UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Propuesta de diseño de pavimento drenante para la captación de agua de
lluvias en zonas urbanas del norte del Perú

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Esquerre Garcia, Michell Mauricio (0000-0001-8699-7603)

Silva Silva, Hector Williams (0000-0002-2285-5654)

ASESOR

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

Lima, 10 de marzo del 2019

DEDICATORIA

Este proyecto de tesis está dedicado a las personas que influenciaron en nuestras vidas, en especial a nuestros padres, hermanos y abuelos, porque en ningún momento dejaron de brindarnos los mejores consejos, guiándonos y haciéndonos personas de bien, con todo nuestro cariño y afecto les dedicamos este proyecto de investigación

AGRADECIMIENTOS

A nuestra institución, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas - UPC, por habernos brindado la oportunidad de escalar un peldaño más, en el campo del conocimiento.

A nuestro estimado Asesor de Tesis, Ing. Cristian Sotomayor Cruz, por el apoyo incesante en la elaboración y concepción de nuestro proyecto.

Al laboratorio de nuestra institución, así como también a los técnicos, por su apoyo constante y colaboración en la ejecución de este trabajo.

Al jefe de la cantera Flor de Nieve, Henry Palacín, por la donación de los agregados utilizados en las distintas mezclas ensayadas.

Al jefe de investigación y desarrollo de Química Suiza, Juan Medina, por la donación de los aditivos para el desarrollo de la investigación.

Al Gerente general de Flujo Libre SAC, Mario Becerra Salas, por los consejos y enseñanzas para el diseño y construcción de pavimentos rígidos.

RESUMEN

Perú, en los últimos años presenta diversos problemas por la falta de evacuación de aguas pluviales, esto se asocia con el crecimiento poblacional, puesto que la zona urbanizada al incrementar su tamaño produce una necesidad de contar cada vez con mejores infraestructuras y fundamentalmente con pavimentos para el buen tránsito.

En la actualidad, se necesitan construcciones innovadoras para disminuir los problemas causados por las fuertes precipitaciones pluviales o el déficit que existe en la captación de aguas.

El concreto drenante es un concreto especial, que permite el paso del agua a través de su estructura gracias al alto porcentaje de vacíos que posee a diferencia del concreto tradicional. Esta cualidad contribuye a culminar con la falta de permeabilidad en las estructuras tradicionales de concreto, evitando fallas estructurales debido al encharcamiento y escurrimiento del agua.

Esta investigación realizó el diseño de once mezclas de concreto drenante, dentro de las cuales se escogió una de ellas para ser aplicada como alternativa de solución de pavimento rígido. Dicho diseño asegura una resistencia a la compresión de 280 kg/cm² y un módulo de rotura de 42 kg/cm², este innovador concreto puede llegar a filtrar hasta 60 litros/m²/min. Para validar estas tres características principales del concreto drenante, se extrajo testigos a un prototipo construido en laboratorio. Permitiendo que el concreto drenante se desempeñe sin ningún inconveniente como pavimento rígido en una vía urbana de tránsito moderado en el norte del Perú.

Palabras clave: Concreto drenante; diseño de mezclas; resistencia a la compresión; módulo de rotura; filtrar; vía urbana.

Design proposal for drainage pavement for the capture of rainwater in urban areas of
northern Peru

ABSTRACT

Peru, in recent years has various problems due to the lack of rainwater evacuation, this is associated with population growth, since the urbanized area to increase its size produces a need to have increasingly better infrastructure and mainly with pavements for good traffic

At present, innovative constructions are needed to reduce the problems caused by heavy rainfall or the deficit that exists in the collection of water.

The draining concrete is a special concrete, which allows the passage of water through its structure thanks to the high percentage of voids it has, unlike traditional concrete. This quality contributes to culminate in the lack of permeability in traditional concrete structures, avoiding structural failures due to waterlogging and runoff.

This investigation carried out the design of eleven draining concrete mixtures, within which one of them was chosen to be applied as an alternative of rigid pavement solution. This design ensures a compressive strength of 280 kg / cm² and a breaking module of 42 kg / cm², this innovative concrete can reach up to 60 litres / m² / min. To validate these three main characteristics of the draining concrete, a prototype constructed in the laboratory was extracted. Allowing the draining concrete to perform without any inconvenience as a rigid pavement in a moderated urban road in northern Peru.

Keywords: Draining concrete; mix design; compressive strength; rupture modulus; filter; urban route.

