Todos los resultados están en kg/cm². Fuente: Propia.

En promedio se observa que las mezclas de Tipo I son las que tuvieron menor resistencia a la compresión a los 28 días, esto se debe a que no contemplaban nada de agregado fino. Además, las mezclas con relación agua/ cemento de 0.27 obtuvieron mucho menos resistencia en comparación a las de 0.29 y 0.32, esto se puede observar en todos los tipos de mezcla y es debido a que el cemento no se hidrató correctamente.

Figura 42. Resistencia a la compresión de las mezclas Tipo I de Huso 7. Fuente: Propia.

En promedio, se observa en la Figura 42 que los diseños de mezclas de Huso 7 con 0% de agregado fino obtuvieron el 69.7% de resistencia a los 7 días, y que la resistencia disminuye considerablemente en la M3 ($a/c = 0.27$).

Figura 43. Resistencia a la compresión de las mezclas Tipo II Huso 7. Fuente: Propia.

En la Figura 43, se observa que las mezclas del tipo II aumentaron su resistencia en comparación con las mezclas del tipo I. Para la Mezcla tipo II con 3% de agregado fino se obtuvo un promedio de 70.6% de resistencia a temprana edad debido a la adición de agregado fino.

Figura 44. Resistencia a la compresión de las mezclas Tipo III Huso 7. Fuente: Propia.

Las mezclas del tipo III debido a que presentan un mayor porcentaje de agregado fino mayor es la resistencia obtenida. Por lo cual, las mezclas 7, 8 y 9, como se observa en la Figura 44, otorgaron resistencias mucho más altas en comparación con las demás mezclas. Sin embargo, se sigue observando que la mezcla con relación a/c de 0.27, obtiene una resistencia mucho menor a las otras. Además, el promedio de la resistencia a los 7 días fue de 68.6% para este tipo de mezcla con incorporación del 5% de arena.

Figura 45. Resistencia a la compresión de las mezclas Tipo I de Huso 67. Fuente: Propia.

En la Figura 45, se observa que las mezclas con Huso 67 obtuvieron una menor resistencia a la compresión en comparación con las de Huso 7, esto se debe al tamaño nominal del agregado. En promedio, en los diseños de mezclas de Huso 67 con 0% de agregado fino, se obtuvo el 67.6% de la resistencia a los 7 días.

Figura 46. Resistencia a la compresión de las mezclas Tipo II de Huso 67. Fuente: Propia.

Según la Figura 46, para las Mezclas de tipo II con 3% de agregado fino y elaboradas con Huso 67 se puede observar que la resistencia a la compresión aumento ligeramente en comparación a las de Tipo I y, además, se obtuvo un promedio de 69.0% de resistencia a temprana edad.

Figura 47. Resistencia a la compresión para las mezclas Tipo III de Huso 67. Fuente: Propia.

En las Mezclas de Tipo III, como se observa en la Figura 47, se obtuvo mejores resultados de resistencia a la compresión dentro de las Mezclas elaboradas con Huso 67. En promedio se obtuvo el 69.6% de la resistencia a edad temprana.

Figura 48. Comparación de resultados de resistencia a la compresión de todas las mezclas de Huso 7.
Fuente: Propia.

En la Figura 48 y Figura 49 se puede observar la resistencia de todas las mezclas desarrolladas a los 7, 14 y 28 días. Se aprecia como la resistencia aumenta en cada tipo de mezcla debido a la incorporación del agregado fino, además, se observa una tendencia ascendente dentro de cada tipo de mezcla, por la disminución de la relación agua/cemento de 0.32 a 0.29; sin embargo, en las de 0.27 la resistencia decae debido a que el cemento no se estaba hidratando bien.

Figura 49. Comparación de resultados de resistencia a la compresión de todas las mezclas de Huso 67.
Fuente: Propia.

La mezcla con mayor resistencia a la compresión fue la M8, ya que alcanzó 214.41 kg/cm² a los 28 días de curado y la de menor resistencia fue la M18 con 139.05 kg/cm².

6.2.2.3. Ensayo de resistencia a la flexión

A continuación, se analizarán las resistencias a flexión realizadas según el ASTM C78. Por cada mezcla de concreto permeable se realizaron 2 especímenes a ensayar. En la Figura 52 se observa una viga de concreto permeable de 15 x 50 x 15 cm colocada en la estructura correspondiente antes de ser ensayado.

Figura 50. Ensayo de resistencia a la flexión. Fuente: Propia.

En la Tabla 22 se muestran los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la flexión de los especímenes de los 18 diseños de mezclas. Según el PCA¹⁰ (Tennis P, 2004), la resistencia a la flexión de las muestras ensayadas se encuentra entre el rango de 12.46 kg/cm² hasta 21.05 kg/cm².

¹⁰ Pervious Concrete Pavements

Tabla 22.

Resultados del ensayo de resistencia a la flexión.

Diseño	1	2	Prom
M 1	19.04	18.92	18.98
M 2	19.37	19.46	19.42
M 3	15.83	15.97	15.90
M 4	18.57	19.23	18.90
M5	20.60	20.53	20.57
M 6	16.46	16.52	16.49
M 7	20.86	20.72	20.79
M 8	21.07	21.03	21.05
M 9	15.34	15.42	15.38
M 10	16.64	16.51	16.58
M 11	16.35	16.48	16.42
M 12	14.56	14.82	14.69
M 13	16.43	16.48	16.46
M 14	17.17	17.05	17.11
M 15	14.52	14.60	14.56
M 16	18.04	18.28	18.16
M 17	16.97	16.86	16.92
M 18	12.59	12.33	12.46

Nota: Todos los resultados están en kg/cm². Fuente: Propia.

Con los resultados de la Tabla 22 podemos deducir que el concreto permeable tiene una buena resistencia a la flexión, lo cual es muy importante para uso en pavimentos. Además, en la Figura 51 se observa una tendencia ascendente debido al aumento del porcentaje de agregado fino en cada tipo de mezcla y del tamaño del agregado grueso.

Figura 51. Resultados de ensayo de resistencia a la flexión por tracción. Fuente: Propia.

En la Figura 51, se presenta en una línea naranja el rango mínimo a obtener (18 kg/cm^2), en donde se puede observar que todos los diseños de mezclas del huso 67 no cumplieron. Mientras que en los diseños de mezcla del huso 7, sólo los de relación agua/cemento= 0.32 y 0.29 cumplieron con el resultado mínimo. El mayor resultado lo obtuvo el diseño de mezcla M8, al cual se le agregó 5% de agregado fino y una relación $a/c= 0.29$.

Figura 52. Espécimen listo para el ensayo de resistencia a la flexión. Fuente: Propia.

6.2.2.4. Ensayo de permeabilidad

Para llevar a cabo el ensayo de permeabilidad se construyó un permeámetro de carga variable, basándose en el ACI 522R.

Figura 53. Muestras de concreto permeable de 4" x 8". Fuente: Propia.

Se ensayarán 2 probetas de 4" x 8" por mezcla, como se observa en la Figura 53, y el promedio de los resultados será la capacidad de drenaje de la mezcla. En la Tabla 23 se muestran todos los resultados obtenidos a partir del ensayo. En donde nos podemos percatar que la permeabilidad va disminuyendo conforme le agregamos el agregado fino, así sea en pequeñas cantidades.

Tabla 23.

Resultados del ensayo de permeabilidad.

Diseño	1	2	Prom
M 1	0.42	0.40	0.41
M 2	0.39	0.38	0.39
M 3	0.37	0.38	0.38
M 4	0.35	0.36	0.36
M5	0.34	0.32	0.33
M 6	0.33	0.34	0.34
M 7	0.3	0.32	0.31
M 8	0.31	0.30	0.31
M 9	0.28	0.30	0.29
M10	0.45	0.46	0.46
M 11	0.44	0.45	0.45
M 12	0.42	0.45	0.44
M 13	0.43	0.42	0.43
M 14	0.42	0.43	0.43
M 15	0.39	0.40	0.40
M 16	0.39	0.38	0.39
M 17	0.38	0.38	0.38
M 18	0.37	0.38	0.38

Nota: Todos los resultados están en cm/s. Fuente: Propia.

Según el PCA, el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable se debería encontrar entre 0.2 cm/s a 0.54 cm/s. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango mencionado anteriormente. Además, se puede observar que a mayor porcentaje de agregado fino menor será la permeabilidad. De igual manera se puede observar en la

Figura 54 que los diseños de mezcla que se realizaron con huso 67 obtuvieron mejores tasas de permeabilidad que los del huso 7.

Figura 54. Tasa de Permeabilidad. Fuente: Propia

7. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Este capítulo tiene como finalidad comparar las características del concreto permeable en base a los resultados obtenidos en el capítulo anterior. En donde, se detallará qué Huso de agregado grueso es el óptimo dependiendo de la propiedad, así como también el diseño de mezcla.

7.1. Permeabilidad vs resistencia a la compresión

Los resultados obtenidos en las pruebas de compresión y con el permeámetro de carga constante se muestran en la Figura 55. En donde nos podemos percatar que mientras la permeabilidad disminuye, la resistencia a la compresión aumenta.