TABLA DE CONTENIDOS

1	GENERALIDADES	1
1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	ANTECEDENTES	2
1.3	REALIDAD PROBLEMÁTICA	4
1.4	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.5	HIPÓTESIS	7
1.6	OBJETIVOS	7
1.6.1	Objetivos generales.....	7
1.6.2	Objetivos específicos.	7
1.7	INDICADORES DE LOGRO.	8
1.8	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO.	8
2	ESTADO DE ARTE DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO DRENANTE	9
2.1	PAVIMENTO DE CONCRETO CONVENCIONAL	9
2.1.1	Ventajas y limitaciones en pavimentos de concreto convencional.	10
2.2	PAVIMENTOS DE CONCRETO DRENANTE.....	11
2.2.1	Ventajas y limitaciones en pavimentos de concreto drenante.	12
2.3	MANEJO DE AGUAS PLUVIALES EN PAVIMENTOS DE CONCRETO DRENANTE.	13
2.4	CONCEPCIÓN DEL DISEÑO DEL CONCRETO DRENANTE.....	15
2.5	MATERIALES	16
2.5.1	Agregado grueso – ASTM C 33	16
2.5.2	Agregado fino – ASTN C 33	17
2.5.3	Material cementante – ASTM C 1157.....	17
2.5.4	Agua – ASTM 1193.....	18
2.5.5	Aditivos – ASTM C 494.....	18
2.6	REOLOGÍA EN ESTADO FRESCO.....	19
2.6.1	Fluidez del concreto drenante – ASTM C143	19
2.6.2	Densidad – ASTM 1688/C 1688M	20
2.6.3	Tiempo de fragua – ASTM C403	20
2.6.4	Temperatura ambiental y de mezcla – ASTM C 1064	20
2.7	PROPIEDADES MECÁNICAS	21
2.7.1	Resistencia a la flexión – ASTM C78	21

2.7.2	Resistencia a la compresión – ASTM C39	22
2.7.3	Tasa de infiltración (Kt) – ACI 522 R10	24
2.7.4	Contenido de vacíos – ASTM C138	25
2.7.5	Durabilidad – ACI 522 R10.....	25
2.7.6	Absorción acústica – ACI 522 R 10	26
2.8	PATOLOGÍAS DEL PAVIMENTO DRENANTE.....	27
2.8.1	Contracción plástica	28
2.8.2	Agrietamiento por fatiga.....	28
2.8.3	Escalonamiento entre losas	29
2.8.4	Desgaste por abrasión	29
2.8.5	Reacción álcali-agregados	29
2.8.6	Contracción por secado	30
2.9	CONFORMACIÓN DEL PAVIMENTO DRENANTE.....	30
2.9.1	Sub rasante	31
2.9.2	Sub base	31
2.9.3	Capa de rodadura	32
2.10	CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO DRENANTE.....	33
2.10.1	Preparación de sub – rasante y sub – base	33
2.10.2	Colocación de pavimento drenante.....	34
2.10.3	Compactación del pavimento drenante.....	35
2.10.4	Juntas en el pavimento drenante	35
2.10.5	Curado del pavimento drenante	36
2.10.6	Protección del pavimento drenante.....	37
2.10.7	Mantenimiento del pavimento drenante	37
2.11	INSPECCIÓN Y CONTROL DEL PAVIMENTO DRENANTE	38
2.11.1	Inspección y prueba pre – construcción.....	39
2.11.2	Inspección y prueba construcción.....	39
2.11.3	Inspección y post - construcción.....	39
3	PLAN EXPERIMENTAL PARA EL DESARROLLO DEL CONCRETO DRENANTE.....	40
3.1	DEFINICIÓN DEL PLAN EXPERIMENTAL.....	40
3.1.1	Evaluación de las propiedades de los materiales	41
3.1.2	Formulación de mezclas para el diseño del concreto drenante.....	46

3.1.3	Preparación de mezclas en el laboratorio	47
3.2	DISEÑO DE LA CAPA DE RODADURA DEL PAVIMENTO DRENANTE.....	48
4	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
4.1	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	50
4.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	51
4.3	RANKING DE DISEÑOS	53
4.4	PRESENTACIÓN DEL DISEÑO ÓPTIMO.....	54
4.5	REOLOGÍA DEL DISEÑO ÓPTIMO EN ESTADO FRESCO	55
4.5.1	Fluidez del concreto drenante	55
4.5.2	Densidad	56
4.5.3	Contenido de vacíos.....	56
4.5.4	Temperatura de ambiente y de la mezcla	57
4.6	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL DISEÑO ÓPTIMO.....	57
4.6.1	Resistencia a la flexión (M_r).....	57
4.6.2	Resistencia a la compresión (f'_c).....	59
4.6.3	Tasa de infiltración (k_t)	61
5	CONSTRUCCIÓN A ESCALA NATURAL DEL PAVIMENTO DE CONCRETO DRENANTE.....	62
6	ANÁLISIS DE VIABILIDAD DEL PAVIMENTO DE CONCRETO DRENANTE	68
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
7.1	CONCLUSIONES	73
7.2	RECOMENDACIONES	75
8	REFERENCIAS	78
ANEXOS.....		81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro comparativo.	4
Tabla 2 Intensidades de lluvias.	5
Tabla 3 Cuadro de registro.	6
Tabla 4 Indicadores de logro.	8
Tabla 5 Cantidad de Materiales.	15
Tabla 6 Mantenimiento del pavimento drenante.	38
Tabla 7 Párametros	41
Tabla 8 Plan experimental.	41
Tabla 9 Propiedades del agreado Huso 67.	42
Tabla 10 Propiedades del agreado Huso 7.	43
Tabla 11 Propiedades del agregado fino.	43
Tabla 12 Peso unitario suelto.	44
Tabla 13 Peso unitario compactado.	44
Tabla 14 Contenido de humedad	45
Tabla 15 Peso específico	45
Tabla 16 Resumen de dosificaciones de mezclas.	47
Tabla 17 Diseño de capa de rodadura.	48
Tabla 18 Resultados obtenidos de las once mezclas.	50
Tabla 19 Ranking de mezclas.	53
Tabla 20 Pesos y volúmenes de la mezcla óptima por metro cúbico.	54
Tabla 21 Módulo de rotura (M_r) del concreto drenante al 1,3,7 y 28 días.	58
Tabla 22 Resistencia a la compresión (f'_c) del concreto drenante al 1,3,7 y 28 días.	60
Tabla 23 Análisis de precios unitarios para colocación de pavimento de concreto convencional.	68
Tabla 24 Análisis de precios unitarios para suministro y colocación de dowells liso en pavimento de concreto convencional.	68
Tabla 25 Análisis de precios unitarios para suministro y colocación de barras de amarre en pavimento de concreto convencional.	69
Tabla 26 Análisis de precios unitarios para sellado de juntas de construcción en pavimento de concreto convencional.	70
Tabla 27 Análisis de precios unitarios para colocación de pavimento de concreto drenante.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Permeabilidad vs Contenido de Arena (%).	3
Figura 2. Incidencia de catástrofes en el Perú 2017.	5
Figura 3. Estructura de pavimento convencional.	10
Figura 4. Textura del pavimento drenante.	12
Figura 5. Comparación de materiales para la construcción entre un pavimento de concreto drenante y convencional.	13
Figura 6. Impacto ambiental del pavimento drenante	14
Figura 7. Consistencia del concreto drenante.	16
Figura 8. Capa de rodadura con diferentes tamaños de agregados.	17
Figura 9. Resistencia de flexión vs contenido de aire.	22
Figura 10. Resistencia de flexión vs Resistencia a la compresión.	22
Figura 11. Resistencia a la compresión vs contenido de vacíos.	24
Figura 12. Permeabilidad vs contenido de vacíos.	24
Figura 13. Relación entre el contenido de vacíos y la relación a/c.	25
Figura 14. Comparación entre un pavimento convencional y drenante.	27
Figura 15. Corte transversal del pavimento drenante.	33
Figura 16. Colocación y enrasado del pavimento drenante.	34
Figura 17. Compactación del pavimento drenante.	35
Figura 18. Corte de las juntas del pavimento drenante.	36
Figura 19. Corte de las juntas del pavimento drenante.	37
Figura 20. Curado del pavimento.	37
Figura 21. Ensayo de grado de compactación del terreno.	39
Figura 22. Trabajabilidad de la mezcla.	48
Figura 23. Relación a/c – Resistencia a la compresión	51
Figura 24. Resistencia a la compresión – Permeabilidad.	52
Figura 25. Resistencia a la compresión – % de vacíos y a/c.	52
Figura 26. Fluidez del concreto drenante al instante.	55
Figura 27. Fluidez del concreto drenante, a una hora.	55
Figura 28. Densidad del concreto drenante	56
Figura 29. Ensayo de contenido de vacíos en estado fresco, del concreto drenante pigmentado.	56

Figura 30. Ensayo de contenido de vacíos en estado fresco, del concreto drenante pigmentado.	57
Figura 31. Medición de la temperatura del concreto drenante.	57
Figura 32. Ruptura de vigas a los 28 días para determinar el módulo de rotura o la resistencia a la flexión (M_r).	58
Figura 33. Módulo de rotura (M_r) del concreto drenante al 1, 3, 7 y 28 días.	59
Figura 34. Ruptura de probetas a los 28 días para determinar la resistencia a la compresión (f'_c).	59
Figura 35. Resistencia a la compresión (f'_c) del concreto drenante al 1, 3, 7 y 28 días. ...	60
Figura 36. Medición de la tasa de infiltración mediante permeámetro.	62
Figura 37. Medidas del prototipo.	63
Figura 38. Materiales que incluyen la mezcla.	63
Figura 39. Mezclado de la mezcla para el prototipo.	64
Figura 40. Mezclado de la mezcla para el prototipo.	64
Figura 41. Medida de la fluidez del concreto drenante coloreado.	65
Figura 42. Extracción de testigos del concreto drenante coloreado.	66
Figura 43. Ensayo de permeabilidad con anillo de infiltración en prototipo a escala industrial.	67
Figura 44. Disponibilidad de agua en el Perú.	72
Figura 45. Uso de agua en el Perú Adaptado de Propia, 2017.	72

ÍNDICE DE FÓRMULA

Fórmula 1. Cálculo de la capa de rodadura.	32
Fórmula 2. Cálculo del módulo de fineza.	42
Fórmula 3.Cálculo de la tasa de infiltración.	61
Fórmula 4.Cálculo del módulo de rotura.	65
Fórmula 5. Cálculo del tasa de infiltración.....	67

1 GENERALIDADES

En este capítulo, se muestra la importancia de la implementación del concreto drenante como carpeta de rodadura, con el fin de generar un impacto positivo en la sociedad y medio ambiente, ya que el Perú, durante muchos años, se ha visto afectado por lluvias de gran intensidad.