Figura 55. Resultado de la resistencia a los 28 días (kg/cm^2) vs Permeabilidad (cm/s). Fuente: Propia.

En general, se observa que en las mezclas con relación $a/c=0.32$ presentaron buena resistencia y buena permeabilidad, relación $a/c=0.29$ con incorporación de finos de 3%, disminuye la permeabilidad, pero aumenta la resistencia y las mezclas con relación $a/c=0.27$ fueron las que presentaron menor resistencia, y menor permeabilidad, esto se debe a la incorporación de agregado fino de 5%. Cabe mencionar que la resistencia es el factor que más se busca en este tipo de concreto y con respecto a la tasa de permeabilidad, valores mayores al 0.2 cm/s ya se considera aceptable. Se comprueba que los diseños de mezcla propuestos con el huso 7 obtienen mejor resistencia y menor permeabilidad comparadas a las del huso 67 en todos los casos.

Tabla 24

Comparación de resultados de resistencia a la compresión vs permeabilidad.

Huso	Tipo	Diseño	F'C (kg/cm ²)	F'C prom (kg/cm ²)	K (cm/s)	K prom (cm/s)
Huso 7	Tipo I	M 1	188.87	182.48	0.41	0.393
		M 2	195.67		0.39	
		M 3	162.90		0.38	
	Tipo II	M 4	195.72	186.63	0.36	0.343
		M5	208.77		0.33	
		M 6	155.40		0.34	
	Tipo III	M 7	211.50	192.20	0.31	0.303
		M 8	214.41		0.31	
		M 9	150.69		0.29	
Huso 67	Tipo I	M 10	159.77	159.24	0.46	0.450
		M 11	164.93		0.45	
		M 12	153.01		0.44	
	Tipo II	M 13	166.30	161.25	0.43	0.420
		M 14	169.47		0.43	
		M 15	147.99		0.40	
	Tipo III	M 16	165.43	160.00	0.39	0.383
		M 17	175.53		0.38	
		M 18	139.05		0.38	

Nota: F'C= resistencia a la compresión a los 28 días y K= permeabilidad. Fuente: Propia.

En la Tabla 24 se presenta los tipos de diseños que se han realizado por huso y el promedio obtenido en resistencia a la compresión y tasa de permeabilidad. Para el diseño elaborado únicamente con agregado grueso, se obtuvo una resistencia promedio de 182.48 kg/cm² y una tasa de permeabilidad de 0.393 cm/s para el huso 7 y 159.24 kg/cm² y una tasa de permeabilidad de 0.450 cm/s para el huso 67. Para las muestras de Tipo II, en promedio se llegó a una resistencia de 186.63 kg/cm² con 0.343 cm/s de permeabilidad para el huso 7 y 161.25 kg/cm² y una tasa de permeabilidad de 0.420 cm/s para el huso 67. Por ultimo

las de Tipo III mostraron sólo 192.20 kg/cm² y una permeabilidad promedio de 0.310 cm/s para el huso 7 y 160.00 kg/cm² y una tasa de permeabilidad de 0.387 cm/s para el huso 67.

7.2. Permeabilidad vs resistencia a la tracción por flexión

En la Figura 56 se muestran los resultados de las pruebas de resistencia a la tracción por flexión y se comparan con los datos obtenidos en el ensayo de permeabilidad. Se puede apreciar que mientras el Módulo de Rotura aumenta, la permeabilidad va disminuyendo. Esto nos indica que el análisis realizado entre estas dos propiedades es similar al realizado entre resistencia a la compresión y permeabilidad. A mayor permeabilidad menor es el módulo de rotura.

Figura 56. Resultado de la resistencia a la tracción por flexión (kg/cm²) y permeabilidad (cm/s). Fuente: Propia.

Además, en la Figura 56 podemos observar que los diseños de mezcla de huso 67 presentan una mayor tasa de permeabilidad, esto se debe al TMN de este huso, por lo que los vacíos tienden a ser mucho más grandes. Mientras que los resultados de modulo fueron mayores para el huso 7, observándose una tendencia ascendente, excepto en las de relación a/c de 0.27.

7.3. Resistencia a la compresión vs resistencia a la tracción por flexión

En el concreto convencional, la resistencia a la flexión tiende a ser un porcentaje de la resistencia a la compresión. Según García (2011) se encuentra dentro del rango de 12% y 18% de la resistencia a compresión.

En la Figura 57 se presentan los resultados obtenidos de resistencia a la compresión a los 28 días comparándolos con los resultados del ensayo de tracción por flexión.

Figura 57. Resultado de la resistencia a la tracción por flexión (kg/cm²) vs resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²) de los 18 diseños de mezcla. Fuente: Propia.

De la Figura 57 se aprecia que conforme aumenta la resistencia a la compresión de la misma forma aumenta la resistencia a la tracción por flexión del concreto permeable. Las mezclas con relación $a/c=0.27$ obtuvieron los menores valores, ninguna cumplía con el valor mínimo establecido en la norma ($f'c=175.0$ kg/cm² y $MR=18$ kg/cm²). Además, se puede observar que el diseño de mezcla M8 (Huso 7) es el que obtuvo mayor resistencia a la compresión y módulo de rotura, con valores de 214.41 kg/cm² y 21.05 kg/cm² respectivamente.

En la Tabla 25 se presentarán los resultados de resistencia a la compresión y a tracción por flexión. Así como también, la relación en términos de porcentaje de estos.

Tabla 25.

Comparación de resultados de resistencia a la compresión vs resistencia a la flexión por tracción.

Diseño	F'C	Módulo de Rotura	%MR/FC
M 1	188.87	18.98	10.05
M 2	195.67	19.42	9.92
M 3	162.90	15.90	9.76
M 4	195.72	18.90	9.66
M5	208.77	20.57	9.85
M 6	155.40	16.49	10.61
M 7	211.50	20.79	9.83
M 8	214.41	21.05	9.82
M 9	150.69	15.38	10.21
M 10	159.77	16.58	10.37
M 11	164.93	16.42	9.95
M 12	153.01	14.69	9.60
M 13	166.30	16.46	9.89
M 14	169.47	17.11	10.10
M 15	147.99	14.56	9.84
M 16	165.43	18.16	10.98
M 17	175.53	16.92	9.64
M 18	139.05	12.46	8.96

Nota: F'C= resistencia a la compresión a los 28 días y MR= módulo de rotura. Fuente: Propia.

De la Tabla 25 podemos observar que se obtuvieron relaciones entre 9% a 11%. Por lo que se deduce que la relación es menor a la de un concreto convencional. Además, se observó, que la mezcla con mejor desempeño fue la M8, a la cual se le agregó 5% con una relación a/c = 0.29.

7.4. Permeabilidad Vs % de Vacíos

Se desea comparar que tanto influye el % de vacíos obtenido con la tasa de permeabilidad. Se obtuvo un resultado directamente proporcional, tal y como se esperaba. Los resultados obtenidos de los 18 diseños de mezcla en el estudio se presentan en la Figura 58. Allí, se observa que las mezclas de Huso 67 obtuvieron mejores resultados en todos los casos.

Figura 58. Resultado de Permeabilidad vs % de Vacíos. Fuente: Propia.

Además, se puede observar que diseños de mezcla con agregado fino obtuvieron menores resultados, ya que el agregado fino cerró los huecos.

Se comprobó que todos los diseños de mezcla superaron la tasa de permeabilidad mínima.

7.5. Slump Vs Prueba del guante

Se desea comparar que tanto influye el slump obtenido con respecto al performance de la mezcla en estado fresco. En la Figura 59 se presentan los resultados del ensayo del cono de abrams comparándolos con la trabajabilidad observada durante la prueba del guante.

Figura 59. Resultado de Prueba del guante vs slump. Fuente: Propia.

De la Figura 59, se puede apreciar que las mezclas que obtuvieron slump entre 1 1/2" y 3", tuvieron buen desempeño en la prueba del guante, mientras que las que obtuvieron slump entre 0" y 1 1/2", tuvieron desempeño inadecuado.

8. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

En el presente capítulo analizaremos el costo del concreto permeable por m² y su costo de mantenimiento y lo compararemos con el convencional. Además, se calculará el costo por metro lineal del pavimento drenante y pavimento rígido para poder comparar cual es el más conveniente a largo plazo.

8.1. Análisis de costo directo

Para realizar el análisis de costo por metro cuadrado del concreto, se optó por realizar un análisis comparativo de todas las mezclas y, además, se compararán con un diseño de mezcla de concreto convencional de resistencia similar.

8.1.1. Concreto permeable

En primer lugar, se presentará únicamente el análisis del costo directo de la capa de rodadura. A continuación, se presentará el análisis de precios unitarios del diseño de mezcla M1 propuesto en el presente estudio.

Tabla 26.

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 1

Capa de rodadura de Concreto permeable e = 15cm			Rendimiento = 85 m ² /día		
Descripción	Und	Cuadrilla	Cant	P.U	Parcial
Mano de Obra					
Operario	Hh	4	0.376	20.96	7.891
Oficial	Hh	1	0.094	16.99	1.599
Ayudante	Hh	8	0.753	15.29	11.512
					21.002
Materiales					
Cemento	bls		1.4	17.37	24.319
Agua	m ³		0.019	0.95	0.018
Arena	kg		0	0.016	0
Piedra	kg		236.824	0.012	2.818
RP	litro		0.179	2.434	0.434
SP	litro		0.208	11.832	2.464
Mej. Adh.	litro		0.24	9.737	2.337
					32.391
Equipos					
Herramientas Manuales	%mo		3	21.002	0.63
Regla de madera	p ²		0.07	4.35	0.305
Mezcladora de concreto	hm	1	0.094	15	1.412
					2.346
				Total S/.	55.74

Nota: RP= aditivo retardante-plastificante y SP= aditivo superplastificante. Fuente: Propia.

El cálculo del metro cuadrado de concreto permeable se determinó para un espesor de 15cm como se detalla en la sección típica del Anexo 2. Además, se realizó el mismo análisis descrito en la Tabla 26 a todos los diseños de mezclas propuestos (M1 al M18) los cuales se encuentran en el Anexo 4. A continuación, se presentará una Tabla resumen de los costos hallados.

Tabla 27.

Resumen de los costos del m² de los diseños de mezcla propuestos para el Huso 7

	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9
Costo	55.74	57.45	58.84	56.74	58.40	59.73	58.01	59.76	61.25

Fuente: Propia.

Tabla 28.

Resumen de los costos del m² de los diseños de mezcla propuestos para el Huso 67

	M 10	M11	M 12	M 13	M 14	M 15	M 16	M 17	M 18
Costo	54.10	55.61	56.80	55.19	56.76	58.01	56.57	58.12	59.43

Fuente: Propia.

En las Tabla 27 y Tabla 28 se presentaron los costos por metro cuadrado de cada diseño de mezcla. Obteniendo como resultado que el costo se sitúa entre S/. 54.00 a S/. 62.00. Además, se observó que, dentro del análisis de precio, el costo del cemento es el más incidente, ya que representa casi el 40% del costo total en todos los casos. También, nos pudimos percatar que todas las mezclas con relación agua/cemento de 0.32 obtuvieron un costo promedio de S/.56.00 por metro cuadrado, las de relación agua/cemento de 0.29 de S/.57.50 y las mezclas de 0.27 de casi S/.59.00.

8.1.2. Concreto convencional

De la misma forma que para el concreto permeable, en la Tabla 29 se presentarán los costos directos por metro cuadrado de la capa de rodadura de 15 cm de espesor para el pavimento rígido. El concreto que se analizará tendrá una resistencia de 175 kg/cm².

Tabla 29.

Análisis de costos del concreto convencional $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$.

Capa de rodadura de Concreto convencional				Rendimiento = 85 m ² /día	
Descripción	Und	Cuadrilla	Cant	P.U	Parcial
Mano de Obra					
Operario	Hh	4	0.376	20.96	7.891
Oficial	Hh	1	0.094	16.99	1.599
Ayudante	Hh	8	0.753	15.29	11.512
					21.002
Materiales					
Cemento	bls		1.4471	18.22	26.3662
Agua	m ³		0.0237	0.95	0.0225
Arena	kg		118.521	0.0161	1.9082
Piedra	kg		144.8267	0.0119	1.7234
					30.0203
Equipos					
Herramientas Manuales	%mo		3.000	21.002	0.63
Regla de madera	p ²		0.070	4.350	0.305
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.094	15.000	1.412
					2.346
				Total S/.	53.3683

Nota: RP= aditivo retardante-plastificante y $f'c$ = resistencia a la compresión a los 28 días. Fuente: Propia.

De la Tabla 29 nos percatamos que el costo por metro cuadrado del concreto convencional de $f'c=175\text{kg/cm}^2$ es de S/30.02. Además, el costo más incidente es el del cemento, siendo casi el 83% del costo total.

8.2. Análisis de costo del mantenimiento

La frecuencia del mantenimiento puede afectar negativamente al costo a largo plazo. Es por esto por lo que a continuación analizaremos el mantenimiento necesario para que el concreto trabaje en buenas condiciones y no se vea afectada su durabilidad.

8.2.1. Concreto permeable

En el concreto permeable, la frecuencia del mantenimiento depende, en su mayoría, de la inspección visual. En la Tabla 30 expondremos los síntomas más comunes junto a sus posibles causas y soluciones.

Tabla 30

Problemas: Síntomas, causas y soluciones.

Síntoma	Posible Causa	Solución
Agua estancada en la superficie	Escombros, tierra u otro material que obstruyen los poros	Barrer constantemente la superficie
Vegetación creciendo en la superficie	Ha pasado mucho tiempo desde el último mantenimiento	Remover naturalmente la vegetación. Realizar un mantenimiento más constante.
Después de barrer, el agua sigue sin drenar	El sedimento sigue atrapado en los poros.	Realizar un lavado a alta presión.

Nota: Los síntomas identificados son los más relevantes. Fuente: Propia.

De la Tabla 30 podemos percatarnos que para que los poros estén libres de impurezas se deben realizar trabajos manuales de limpieza y, además, si los poros siguen atascados, se debe realizar un lavado a alta presión. Es por eso, que se propone que se realice este mantenimiento al menos una vez al año para evitar que se acumulen partículas en los poros, el precio del alquiler de la máquina de lavado es de 334 soles por hora, y tiene un rendimiento de 600m² por hora.

Tabla 31.

Análisis del costo de mantenimiento por m² del concreto permeable

Lavado a alta presión			Rendimiento = 4800 m ² /día		
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	P.U	Parcial
Mano de Obra					
Operario	Hh	1	0.002	20.96	0.035
Ayudante	Hh	1	0.002	15.29	0.025
Materiales					0.06
Agua	m ³		0.002	0.95	0.002
Equipos					0.002
Herramientas manuales	%mo		3	0.06	0.002
Máquina de alta presión	hm	1	0.002	334	0.557
					0.558
Total S/.					0.621

Nota: Los precios fueron extraídos de empresas que realiza el servicio indicado. Fuente: Propia.

8.2.2. Concreto convencional

El concreto convencional utilizado en el pavimento rígido como capa de rodadura requiere un mantenimiento mínimo que se efectúa comúnmente en las juntas de las losas (Federico Ezequiel, pág. 1). Además, cuando presenta fisuras el mantenimiento que se le debe dar es mucho más costoso y, si no se realiza adecuadamente podría ocasionar que todo el sistema colapse.

Tabla 32.

Análisis del costo de mantenimiento del concreto convencional

Descripción	Und	Cantidad	P.U	Costo
Sello de Juntas	m ²	1.00	6.291	6.291
			Total S/.	6.291

Nota: Los costos no incluyen, mano de obra. Fuente: Propia.

Para el cálculo del precio por m², se analizó un paño de 8 m² del estacionamiento del hospital Honorio Delgado en Arequipa y se contabilizó los metros lineales de grietas para obtener una incidencia de la cantidad de grietas en metros lineales existentes en un metro cuadrado, ya que el precio de cotización encontrado es de S/. 20.97 por metro lineal incluido mano de obra.

8.3. Análisis de costo por metro cuadrado

A continuación, se realizará la evaluación del costo de todo el sistema por metro cuadrado tanto del pavimento drenante como del pavimento rígido, para así considerar no solo el costo de los materiales de la capa de rodadura, sino también la base, subbase, corte, relleno, entre otros. Para este estudio se ha tomado en cuenta las características de base y subbase del pavimento existente en el estacionamiento del Hospital Regional Honorio Delgado siendo de 15cm y 30 cm respectivamente para el cálculo del costo por metro lineal del pavimento rígido. Por otro lado, se ha propuesto para el concreto permeable una subbase de 5cm y una base de piedra angular o balastro de 20cm.

8.3.1. Pavimento drenante

En la Tabla 33 se presenta el análisis del costo por metro lineal del diseño de mezcla 1 (M1) del concreto permeable para el hospital Honorio Delgado. Debido a que todas las mezclas presentaron un costo directo no muy variado, se eligió el diseño de mezcla 1 para

realizar el análisis del costo por metro cuadrado, ya que presentó mejores resultados en términos de permeabilidad, resistencia, módulo de rotura y porcentaje de vacíos, en comparación con las demás mezclas.

Tabla 33.

Análisis de costos por metro cuadrado del pavimento drenante.

Descripción	Und	Cant	P.U	COSTO
Corte a nivel de subrasante	m ³	0.13	8.83	1.1479
Eliminación material excedente	m ³	0.52	25.77	13.4004
Nivelación y compactación de la Subrasante	m ²	1.00	5.86	5.86
Sub-base	m ³	0.0525	10.9557	0.5752
Base	m ³	0.2100	43.8228	9.2028
Concreto permeable M1	m ²	1.05	55.74	58.522
Corte de Juntas	ml	0.67	7.92	5.3064
Mantenimiento	m ²	1.00	0.621	0.621
			Total S/.	94.6357

Nota: Costos extraídos de la revista costos Octubre 2018. Fuente: Propia.