1.1 Introducción

En las últimas décadas, en el Perú se ha venido presentando diversos problemas de daños y colapsos en las estructuras de carreteras, puentes, viviendas, entre las más importantes, como consecuencia de las intensas lluvias ocasionadas por el fenómeno del niño en los años 1925, 1983, 1998 y 2017. Estos problemas de destrucción se deben a la falta de sistemas de evacuación de aguas pluviales, y ausencia de planeamiento en la construcción de zonas urbanas para el sostenimiento del crecimiento poblacional. Dentro de las infraestructuras más afectadas, se encuentran los pavimentos de carretera urbana, puesto que son de vital importancia para la comunicación entre poblaciones. Por ello, existe la necesidad de contar con soluciones innovadoras en las construcciones y diseños de pavimentos con la finalidad de disminuir riesgos de colapsos, causados muchas veces por la falta de sistemas de drenaje, ya que las vías convencionales alteran el balance del ciclo hidrológico, debido a la falta de captación de agua. Asimismo, las precipitaciones de las aguas generan escorrentías superficiales llegando a producir en el peor de los casos inundaciones.

Debido a estos acontecimientos, en el rubro construcción se viene innovando la implementación de pavimentos drenante para optimizar la captación y reciclaje del recurso más importante para la vida, el agua; siendo este un recurso fundamental para el desarrollo humano. El Perú alberga el 1.89% del agua dulce en el mundo, siendo destinado su uso para actividades de minería (2%), industrias (6%), consumo poblacional (12%) y agricultura (80%).

La implementación del pavimento de concreto drenante tiene como finalidad mitigar el impacto de las escorrentías superficiales en las vías. Se debe tener en cuenta que si no brindamos una solución eficaz a este problema, las zonas urbanas se verán afectadas por inundaciones, encharcamientos y por consecuencia, desgaste en los pavimentos, afectando el tránsito peatonal y vehicular.

Esta investigación describe algunos antecedentes sobre las consecuencias de las inundaciones por falta de captación de aguas de lluvias y la importancia del pavimento drenante. Se plantea la problemática del presente estudio y se trabaja sobre la base de los objetivos. La teoría es parte fundamental para abordar conceptos relacionados al pavimento drenante, pero la parte modular de este trabajo está en la propuesta de diseño de mezcla del concreto drenante como capa de rodadura, donde se establecen los parámetros a seguir para el desarrollo, construcción y mantenimiento del pavimento drenante.

1.2 Antecedentes

En el Perú, las infraestructuras de carreteras en asfalto tienen como objetivo principal la buena circulación en el tránsito. Sin embargo, no han considerado la importancia del drenaje de aguas pluviales, pues muchas veces la falta de ello ha provocado grandes inundaciones en las zonas urbanas. A pesar de que nuestro país se ha visto afectado, en los últimos años, por intensas lluvias en todo el territorio nacional, tanto en la Costa, como en la Sierra y la Selva. Del mismo modo vías vehiculares han sido afectadas en su gran totalidad.

El Perú es uno de los países más vulnerables a este tipo de catástrofes ambientales, siendo la más perjudicial “El fenómeno del Niño”, pues en 1925 “El Fenómeno del Niño” castigó la costa norteña dejando un alto grado de damnificados, tanto en pérdidas económicas y humanas. En 1983, las provincias de Piura, Tumbes y Lambayeque fueron sometidas a fuertes lluvias e inundaciones, con daños a la población económicamente activa, perdiendo hectáreas de cultivo agrícola, destrucción de carreteras y puentes. En 1998, aproximadamente 15 años después, nuestro país fue nuevamente azotado por fuertes lluvias durante semanas, siendo los más afectados los pobladores del norte costero. Luego de 19 años (2017), nuestro país sufrió terribles daños ocasionados por “El fenómeno del Niño Costero” dejando 242 puentes destruidos y 2,629 kilómetros de carreteras deterioradas, requiriendo una inversión para la reconstrucción del país. En los últimos años, ha crecido el interés a nivel mundial por la implementación del concreto drenante como solución a la ausencia de captación de las lluvias en los pavimentos.

Las primeras experiencias con pavimentos drenantes se realizaron en EE. UU., Suecia y Japón desde los años setenta, conforme ha pasado el tiempo Francia, España y Alemania, implementaron este innovador diseño en su infraestructura, donde se cuenta con millones de m² de pavimento drenante. EE. UU. utilizó este tipo de infraestructura para el manejo de

aguas de lluvias y Europa para mejorar la resistencia al deslizamiento y reducir el ruido del tráfico (Marlon E., 2012).

En la década de los 80 y 90 comenzaron las investigaciones y estudios sobre el concreto drenante aplicado a pavimentación realizado por primera vez los españoles, pero los norteamericanos son los que más han ido implementando esta tecnología durante los últimos 30 años (Barahona, 2013).