De la Tabla 33 podemos percatarnos que el costo por metro cuadrado de pavimento drenante es de S/. 94.6357. La partida que tiene mayor costo fue la del concreto $f'c=175$ kg/cm².

8.3.2. Pavimento rígido

El pavimento rígido de concreto se constituye por una capa de concreto que se apoya en una capa de subbase, constituida por gravas, esta capa descansa en una capa de suelo compactado, llamado subrasante. La resistencia estructural depende principalmente de la losa de concreto y en algunas ocasiones presenta un armado de acero. En la Tabla 34 se presentan los costos por metro lineal de este tipo de pavimento para el Hospital Honorio Delgado situado en Arequipa.

Tabla 34.

Análisis de costos por metro lineal del pavimento convencional $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$.

Descripción	Und	Cant	P.U	COSTO
Corte a nivel de subrasante	m ³	0.13	8.83	1.1479
Eliminación material excedente	m ³	0.715	25.77	18.4255
Nivelación y compactación de la Subrasante	m ²	1.00	5.86	5.8600
Base granular	m ³	0.39	24.57	9.5823
Sub-base	m ³	0.195	9.39	1.8311
Concreto $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	m ²	1.05	53.3683	56.0367
Sellado de Juntas	ml	0.67	7.92	5.3064
Mantenimiento	m ²	1.00	6.2910	6.2910
Total S/.				104.4809

Nota: Costos extraídos de la revista costos octubre 2018. Fuente: Propia.

En la Tabla 34 se puede apreciar que el costo por metro cuadrado del pavimento rígido es de S/. 104.4809. Las partidas que tienen mayor costo fueron las del concreto $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ y movimiento de tierras.

8.4. Comparación de resultados por mezcla

Se realizará un análisis cuantitativo de los resultados de resistencia, permeabilidad y porcentaje de vacíos, para esto se especificará una puntuación a cada rango de resultados donde 0 será un resultado bajo, 50, uno medio y 100 se considerará un resultado alto dentro de los obtenidos. Como resultado final se presentará el puntaje que obtuvieron todos los diseños de mezcla.

En la Tabla 35 se presenta todos los resultados obtenidos en la etapa experimental para los 18 diseños de mezcla.

Tabla 35.

Comparación de resultados por mezcla.

Muestra	F'c	MR	Permeabilidad	% Vacíos	Costo S/.
M1	188.87	18.98	0.41	18.30	94.64
M2	195.67	19.42	0.39	15.83	96.44
M3	162.90	15.90	0.38	12.32	97.90
M4	195.72	18.90	0.36	17.55	95.69
M5	208.77	20.57	0.33	15.11	97.44
M6	155.40	16.49	0.34	12.21	98.83
M7	211.50	20.79	0.31	15.83	97.03
M8	214.41	21.05	0.31	14.64	98.56
M9	150.69	15.38	0.29	12.10	100.43
M10	159.77	16.58	0.46	23.56	92.92
M11	164.93	16.42	0.45	23.01	94.50
M12	153.01	14.69	0.44	20.87	95.76
M13	166.30	16.46	0.43	26.36	94.07
M14	169.47	17.11	0.43	22.47	95.72
M15	147.99	14.56	0.40	15.83	97.03
M16	165.43	18.16	0.39	25.51	95.51
M17	175.53	16.92	0.38	20.87	97.14
M18	139.05	12.46	0.38	13.47	98.51
M19	188.87	18.98	0.00	0.00	104.48

Nota: F'C= resistencia a la compresión y MR= módulo de rotura. Fuente: Propia.

En la Tabla 36 se presentan los rangos y puntajes respectivos para cada tipo de característica. Para la resistencia a la compresión, se observan resultados entre 121.83 y 214.41 kg/cm², por consiguiente, a las mezclas cuya resistencia se encuentra entre 121.83 y 152.69 kg/cm², tendrá un puntaje de 1, las que estén entre 152.69 y 183.55 kg/cm² tendrán 2 de puntaje y 3 las que se encuentren entre 183.55 y 214.41 kg/cm². Esto mismo se repetirá con el MR, trabajabilidad, permeabilidad y % de vacíos.

Tabla 36.

Rangos y puntajes.

Parámetro	Rango	Puntuación
Asentamiento	Entre 1 1/2" a 3"	100
	< 1 1/2"	50
Prueba del Guante	Bueno	100
	Trabajable	50
	Seco	0
% Vacíos	> 14%	50
	Entre 14% y 16%	100
	< 14%	50
F'c	≥ 190 kg/cm ²	100
	≥ 175 kg/cm ² y < 190 kg/cm ²	50
	< 175 kg/cm ²	0
MR	≥ 18 kg/cm ²	100
	< 18 kg/cm ²	50
Permeabilidad	≥ 0.40 cm/seg	100
	< 40 cm/seg	50
Precio	≥ S/. 97.5/m ²	50
	< S/. 97.5/m ²	100

Nota: F'c= resistencia a la compresión, MR= módulo de rotura. Fuente: Propia.

En la Tabla 37 se presenta los puntajes que obtuvieron los diferentes diseños de mezcla para los parámetros asignados.

Tabla 37

Puntaje obtenido por mezcla.

Muestra	Asentamiento	Prueba del guante	% Vacíos	F'c	MR	Ts	Precio
M1	100	100	50	50	100	100	100
M2	100	100	100	100	100	50	100
M3	100	50	50	50	50	50	50
M4	100	100	50	100	100	50	100
M5	100	100	100	100	100	50	50
M6	100	50	50	0	50	50	50
M7	100	100	100	100	100	50	100
M8	100	100	100	100	100	50	50
M 9	100	50	50	0	50	50	50
M 10	100	50	50	0	50	100	100
M 11	100	50	50	0	50	100	100
M 12	100	50	50	0	50	100	100
M 13	100	50	50	0	50	100	100
M 14	100	50	50	0	50	100	100
M 15	50	0	100	0	50	100	100
M 16	100	50	50	0	100	50	100
M 17	50	0	50	50	50	50	100
M 18	50	0	50	0	50	50	50

Nota: F'C= resistencia a la compresión, MR= módulo de rotura, Ts=Tasa de permeabilidad. Fuente: Propia.

Figura 60. Análisis Cualitativo. Fuente: Propia.

En los gráficos anteriores se observa que según las pruebas realizadas en laboratorio las mezclas con mejor puntaje fueron la M2 y la M7, obteniendo el mayor puntaje en comparación con las demás mezclas. Estas fueron elegidas como mezclas óptimas por sus resultados en permeabilidad y resistencia. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: Para la M2, trabajabilidad= buena, resistencia a la compresión a los 28 días = 195.67 kg/cm², MR = 19.42 kg/cm², % de vacíos = 15.8 %, Ts= 0.39 cm/s y costo= S/. 96.44 el m²; y para el M7, trabajabilidad= buena, resistencia a la compresión a los 28 días = 211.50 kg/cm², MR = 20.79 kg/cm², % de vacíos = 15.8 %, Ts = 0.31 cm/s y costo = S/. 97.03 el m².

9. CONCLUSIONES

En este capítulo se detallarán las conclusiones que se han obtenido en la presente investigación, las cuales se especificaran por objetivo.

Objetivo N° 01: Diseñar mezclas de concretos permeables con la incorporación de cementos adicionados, aditivos superplastificantes-retardantes, y agregado grueso huso 7 y 67.

- La adición de agregado fino en las mezclas aumentó la resistencia a la compresión afectando de baja manera la permeabilidad. Agregando en los diseños de mezcla del Huso 7 un 3% de agregado fino aumenta, en promedio, 8% la resistencia y con 5%, aumenta 11%. Además, en el Huso 67 aumenta en promedio, 4% y 5% respectivamente.
- El uso de aditivos retardantes y plastificantes no son suficientes para llegar a buenas resistencias. Es importante, agregar aditivos que ayuden a mejorar la adherencia entre el mortero y la pasta.
- El agregado grueso de Huso 67 no se adhirió a la pasta como se esperaba. Por lo que se concluyó que utilizar agregados menores como el Huso 7 otorga mejores resultados en este tipo de concretos.

Objetivo N° 02: Estudiar el comportamiento de los concretos permeables en estado fresco y endurecido a escala de laboratorio.

- Relaciones a/c menores a 0.29 no se logra una trabajabilidad y fluidez adecuada con los aditivos superplastificantes y plastificantes empleados.
- En estado fresco, se obtuvo slumps entre 0 a 3 pulgadas; en donde, las mezclas con relación agua/cemento igual a 0.32 presentaron mejor fluidez y mejor desempeño al momento de realizar la “prueba del guante”.
- En estado endurecido, se concluye que los diseños de mezclas del Huso 7 obtuvieron mayores resistencias a la compresión que las del huso 67. En el tipo I obtuvieron un 22.60% más, en el tipo II un 25.75% y en el tipo III un 26.86%. La mayor resistencia a la compresión la obtuvo el diseño de mezcla M8 (a/c = 0.29)

: 214.41 kg/cm² en la cual se agregó 3% de agregado fino y la menor fue la M12 (a/c = 0.27) : 121.83 kg/cm² en la cual se agregó 5% de agregado fino.

Objetivo N° 03: Comparar los resultados obtenidos en estado fresco y endurecido de los diferentes diseños de mezcla de concreto permeable, en términos de resistencia, MR y permeabilidad

- Dos diseños de concreto permeable de resistencia $f'c$ 175 kg/cm² a los 28 días con contenido de cemento de 416 y 430 kg/m³ y relación a/c de 0.29 y 0.32 respectivamente fueron posibles concebir para los pavimentos drenantes a utilizarse en estacionamientos de hospitales.
- El valor ideal de fluidez para estos diseños fue de 2 1/2", con un % de vacíos promedio de 15% y Modulo de Rotura de 20 kg/cm² y 22 kg/cm², y permeabilidad entre 0.39 y 0.31 cm/s.
- Según los estudios realizados, se determinó que el concreto permeable alcanza el 80% de su resistencia a la compresión a los 7 días de curado. Además, nos percatamos que al igual que en el concreto convencional, el módulo de rotura es un porcentaje de la resistencia a la compresión, en este caso el porcentaje obtenido fue del 10% del $f'c$.
- Se determinó que los diseños de mezcla del huso 67 obtuvieron mayor permeabilidad que los del huso 7. En el Tipo I un 14.10% más, en el Tipo II un 22.06% y en el tipo III un 25.97%. Concluyéndose que este aumento se debe al tamaño máximo nominal y angularidad del agregado grueso. Además, se concluyó con el permeabilímetro de carga constante que esta tasa es muy buena para el caudal máximo histórico de Arequipa.

Objetivo N° 04: Realizar un análisis comparativo costo-beneficio para elección de las mezclas optimizadas frente al sistema convencional.

- El costo directo por m² de la construcción de la capa de rodadura de concreto permeable es muy similar al convencional. Sin embargo, para la elaboración del pavimento drenante, representa un ahorro del 10% con respecto al convencional.

- Se concluye que es factible utilizar el concreto permeable como capa de rodadura en estacionamientos de Hospitales en la ciudad de Arequipa, cumpliendo con la Norma Peruana CE.010 Pavimentos urbanos, así como también exigencias mecánicas y de performance.
- Según la propuesta presentada, se concluye que el concreto permeable generará un beneficio económico y social. Dado que mejorará las condiciones de seguridad de la población frente a inundaciones en los Hospitales a un costo similar al del concreto convencional.

10. RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se establecerán recomendaciones que se deben considerar la elaboración de diseños de mezclas de concreto permeable.

Objetivo N° 01: Diseñar mezclas de concretos permeables con la incorporación de cementos adicionados, aditivos superplastificantes-retardantes, y agregado grueso huso 7 y 67.

- Para obtener una buena trabajabilidad e hidratación del cemento en los diseños de mezcla con relación agua/ cemento menores a 0.29, se recomienda probar con aditivos hiper plastificantes.
- Para lograr optimizar los valores obtenidos de resistencia a la compresión, se recomienda utilizar propuestas con cemento HS (20% de puzolana). Es importante mencionar que esto no alterará de manera significativa los niveles de permeabilidad obtenidos en la investigación.
- A pesar de que la norma de concretos permeables del ACI permite un agregado grueso de 3/4" se optó por no utilizarlo debido a que en laboratorio se observó un acabado no adecuado.

Objetivo N° 02: Estudiar el comportamiento de los concretos permeables en estado fresco y endurecido a escala de laboratorio.

- Se recomienda recurrir a las normativas vigentes al momento de realizar los ensayos en estado fresco y endurecido. Para los ensayos realizados en esta investigación, se utilizó las normas del concreto convencional, puesto que no existe normativa para la realización de ensayos en concreto permeable, esto además permitió tener una mejor comparación de resultados.
- Se recomienda utilizar accesorios metálicos planos para conseguir un buen enrasado en la parte superior de las probetas.

- Debido a las bajas relaciones agua/cemento características de este tipo de concreto, se recomienda trabajar siempre con aditivos superplastificantes y retardantes para lograr la trabajabilidad deseada.

Objetivo N° 03: Comparar los resultados obtenidos en estado fresco y endurecido de los diferentes diseños de mezcla de concreto permeable, en términos de resistencia, MR y permeabilidad.

- Se recomienda evaluar y analizar la adición de 10% y 20 % de agregado fino, a fin de mejorar la adherencia entre la pasta y el agregado grueso, y las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y flexión).
- Se recomienda seguir con las pruebas a pesar de obtener resultados no satisfactorios para así comprobar diferentes escenarios con todas las pruebas completas.
- Las comparaciones realizadas fueron a escala laboratorio. Futuras investigaciones deberían hacerlo a escala real (un paño o tramo de una vía) para así comprobar los valores reales de las propiedades.

Objetivo N° 04: Realizar un análisis comparativo costo-beneficio para elección de las mezclas optimizadas frente al sistema convencional.

- Los precios unitarios mostrados en la presente investigación fueron extraídos de la revista de Costos. Por lo que sería interesante consultar con proveedores o empresas sobre costos del mercado actual.
- Se recomienda comparar este tipo de concreto con otro concreto no convencional del mercado para saber si es el más factible a utilizar para resolver el problema de las inundaciones en los Hospitales de Arequipa.
- Se recomienda siempre incluir el costo de mantenimiento al comparar este tipo de concreto, ya que puede variar mucho si no se le incluye y, a la vez, los resultados obtenidos no serían reales.

11. REFERENCIAS

- American Concrete Institute (ACI). (2010). ACI 522R. Report on Pervious Concrete.
- American Concrete Institute (ACI). (2005). ACI 301. Specifications for Structural Concrete.
- American Society of Testing Materials (ASTM). (2007). ASTM C29/29M. Método de ensaye estándar para determinar la densidad en masa (peso unitario) e índice de huecos en los agregados.
- American Society of Testing Materials (ASTM). (2007). ASTM C33. Historical Standard: Especificación Normalizada de Agregados para Concreto.
- American Society of Testing Materials (ASTM). (2007). ASTM C39. Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.
- American Society of Testing Materials (ASTM). (2013). ASTM C42/42M. Historical Standard: Método Normalizado de Ensayo de Obtención y Ensayo de Núcleos Perforados y Vigas Aserradas de Concreto.
- American Society of Testing Materials (ASTM). (2003). ASTM C43. Historical Standard: Especificación Normalizada de Agregados para Concreto.
- American Society of Testing Materials (ASTM). (2015). ASTM C78. Historical Standard: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto.
- American Society of Testing Materials (ASTM). (2008). ASTM C494/C494M. Historical Standard: Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto.
- American Society of Testing Materials (ASTM). (2019). ASTM C136. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

- American Society of Testing Materials (ASTM). (2019). ASTM C138. Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado de Densidad (Peso Unitario), Rendimiento, y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto

- American Society of Testing Materials (ASTM). (2015). ASTM C143. Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico.

- American Society of Testing Materials (ASTM). (2007). ASTM C150. Historical Standard: Especificación Normalizada para Cemento Portland.

- American Society of Testing Materials (ASTM). (2017). ASTM D448. Standard Classification for Sizes of Aggregate for Road and Bridge Construction.

- American Society of Testing Materials (ASTM). (2014). ASTM 1688. Standard Test Method for Density and Void Content of Freshly Mixed Pervious Concrete.

- Andina. (25 de febrero de 2017). SENAMHI: Lluvias en Arequipa continuarán hasta el 28 de febrero [Fotografía]. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-senamhi-lluvias-arequipa-continuaran-hasta-28-febrero-655616.aspx> [Consulta: 07 de marzo de 2020].

- Benites, J. (2014). *Características físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregados de la cantera Río Jequetepeque y el aditivo Chemaplast*. (Tesis de titulación, Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú).

- Cacya, L., Meza, P., Carlotto, V., & Mamani, L. (2013). *Aluvión del 8 de febrero del 2013 en la ciudad de Arequipa*. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.

- Cementos Argos. (2014). Concreto permeable: Desarrollo urbano de bajo impacto [Fotografía]. Recuperado de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-permeable-desarrollo-urbano-de-bajo-impacto> [Consulta: 07 de marzo de 2020].

- CEMEX (09 de septiembre del 2016). Foto: Pista todoterreno en el club internacionalmente reconocido Saint-Etienne BMX. [Fotografía]. Recuperado de: <https://www.cemex.com/es/-/cemex-provides-pervious-concrete-solution-for-all-weather-all-terrain-bmx-track-in-france> [Consulta: 13 de marzo del 2020].

- Cleanzine. (22 de marzo del 2013). Surface cleaning the green way [Fotografía]. Recuperado de: http://www.thecleanzine.com/pages/3190/surface_cleaning_the_green_wayliability_and_risk_management_does_it_make_cents/ [Consulta: 13 de marzo del 2020].

- Concrete Decor (8 de febrero del 2010). Pretty and Pervious: Decorative Options for Pervious Concrete. Recuperado de <https://www.concretedecor.net/decorative-concretearticles/vol-10-no-2-februarymarch-2010/decorative-options-for-pervious-concrete/> [Consulta: 12 de marzo del 2020].