Al pasar de los años, se han realizado diversas investigaciones sobre el pavimento drenante, los autores Rami Apurva Y Joshi Tejas explican los efectos del agregado fino en la mezcla del pavimento drenante en función a la permeabilidad; en la figura N° 1 se aprecia que, al aumentar el porcentaje de arena en la mezcla, la permeabilidad disminuye, esto se debe a que el agregado fino obstruye los vacíos que se encuentra en el pavimento drenante.

Figura 1. Permeabilidad vs Contenido de Arena (%).

Adaptado de “Effects of sand content in permeability of pervious concrete”, por Apurva K. Rami, Tejas M. Joshi, 2012.

Melissa McFadden, en el año 2015, en su investigación realizó una comparación en los costos de construcción y mantenimiento tanto del concreto tradicional con el concreto drenante aplicado a veredas. En la investigación se construyó 51 000 yardas cuadradas que equivalen aproximadamente 43 000 metros cuadrados de vereda, en la tabla N°1 se puede apreciar los resultados obtenidos de la investigación, donde existe un ahorro tanto los costos de construcción y mantenimiento en el concreto drenante.

Tabla 1
Cuadro comparative.

VEREDA CONCRETO TRADICIONAL		VEREDA CONCRETO DRENANTE	
Costo construcción	Costo mantenimiento	Costo construcción	Costo mantenimiento
\$ 5 003 000	\$ 156 000	\$ 2 615 000	\$ 147 000
Total = \$ 5 159 000		Total = \$ 2 762 000	
% AHORRO = 46 %			

Nota: Comparación de Costos de una Vereda de Concreto Tradicional vs una Vereda de Concreto Poroso.

Adaptado de “Traditional versus Pervious Concrete Sidewalks Construction and Maintenance Cost”, por McFadden Melissa, 2015.

Además, la aplicación del pavimento drenante es reconocida por la Agencia Americana de Protección al Medio Ambiente como Mejor Práctica de Manejo (BMP), puesto que reduce la polución que entran a los ríos; filtrando de manera natural el agua de las lluvias. El Instituto Americano del Concreto (ACI) dentro de sus comités ACI 522R-06 “Pervious Concrete” y ACI 522R-10 “Report on Pervious Concrete”, estudia al concreto drenante, sus aplicaciones, materiales, propiedades, proporciones de mezcla, proceso constructivo y control de calidad de estos. Considerando los daños ocasionados por la falta de captación de agua de lluvia en los pavimentos, se propone la utilización del concreto drenante en el norte del Perú, como solución a este inconveniente y que además contribuirá en la conservación de las vías urbanas, debido a que estas ocupan un porcentaje muy bajo o casi nulo en comparación al concreto convencional. Se espera que, con esta investigación, se pueda mejorar la implementación del concreto drenante como solución para la captación de aguas de lluvias.

1.3 Realidad problemática

Perú, en los últimos años presenta diversos problemas por la falta de evacuación de aguas pluviales, esto se asocia con el crecimiento poblacional, ya que la zona urbanizada al incrementar su tamaño produce una necesidad de contar cada vez con mejores infraestructuras y fundamentalmente con pavimentos para el buen tránsito, esto es de suma importancia para mejorar la comunicación entre pobladores. En la actualidad, se necesitan construcciones innovadoras para disminuir los problemas causados por las fuertes precipitaciones pluviales o el déficit que existe en la captación de aguas, ya que la lluvia intensa junto con las inundaciones, son las catástrofes que tienen mayor incidencia en

nuestro país, superando más del 50% de daños causados durante el periodo 2017. En la figura N° 2 se evidencia lo mencionado anteriormente, según INDECI.

Figura 2. Incidencia de catástrofes en el Perú 2017.

Adaptado de “INDECI”, por Carranza Freddy Yan, 2017.

El principal problema son las aguas precipitadas que se convierten en escorrentías superficiales llegando a producir en el peor de los casos grandes inundaciones (Wael W. Al – Azhari, 2013) en las vías de tránsito urbano y estas se ven afectadas, dejándolas en mal estado. Asimismo, dicho problema no permite tener facilidades para el traslado de los vehículos y peatones, generando en la mayoría de los casos, pérdidas económicas y humanas. Por ello, se ha determinado que una de las causas principales es el estudio inadecuado de hidrología, la ineficiencia en los diseños de los pavimentos para la captación de lluvia, los cuales han generado que los sistemas de drenaje urbanos se vean saturados o en muchos casos colapsen. La implementación del concreto drenante tiene como finalidad mitigar el impacto de las escorrentías en las vías. Por ello se debe tener en cuenta que ante la indiferencia de este problema las zonas viales pueden verse afectadas en gran magnitud por inundaciones y desgastes de las mismas, ocasionando la ineficiente circulación del tránsito vehicular y con ello perjudicando la comunicación entre pobladores. Las precipitaciones de lluvias en los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad, durante los meses de febrero, marzo, abril y mayo, son muy elevadas, superando el rango normal de precipitaciones, las cuales de ser moderadas pasan a ser precipitaciones muy fuertes, dichas informaciones se muestran en las tablas N° 2 y N° 3 respectivamente.

Tabla 2
Intensidades de lluvias.