- Cruz, C., Segovia, A., Gonzáles, M., Lizárraga, L., Olgúin, F., & Rangel, Y. (2014). *Diseño de un concreto permeable para la recuperación de agua*. México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

- Diario Correo. (8 de febrero de 2014). El aluvión del 8 de febrero. *Diario Correo*. Recuperado de <https://diariocorreo.pe/peru/el-aluvion-del-8-de-febrero-fotos-51126/?ref=dcr> [Consulta: 07 de marzo de 2020].

- Fernández, J., & Benites, A. (2003). *Estudio: Inundaciones en la localidad de Arequipa ocasionadas por el ingreso de las torrenceras*. Lima: Instituto Nacional de Defensa Civil.

- García, E. (2011). *Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación en clinas mediterráneos*. (Tesis de magister, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España).

- Google Maps (2018). Fotografía del estacionamiento del Hospital Regional Honorio Delgado Espinoza [Fotografía]. Recuperado de <https://www.google.com/maps/place/Hospital+Regional+Honorio+Delgado+Es>

pinoza/@-16.4155518,-
71.5352107,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x91424ae4cd919067:0xab84b9bd
3dadadb0!8m2!3d-16.415557!4d-71.533022 [Consulta: 07 de marzo de 2020].

- Haselbach, L., Pasa, V., Schwetz, P., & Pinto, L. (2016). *Laboratory evaluations of long-term hydraulic performance and maintenance requirements for pervious concrete mixes: A case study in Southern Brazil*. Brasil: Transportation Research Board.
- Iagua. (21 de marzo de 2017). Las inundaciones en Perú afectan a 600.000 personas [Fotografía]. Recuperado de <https://www.iagua.es/noticias/peru/ep/17/03/21/inundaciones-peru-afectan-600000-personas> [Consulta: 07 de marzo de 2020].
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2018). *Resolución Ministerial N° 322-2018-PCM*. Lima: INDECI. Recuperado de https://www.indeci.gob.pe/images/files/RM_N_322-2018-PCM.pdf [Consulta: 07 de marzo de 2020].
- Kevern, Jhon T. (2010). *Operation and maintenance of pervious concrete pavements*. Journal of testing and evaluation, 1-17.
- Ministerio de Salud (MINSA). (2015). *Minsa continúa con la respuesta sanitaria frente a las emergencias por inundaciones en el país*. Lima: MINSA. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/30762-minsa-continua-con-la-respuesta-sanitaria-frente-a-las-emergencias-por-inundaciones-en-el-pais> [Consulta: 07 de marzo de 2020].
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2010). Normatividad para edificaciones bioclimáticas en el Perú [Mapa]. Recuperado de <http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/tallares/pasco/CONSTRUCCION%20BIOCLIMATICA%20Y%20EFICIENCIA%20ENERGETICA.pdf> [Consulta: 05 de marzo de 2020].

- M. Uma Magesvari , V.L. Narasimha (2013). Studies on Characterization of Pervious Concrete for Pavement Applications. Social and behavior sciences, 104, 198-207.

- Norma Técnica Peruana (NTP). (2017). NTP 185. Ensayo de Humedad.

- Norma Técnica Peruana (NTP). (2013). NTP 334.090. Cementos Portland Adicionados.

- Obando, C. (2017). *Influencia del agua en el desempeño de los pavimentos: lluvia ácida*. Colombia: Fundación Universitaria Agraria de Colombia.

- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2010). *Informe de inundaciones en Perú*. Lima: OPS. Recuperado de https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=peru&alias=1470-informe-ops-inundaciones-peru-29-de-enero-de-2010&Itemid=1179&lang=es [Consulta: 07 de marzo de 2020].

- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2010). *Informe de inundaciones en Perú*. [Tabla]. Recuperado de https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=peru&alias=1470-informe-ops-inundaciones-peru-29-de-enero-de-2010&Itemid=1179&lang=es [Consulta: 07 de marzo de 2020].

- Pan American Health Organization (PAHO). (2013). *Lluvias intensas ocasionan inundaciones y deslaves en la región*. Lima: PAHO. Recuperado de https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_content&view=article&id=1743:heavy-rains-produce-floods-and-landslides-in-the-region&Itemid=1178&lang=es [Consulta: 07 de marzo de 2020].

- Pan American Health Organization (PAHO). (2017). *Emergencia por impacto del Fenómeno “El Niño Costero – Perú, 2017*. Lima: PAHO. Recuperado de https://www.paho.org/per/index.php?option=com_content&view=article&id=3710:emergencia-por-impacto-del-fenomeno-el-nino-costero-2017-peru&Itemid=1060 [Consulta: 07 de marzo de 2020].

- Tennis, P., Leming, M., & Akers, D. (2004). *Pervious Concrete Pavement*. Estados Unidos: Procedia – Social and behavioral sciences.

- Perú 21. (9 de febrero de 2013). Arequipa soporto ayer lluvia histórica [Fotografía]. Recuperado de <https://peru21.pe/lima/arequipa-soporto-ayer-lluvia-historica-92254-noticia/> [Consulta: 07 de marzo de 2020].

- Rahman, S., Nørthmore, A., Henderson, V., & Tighe, S. (2015). *Developing a framework for low-volume road implementation of pervious concrete pavements*. Canadá: Transportation Science and Technology.

- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). (2010). *Norma CE.010 Pavimentos Urbanos*. Lima: SENCICO. Recuperado de <http://sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230> [Consulta: 08 de marzo de 2020].

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2013). *Descarga de datos Meteorológicos a nivel nacional*. Lima: SENAMHI. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos> [Consulta: 05 de marzo de 2020].

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2013). *Descarga de datos Meteorológicos a nivel nacional*. [Tabla]. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos> [Consulta: 07 de marzo de 2020].

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2017). *Descarga de datos Meteorológicos en Arequipa* [Gráfico]. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=arequipa&p=descarga-datos-hidrometeorologicos> [Consulta: 07 de marzo de 2020].

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2018). *Mapa Climático del Perú*. Lima: SENAMHI. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru> [Consulta: 05 de marzo de 2020].

- Sika Perú (2019). *Hoja de datos del producto Sika Plastiment TM-12*. Lima: Sika Perú. Recuperado de https://per.sika.com/es/soluciones-y-productos/mercados_sika/sika-aditivos-concreto/productos-aditivos-para-concreto/aditivos-concreto-premezclado/premezclado-retardante-fragua.html [Consulta: 08 de marzo de 2020].

- Sika Perú (2019). *Hoja de datos del producto Sika Latex*. Lima: Sika Perú. Recuperado de https://per.sika.com/es/soluciones-y-productos/mercados_sika/soluciones-sika-reparacion/productos-para-reparacion-y-proteccion-de-estructuras-de-concreto/puente-adherencia-acrilico.html [Consulta: 08 de marzo de 2020].

- Sika Perú (2019). *Hoja de datos del producto Sika ViscoCrete - 3330* Lima: Sika Perú. Recuperado de https://per.sika.com/es/soluciones-y-productos/mercados_sika/sika-aditivos-concreto/productos-aditivos-para-concreto/aditivos-concreto-premezclado/premezclado-superplastificantes-concreto.html [Consulta: 08 de marzo de 2020].

- Sistema Electrónico de Contrataciones del Estado (SEACE). (2004). Procesos programados para el año 2004 del departamento de Arequipa [Mapa]. Recuperado de http://app.seace.gob.pe/mon/ProcesoReporteGrafPb.jsp?tipo_cons=1&dep_codigo=04&tipo_cons_sub=3&anhoentidad=2004&anho_rep= [Consulta: 07 de marzo de 2020].

- Simonova, A. (2017). *Evaluation of Functional Safety of Cement Concrete and Composite Pavements Exposed to Weather Conditions*. Rusia: Transportation Research Procedia.

- Tarmac (2015). Asfalto absorbente, la solución a las inundaciones en la ciudad [Fotografía]. Recuperado de <https://www.unocero.com/noticias/asfalto-absorbente-perfecto-para-las-lluvias/> [Consulta: 07 de marzo de 2020].

- Uma, M., & Narasimha, V. (2013). *Studies on Characterization of pervious concrete for pavement applications*. India: Procedia – Social and behavioral sciences.

- Unicon (2016). Concreto sostenible: Permeable para pisos exteriores [Fotografía]. Recuperado de <https://www.archdaily.pe/catalog/pe/products/8901/concreto-sostenible-permeable-para-pisos-exteriores-unicon/82666> [Consulta: 07 de marzo de 2020].

- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (2015). *Concreto hidráulico permeable, una alternativa para la recarga de los mantos acuíferos del valle de México*. México: UNAM. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/529/A7.pdf?sequence=7> [Consulta: 08 de marzo de 2020].

- Washington State Department of Transportation (2017). Preliminary study to develop standard acceptance tests for pervious concrete [Gráfico]. Recuperado de <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/868.1.pdf> [Consulta: 07 de marzo de 2020].

- Zuñiga, A. [americozuniga]. (4 de enero de 2017). En esta unidad deportiva, Xapala estrena una vitapista de concreto permeable con caucho amortiguante, canchas deportivas y ejercitadores. [Fotografía]. Recuperado de <https://twitter.com/americozuniga/status/816793720653746176> [Consulta: 07 de marzo de 2020].