Intensidad	Acumulación en una hora
Débil	Entre 0,1 y 2 mm
Moderado	Entre 2,1 y 15 mm
Fuerte	Entre 15,1 y 30 mm
Muy fuerte	Entre 30,1 y 60 mm
Torrencial	Más de 60 mm

Nota: Clasificación de la lluvia según la intensidad media en una hora.

Adaptado de “El índice de la precipitación intensa”, por Monjo Robert i Agut, 2016.

Tabla 3
Cuadro de registro.

Día/mes/año	Temperatura Max (°C)	Temperatura Min (°C)	Precipitación (mm)	
			07	19
01-mar-17	19.6	11.8	21.1	30
02-mar-17	19	11.6	10.5	20
03-mar-17	15.9	13.2	45.9	31.1
04-mar-17	16.2	13.2	56.7	52
05-mar-17	18.6	12.2	16.3	12.2
06-mar-17	15.9	11.9	20.1	51.7
07-mar-17	15	12.1	25.8	10.5
08-mar-17	19.5	12.4	30	12.2
09-mar-17	18.4	11.1	61.3	10.1

Nota: Precipitaciones en el mes de marzo en el norte del Perú.

Adaptado de “SENAMHI”, por Orrego Moya Roxana, 2017.

Este problema viene afectando a la infraestructura del país y dentro de estas, los pavimentos son los más afectados debido a la falta de un sistema de planificación eficiente de drenaje en la captación de agua de lluvias y provocando gastos exorbitantes en la reconstrucción de estos. Por ello, esta investigación se enfocará en el estudio de la implementación del pavimento drenante como solución a la deficiencia de la captación de aguas pluviales en las zonas urbanas del norte del Perú.

1.4 Formulación del problema

Como se menciona anteriormente, el norte del Perú fue afectado por inundaciones pluviales, debido a la falta o ineficiencia en la captación de agua de lluvias.

Este proyecto de investigación permitirá ampliar los conocimientos sobre el desempeño del concreto drenante, con el fin de obtener una alternativa de solución sostenible e innovadora. Frente a estas necesidades se formula la siguiente pregunta:

- ¿El concreto drenante es una alternativa de solución, para la captación de aguas pluviales en pavimentos urbanos de tránsito moderado en el norte del Perú?

1.5 Hipótesis

El pavimento de concreto drenante, cumple con los requisitos mínimos de permeabilidad (mayor a 0.001 cm/s), descritas en el ACI 522-R10, resistencia a la compresión (mayor a 210 kg/cm²) y módulo de rotura (mayor a 35 kg/cm²), mejorando la captación de aguas pluviales en el norte del Perú en zonas urbanas de moderado tránsito.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivos generales.

- Elaborar una propuesta de concreto drenante para ser utilizado como alternativa a la captación de aguas pluviales en pavimentos urbanos de moderado tránsito en el norte del Perú.

1.6.2 Objetivos específicos.

- Desarrollar once mezclas de concreto drenante, en base a las dosificaciones indicadas por el ACI 522R-10, empleando porcentajes de vacíos de 10, 13, 15 y 20%, relación agua cemento (a/c) 0.27, 0.30, 0.31, 0.32 y 0.34, agregado grueso chancado TMN ½” (HUSO 7) y 0 a 10% de agregado fino.
- Evaluar las propiedades en estado fresco (ASTM 1688) y endurecido (ASTM C1754, ACI 522R-10) del concreto drenante para garantizar la vida útil y buen desempeño.
- Elaborar el ensayo de permeabilidad para evaluar el concreto drenante, utilizando el permeámetro y anillo de infiltración según el ACI 522R-10.
- Evaluar las mezclas de concreto drenante que cumplan con los ensayos de permeabilidad según el ACI 522R-10, de acuerdo con las necesidades de permeabilidad en el norte del Perú (Máxima precipitación en el 2017, 62 mm/h).
- Evaluar la resistencia a compresión (mayor a 210 kg/cm²) y módulo de rotura (mayor a 35 kg/cm²) de las once mezclas de concreto drenante, mediante probetas y vigas.
- Evaluar las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y permeabilidad) mediante un prototipo (100 x 200 cm) el desempeño del concreto drenante.

1.7 Indicadores de logro.

Tabla 4

Indicadores de logro.

OBJETIVO	ACTIVIDADES	LOGRO
Objetivo 1	Dosificar las mezclas.	Cemento: 300 kg/m^3 a 490 kg/m^3 Agregado: 1200 kg/m^3 a 1600 Relación a/c: 0.27 a 0.34
Objetivo 2	Ensayar las mezclas en estado fresco y endurecido	Slump: 1" a 3" Temperatura: 20°C a 32°C Vacíos: 10 % a 20% $f'c$: 210 kg/cm^2 a 280 kg/cm^2 Permeabilidad: 0.001 a 0.1 cm/s
Objetivo 3	Uso del permeámetro y anillo de infiltración.	Permeabilidad mayor a 0.001 cm/s.
Objetivo 4	Uso del permeámetro y anillo de infiltración.	Permeabilidad mayor a 62 mm/h.
Objetivo 5	Rotura de probetas y vigas	$F'c$ mayor a 210 kg/cm^2 Mr mayor a 35 kg/cm^2
Objetivo 6	Construcción del prototipo y extracción de diamantina	Permeabilidad mayor a 62 mm/h. $F'c$ mayor a 210 kg/cm^2 Mr mayor a 35 kg/cm^2

Nota: Indicadores de logro para cada objetivo específico.