12. ANEXOS

12.1 Anexo 1 - Ficha Técnica del Hospital Honorio Delgado

PERÚ		Ministerio de Salud		Dirección General de Infraestructura, Equipamiento y Mantenimiento		DGIEM																																					
FICHA TECNICA DE ESTABLECIMIENTO DE SALUD																																											
1. DATOS GENERALES:																																											
Nombre del Establecimiento de Salud:		HOSPITAL REGIONAL HONORIO DELGADO																																									
Categoría del EESS	III - 1	Código RENAES	0001231	Ubicación (Av. Jr. Pje. Calle)		Av. Daniel Alóides Carrón N° 506																																					
Centro Poblado Localidad:	Arequipa	Distrito:	Arequipa	Provincia:	Arequipa	Región:																																					
Micro Red		Red		Dirección	Gerencia Regional de Salud																																						
Área geográfica (Marcar la Rpta. con X)		Región geográfica (Marcar la Rpta. con X)		Años de funcionamiento:		54																																					
☒ Urbana ☐ Rural		☐ Costa ☒ Sierra ☐ Selva																																									
Foto panorámica del EESS y su espacio libre
		Características del terreno (Marcar la Rpta. con X) <table border="1"> <tr> <td>Si</td> <td>No</td> <td>Área del terreno (M2)</td> <td>120.000</td> </tr> <tr> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>Área construida (M2)</td> <td>87.000</td> </tr> <tr> <td>☒</td> <td>☐</td> <td>Área libre (M2)</td> <td>108.000</td> </tr> </table>						Si	No	Área del terreno (M2)	120.000	☒	☐	Área construida (M2)	87.000	☒	☐	Área libre (M2)	108.000																								
Si	No	Área del terreno (M2)	120.000																																								
☒	☐	Área construida (M2)	87.000																																								
☒	☐	Área libre (M2)	108.000																																								
		El terreno es propio ☒ ☐ El terreno cuenta con saneamiento físico/legal ☒ ☐ La superficie del terreno es: <table border="1"> <tr> <td>Vulnerable a:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Piso</td> <td>☒</td> <td>Cauze de río</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Inclinada</td> <td>☐</td> <td>Inundable</td> <td>☒</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Huayco</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Arenoso</td> <td>☐</td> </tr> </table>						Vulnerable a:				Piso	☒	Cauze de río	☐	Inclinada	☐	Inundable	☒			Huayco	☐			Arenoso	☐																
Vulnerable a:																																											
Piso	☒	Cauze de río	☐																																								
Inclinada	☐	Inundable	☒																																								
		Huayco	☐																																								
		Arenoso	☐																																								
Croquis del terreno				Población <table border="1"> <tr> <td>Población actual de la Región</td> <td>1.281.848</td> </tr> <tr> <td>Población actual del distrito</td> <td>54.914</td> </tr> <tr> <td>Población extranjera</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Densidad Poblacional</td> <td>20,39</td> </tr> </table>				Población actual de la Región	1.281.848	Población actual del distrito	54.914	Población extranjera		Densidad Poblacional	20,39																												
Población actual de la Región	1.281.848																																										
Población actual del distrito	54.914																																										
Población extranjera																																											
Densidad Poblacional	20,39																																										
		Personal del EESS <table border="1"> <tr> <td>N° de Médicos</td> <td>227</td> <td>N° Asist. Social</td> <td>18</td> <td>N° de Otros (Especificar)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N° de Obstetras</td> <td>27</td> <td>N° Técnicos</td> <td>380</td> <td>N° Profesionales Administrativos</td> <td>47</td> </tr> <tr> <td>N° de Odontólogos</td> <td>4</td> <td>N° Auxiliares</td> <td>144</td> <td>N° Otros profesionales asistenciales</td> <td>170</td> </tr> <tr> <td>N° de Enfermeros</td> <td>332</td> <td>N° Choferes</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>N° de Quím-Farm.</td> <td>18</td> <td>Tec. Operador</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>N° de Nutricionistas</td> <td>8</td> <td>Tec. Administ.</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						N° de Médicos	227	N° Asist. Social	18	N° de Otros (Especificar)		N° de Obstetras	27	N° Técnicos	380	N° Profesionales Administrativos	47	N° de Odontólogos	4	N° Auxiliares	144	N° Otros profesionales asistenciales	170	N° de Enfermeros	332	N° Choferes				N° de Quím-Farm.	18	Tec. Operador	4			N° de Nutricionistas	8	Tec. Administ.	100		
N° de Médicos	227	N° Asist. Social	18	N° de Otros (Especificar)																																							
N° de Obstetras	27	N° Técnicos	380	N° Profesionales Administrativos	47																																						
N° de Odontólogos	4	N° Auxiliares	144	N° Otros profesionales asistenciales	170																																						
N° de Enfermeros	332	N° Choferes																																									
N° de Quím-Farm.	18	Tec. Operador	4																																								
N° de Nutricionistas	8	Tec. Administ.	100																																								
Accesibilidad (Marcar la Rpta. con X)		Distancia y tiempo de acceso de su EESS al de mayor categoría más cercano																																									
Asfaltada ☒ Trocha carrozable ☐ Camino peatonal ☐ Vía terrestre ☒ Vía fluvial ☐ Vía terrestre ☐		<table border="1"> <tr> <td>Distancia (Km)</td> <td>Tiempo (hora)</td> <td>Categoría del EESS más cercano</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>EESS más cercano de mayor categoría</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hospital de referencia más cercano</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Distancia (Km)	Tiempo (hora)	Categoría del EESS más cercano				EESS más cercano de mayor categoría			Hospital de referencia más cercano																										
Distancia (Km)	Tiempo (hora)	Categoría del EESS más cercano																																									
EESS más cercano de mayor categoría																																											
Hospital de referencia más cercano																																											
2. DATOS DE INFRAESTRUCTURA: (Marcar la Rpta. en los recuadros que corresponde con X)																																											
Material predominante				Instalaciones Eléctricas																																							
<table border="1"> <tr> <td>Techo:</td> <td>Pared:</td> <td>Piso:</td> </tr> <tr> <td>Losa aligerada ☒</td> <td>Ladrillo - Cemento ☒</td> <td>Vinílico ☒</td> </tr> <tr> <td>Columna o Esmeril ☐</td> <td>Adobe o Tapial ☐</td> <td>Cemento ☐</td> </tr> <tr> <td>Otro (Especificar) _____</td> <td>Otro (Especificar) _____</td> <td>Otro (Especificar) _____</td> </tr> </table>				Techo:	Pared:	Piso:	Losa aligerada ☒	Ladrillo - Cemento ☒	Vinílico ☒	Columna o Esmeril ☐	Adobe o Tapial ☐	Cemento ☐	Otro (Especificar) _____	Otro (Especificar) _____	Otro (Especificar) _____	<table border="1"> <tr> <td>Si</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Alimentador eléctrico ☒</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Tablero general ☒</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Poco a tierra ☒</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Grupo electrógeno ☒</td> <td>☐</td> </tr> </table>				Si	No	Alimentador eléctrico ☒	☐	Tablero general ☒	☐	Poco a tierra ☒	☐	Grupo electrógeno ☒	☐														
Techo:	Pared:	Piso:																																									
Losa aligerada ☒	Ladrillo - Cemento ☒	Vinílico ☒																																									
Columna o Esmeril ☐	Adobe o Tapial ☐	Cemento ☐																																									
Otro (Especificar) _____	Otro (Especificar) _____	Otro (Especificar) _____																																									
Si	No																																										
Alimentador eléctrico ☒	☐																																										
Tablero general ☒	☐																																										
Poco a tierra ☒	☐																																										
Grupo electrógeno ☒	☐																																										
Cuenta con agua Red pública ☒ Piletas ☐ Pozo ☐ Cisterna ☐ Otro (Especificar) _____				Cuenta con desagüe Red pública ☒ Sifo ☐ Otro (Especificar) _____																																							
Cuenta con drenaje de aguas pluviales Si ☒ No ☐ Otro (Especificar) _____				Cuenta con Redes de Comunicación Si No Teléfono ☒ ☐ Internet ☒ ☐ Radio ☒ ☐ MÓDULO: Número de camas <input type="text" value="080"/>																																							
Datos del Responsable del llenado de la ficha <table border="1"> <tr> <td>Nombre y Apellidos:</td> <td>Blanca Rivera Delgado</td> </tr> <tr> <td>Orgen:</td> <td>Directora Ejecutiva de Planeamiento y Presupuesto</td> </tr> <tr> <td>Teléfono fijo:</td> <td>054 - 231818 Anexo 214</td> </tr> <tr> <td>Teléfono Móvil:</td> <td>952714915</td> </tr> <tr> <td>Correo electrónico:</td> <td>blarido@hotmail.com</td> </tr> <tr> <td>Fecha:</td> <td>04/09/2014</td> </tr> </table>								Nombre y Apellidos:	Blanca Rivera Delgado	Orgen:	Directora Ejecutiva de Planeamiento y Presupuesto	Teléfono fijo:	054 - 231818 Anexo 214	Teléfono Móvil:	952714915	Correo electrónico:	blarido@hotmail.com	Fecha:	04/09/2014																								
Nombre y Apellidos:	Blanca Rivera Delgado																																										
Orgen:	Directora Ejecutiva de Planeamiento y Presupuesto																																										
Teléfono fijo:	054 - 231818 Anexo 214																																										
Teléfono Móvil:	952714915																																										
Correo electrónico:	blarido@hotmail.com																																										
Fecha:	04/09/2014																																										