Adaptado por Propia, 2017.

1.8 Descripción del contenido.

Esta investigación consta de ocho capítulos. Lo siguiente es una breve descripción de cada capítulo.

- Capítulo I: Introducción al tema innovador del pavimento de concreto drenante, así como antecedentes y objetivos de este proyecto.
- Capítulo II: Comparación entre pavimento de concreto convencional y pavimento de concreto drenante, mostrando las grandes ventajas y limitaciones que tiene el pavimento de concreto drenante sobre el pavimento de concreto convencional.
- Capítulo III: Elaboración del plan experimental del concreto drenante, en base a los parámetros establecidos, las cuales son contenido de vacíos, relación agua – cemento y reductor de agua para la elaboración de las once mezclas a ensayar.
- Capítulo IV: Análisis de los resultados obtenidos en los distintos ensayos a los que fueron sometidos las once muestras de concreto drenante, tanto en estado fresco como endurecido.
- Capítulo V: Construcción del pavimento de concreto drenante mediante un prototipo de 100 cm x 200 cm, y análisis de sus propiedades en estado fresco como endurecido,
- Capítulo VI: Análisis de viabilidad del concreto drenante en comparación a un pavimento de concreto tradicional.
- Capítulo VII: Conclusiones del análisis de resultados y recomendaciones para futuras investigaciones.

2 ESTADO DE ARTE DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO DRENANTE

En este capítulo, se evidenciará una comparación entre pavimento de concreto convencional y pavimento de concreto drenante, mostrando las grandes ventajas y limitaciones que tiene el pavimento de concreto drenante sobre el pavimento de concreto convencional.

2.1 Pavimento de concreto convencional

Los pavimentos rígidos convencionales utilizan una capa de concreto como superficie de rodadura para el tránsito vehicular, está directamente apoyada sobre una base granular (Floten Jean 2017). Debido a que el concreto presenta deformaciones de acortamiento durante su operación, estas se producen desde el endurecimiento inicial. Se dimensionan juntas (no deben exceder los 4 m x 4 m) en el pavimento que permite controlar estas deformaciones y tensiones asociadas por alabeo y cargas.

El efecto de las deformaciones, por lo general, es el levantamiento de los bordes de la losa, conocidas como “alabeo de la losa de concreto” (M. Becerra, 2017), disminuye las zonas de apoyo sobre la base. Debido al peso de las zonas levantadas, este alabeo le induce tensiones de tracción al concreto, las cuales aumentan al ser las zonas cargadas por el tránsito.

La rigidez del concreto es mayor que la rigidez de la base granular, se debe a la capacidad de carga que está principalmente determinada por la capacidad de la losa y al soportar estas deformaciones repetitivas al paso de los vehículos, es por ello que se generan tensiones durante su utilidad y la hacen fallar por fatiga.

La losa de concreto tiene un gran efecto repartidor de cargas, que provienen de su peso propio y de las cargas que soportan por el tránsito vehicular, por lo que la presión que se ejerce a la base granular en comparación a la capa de rodadura es una pequeña fracción. En comparación a los pavimentos flexibles, la superficie de rodadura es la de mayor importancia, ya que soporta la mayor parte de las cargas totales. En la figura N° 3 se evidencia lo mencionado anteriormente.

Figura 3. Estructura de pavimento convencional.

Adaptado de “Pavimentos”, por Giordani Claudio, 2016.

2.1.1 Ventajas y limitaciones en pavimentos de concreto convencional.

Las ventajas de los pavimentos convencionales utilizando el concreto convencional son las siguientes:

- Costo final (al considerar la vida útil) es normalmente menor a la de los pavimentos flexibles.
- Mayor vida útil (mínima de 30 años).
- La calidad de la superficie se mantiene por muchos años, y básicamente se conserva la estructura del pavimento.
- Resiste ataques químicos (Aceites, grasas, combustibles).
- Mayores resistencias mecánica y a la abrasión; La resistencia mecánica de los materiales aumenta con la edad.
- Estructuras menores de pavimentación (no más de dos capas).
- Se requiere poca conservación. Ello permite el flujo de tránsito por mayores períodos.

- Como función de la textura superficial, mayor resistencia al deslizamiento.
- Mantiene casi íntegra la capa de rodamiento.
- Mayor distancia de visibilidad horizontal, proporcionando mayor seguridad.
- Mejor distribución de presiones a los suelos de apoyo. Soporta fácilmente sobrecargas imprevistas y tráfico intenso.
- Facilidad de construcción, pueden ser ejecutados con equipos convencionales.