12.2 Anexo 2 – Sección Típica del Hospital Honorio Delgado

12.3 Anexo 3 - Diseño de mezcla finales

Resumen de Diseño de Mezcla 1 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	396.688	0.139
Agua	126.940	0.127
Agregado Grueso Huso 7	1578.83	0.580
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.190	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.388	0.001
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 2 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	416.338	0.146
Agua	120.738	0.121
Agregado Grueso Huso 7	1576.77	0.579
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.249	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.665	0.002
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 3 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	430.892	0.151
Agua	116.341	0.116
Agregado Grueso Huso 7	1573.59	0.578
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.293	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.939	0.002
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 4 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	411.466	0.144
Agua	131.669	0.132
Agregado Grueso Huso 7	1506.79	0.553
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.234	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.440	0.001
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 5 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	430.246	0.151
Agua	124.771	0.125
Agregado Grueso Huso 7	1504.82	0.553
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.291	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.721	0.002
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 6 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	443.639	0.156
Agua	119.783	0.120
Agregado Grueso Huso 7	1504.820	0.553
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.331	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.996	0.002
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 7 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	430.677	0.151
Agua	137.817	0.138
Agregado Grueso Huso 7	1442.03	0.530
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.292	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.507	0.001
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 8 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	450.334	0.158
Agua	130.597	0.131
Agregado Grueso Huso 7	1440.300	0.529
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.351	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.801	0.002
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 9 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	465.946	0.163
Agua	125.805	0.126
Agregado Grueso Huso 7	1437.84	0.528
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.398	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	2.097	0.002
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 10 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	371.565	0.130
Agua	118.901	0.119
Agregado Grueso Huso 67	1626.64	0.597
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.115	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.300	0.001
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 11 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	388.524	0.136
Agua	112.672	0.113
Agregado Grueso Huso 67	1626.15	0.597
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.166	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.554	0.001
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 12 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	400.619	0.141
Agua	108.167	0.108
Agregado Grueso Huso 67	1625.98	0.597
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.202	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.803	0.002
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 13 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	387.821	0.136
Agua	124.103	0.124
Agregado Grueso Huso 67	1548.06	0.569
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.163	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.357	0.001
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 14 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	405.522	0.142
Agua	117.601	0.118
Agregado Grueso Huso 67	1547.59	0.568
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.217	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.622	0.002
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 15 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	418.145	0.147
Agua	112.899	0.113
Agregado Grueso Huso 67	1547.28	0.568
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.254	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.882	0.002
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 16 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	408.510	0.143
Agua	130.723	0.131
Agregado Grueso Huso 67	1480.93	0.544
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.226	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.430	0.001
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 17 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	425.610	0.149
Agua	123.427	0.123
Agregado Grueso Huso 67	1482.72	0.545
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.277	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.702	0.002
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

Resumen de Diseño de Mezcla 18 (Pesos/m³).

Material	Peso (kg)	Volumen (m³)
Cemento Yura T - IP	438.859	0.154
Agua	118.492	0.118
Agregado Grueso Huso 67	1483.32	0.545
Sika Plastiment TM 12 (Ret. Plast)	1.317	0.001
Sika Viscocrete 3330 (Sup. Plast)	1.975	0.002
Sika Latex (Mej. Adh.)	1.600	0.002
Aire		0.1500
Total		1.0000

12.4 Anexo 4 – Costo por metro cuadrado de los concretos permeables propuestos

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 1

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.4	17.37	24.319
Agua	m ³	0.019	0.95	0.018
Arena	kg	0	0.0161	0
Piedra	kg	236.824	0.0119	2.818
RP	litro	0.179	2.434	0.434
SP	litro	0.208	11.832	2.464
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				32.391

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 2

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.469	17.37	25.524
Agua	m ³	0.018	0.95	0.017
Arena	kg	0	0.016	0
Piedra	kg	236.515	0.012	2.815
RP	litro	0.187	2.434	0.456
SP	litro	0.25	11.832	2.956
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				34.104

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 3

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.521	17.37	26.416
Agua	m ³	0.017	0.95	0.017
Arena	kg	0	0.016	0
Piedra	kg	236.039	0.012	2.809
RP	litro	0.194	2.434	0.472
SP	litro	0.291	11.832	3.441
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				35.492

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 4

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.452	17.37	25.225
Agua	m ³	0.02	0.95	0.019
Arena	kg	6.99	0.016	0.113
Piedra	kg	226.018	0.012	2.69
RP	litro	0.185	2.434	0.451
SP	litro	0.216	11.832	2.556
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				33.39

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 5

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.519	17.37	26.377
Agua	m ³	0.019	0.95	0.018
Arena	kg	6.981	0.016	0.112
Piedra	kg	225.724	0.012	2.686
RP	litro	0.194	2.434	0.471
SP	litro	0.258	11.832	3.054
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				35.055

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 6

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.566	17.37	27.198
Agua	m ³	0.018	0.95	0.017
Arena	kg	6.981	0.016	0.112
Piedra	kg	225.724	0.012	2.686
RP	litro	0.2	2.434	0.486
SP	litro	0.299	11.832	3.543
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				36.379

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 7

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.52	17.37	26.403
Agua	m ³	0.021	0.95	0.02
Arena	kg	11.384	0.016	0.183
Piedra	kg	216.304	0.012	2.574
RP	litro	0.194	2.434	0.472
SP	litro	0.226	11.832	2.675
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				34.664

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 8

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.589	17.37	27.608
Agua	m ³	0.02	0.95	0.019
Arena	kg	11.371	0.016	0.183
Piedra	kg	216.044	0.012	2.571
RP	litro	0.203	2.434	0.493
SP	litro	0.27	11.832	3.197
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				36.408

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 9

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.645	17.37	28.565
Agua	m ³	0.019	0.95	0.018
Arena	kg	11.351	0.016	0.183
Piedra	kg	215.676	0.012	2.567
RP	litro	0.21	2.434	0.51
SP	litro	0.315	11.832	3.721
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				37.901

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 10

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.311	17.37	22.779
Agua	m ³	0.018	0.95	0.017
Arena	kg	0	0.016	0
Piedra	kg	243.996	0.012	2.904
RP	litro	0.167	2.434	0.407
SP	litro	0.195	11.832	2.308
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				30.752

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 11

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.371	17.37	23.819
Agua	m ³	0.017	0.95	0.016
Arena	kg	0	0.016	0
Piedra	kg	243.922	0.012	2.903
RP	litro	0.175	2.434	0.426
SP	litro	0.233	11.832	2.758
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				32.258

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 12

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.414	17.37	24.56
Agua	m ³	0.016	0.95	0.015
Arena	kg	0	0.016	0
Piedra	kg	243.898	0.012	2.902
RP	litro	0.18	2.434	0.439
SP	litro	0.27	11.832	3.2
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				33.453

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 13

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.369	17.37	23.776
Agua	m ³	0.019	0.95	0.018
Arena	kg	7.182	0.016	0.116
Piedra	kg	232.209	0.012	2.763
RP	litro	0.175	2.434	0.425
SP	litro	0.204	11.832	2.409
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				31.843

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 14

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.431	17.37	24.861
Agua	m ³	0.018	0.95	0.017
Arena	kg	7.18	0.016	0.116
Piedra	kg	232.139	0.012	2.762
RP	litro	0.182	2.434	0.444
SP	litro	0.243	11.832	2.879
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				33.416

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 15

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.476	17.37	25.635
Agua	m ³	0.017	0.95	0.016
Arena	kg	7.178	0.016	0.116
Piedra	kg	232.093	0.012	2.762
RP	litro	0.188	2.434	0.458
SP	litro	0.282	11.832	3.34
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				34.663

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 16

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.442	17.37	25.044
Agua	m ³	0.02	0.95	0.019
Arena	kg	11.692	0.016	0.188
Piedra	kg	222.14	0.012	2.643
RP	litro	0.184	2.434	0.447
SP	litro	0.214	11.832	2.538
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				33.216

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 17

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.502	17.37	26.092
Agua	m ³	0.019	0.95	0.018
Arena	kg	11.706	0.016	0.188
Piedra	kg	222.408	0.012	2.647
RP	litro	0.192	2.434	0.446
SP	litro	0.255	11.832	3.021
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				34.77

Costo Directo de 1 m² de concreto permeable - M 18

Material	Und	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	bls	1.549	17.37	26.905
Agua	m ³	0.018	0.95	0.017
Arena	kg	11.71	0.016	0.189
Piedra	kg	222.497	0.012	2.648
RP	litro	0.197	2.434	0.481
SP	litro	0.296	11.832	3.505
Mej. Adh.	litro	0.24	9.737	2.337
Total S/.				36.08