Las limitaciones de los pavimentos convencionales utilizando el concreto convencional son las siguientes:

- Existe una menor fricción en la superficie de rodadura.
- Se crea discontinuidad en la capa de rodadura, conocidas como juntas.
- Impermeabilidad en la capa de rodadura.
- Mayor costo inicial.
- Los deterioros que usualmente sufren es el agrietamiento por fatiga, escalamiento entre losas y los desprendimientos de bloque.
- Esgurrimiento superficial.
- Depende de un sistema de drenaje para derivar las aguas, en muchas ocasiones se ven colapsadas.

2.2 Pavimentos de concreto drenante

El concreto drenante, se describe como un concreto sin revenimiento, está compuesto de cemento portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivo y agua. La mezcla de estos materiales produce un concreto de alto contenido de poros con tamaños promedios de 2 a 8 mm que permite que el agua pase fácilmente a través de su estructura. El contenido de vacíos puede variar de 10 a 35%, con esfuerzos a la compresión hasta los 280 kg/cm². La tasa de drenaje del concreto drenante varía con el tamaño del agregado, pero generalmente el rango está entre 50 y 730 litros/minutos/m². (Robert Haselbach, 2013)

El concreto drenante para pavimentos se ha vuelto muy popular como un método para mejorar los sistemas de drenaje en muchos lugares del mundo. Es una nueva alternativa para recolectar y absorber el agua de lluvia, permite conducirla eficientemente a los sistemas de drenaje sin necesidad de esperar un largo viaje por la superficie, como sucede en los pavimentos convencionales

A la vez, el pavimento de concreto drenante es un material sostenible, ya que no altera el ciclo hidrológico natural del agua. En otros países, el pavimento drenante ha sido utilizado en climas cálidos, como por ejemplo en los Estados Unidos. En la figura N° 4 se evidencia lo mencionado anteriormente.

Figura 4. Textura del pavimento drenante.

Adaptado de “ACI Committee 522 Report on Pervious Concrete” por Scott Erickson, 2011.

2.2.1 Ventajas y limitaciones en pavimentos de concreto drenante.

Las ventajas de los pavimentos de concreto drenante sobre los pavimentos de concreto convencional según el comité ACI 522 son:

- Controlar la contaminación que arrastra la corriente en las aguas lluvias.
- Incremento de las instalaciones de parqueo, eliminando áreas para la retención de agua.
- Controla la escorrentía de aguas lluvias.
- Reduce el deslizamiento sobre la superficie de caminos y carreteras.
- Menor costo de materiales, construcción y mantenimiento.
- Mayor fricción entre el vehículo y el pavimento.
- Genera un buen impacto ambiental.
- Reduce la interacción del ruido entre la llanta y el pavimento.
- Elimina o reduce el tamaño de las alcantarillas.

En la figura N° 5 se evidencia lo mencionado anteriormente.

Figura 5. Comparación de materiales para la construcción entre un pavimento de concreto drenante y convencional.

Adaptado por Propia, 2017.

Las posibles limitaciones que pueda presentar el concreto drenante son las siguientes:

- Uso limitado para zonas de tráfico de vehículos pesados.
- Prácticas de construcción especializadas.
- Sensibilidad en el control del concreto fresco.
- Cuidado y atención especial en el diseño para algunos tipos de suelo como los expansivos (Exceso de finos).
- Falta de métodos de ensayo estandarizados.

2.3 Manejo de aguas pluviales en pavimentos de concreto drenante.

Una alternativa para la gestión de aguas pluviales es el uso del concreto drenante como un método para el manejo de estas aguas.

El flujo de las precipitaciones es mayor en los pavimentos de concreto drenante en comparación al pavimento convencional, el agua se traslada por los poros (Shackel B., Ball J., Mearing M. 2013). Dependiendo de las condiciones del terreno, el agua puede drenarse hacia el subsuelo o ser derivada hacia donde exista una necesidad de uso de agua. El drenaje de las precipitaciones en los pavimentos de concreto drenante es reconocido como una mejor práctica de manejo de aguas pluviales (BMP). El uso de concreto drenante es considerado

como sostenible por el programa LEED, ya que fomenta impactos positivos en el medio ambiente como reutilizar un recurso no renovable. (Akerst Craigh, 2015).

El pavimento drenante es considerado una alternativa sostenible, puesto que la elevada permeabilidad permite solucionar el problema del escurrimiento superficial proveniente de las aguas pluviales evitando los encharcamientos. El alto porcentaje de vacíos permite la circulación del aire y la menor retención de calor disminuyendo los efectos de albedo. Los pavimentos de concreto drenante requieren de menor iluminación a la mayor reflexión que tienen a la luz. Reducen la necesidad de construir pozos de retención para almacenar el agua pluvial. El mismo pavimento actúa como área de retención, lo que reducirá el costo de la construcción. La textura del pavimento drenante proporciona la fricción suficiente para los vehículos y reduce el hidroplaneo, aún con lluvia, permitiendo seguridad a los conductores y a los peatones. El pavimento drenante es durable y resistente al tiempo con el mantenimiento adecuado. (Sebastián Arias, 2013). En la figura N° 6 se evidencia lo mencionado anteriormente.

Figura 6. Impacto ambiental del pavimento drenante

Adaptado de “Hydraulic Performance of Pervious Concrete Pavements” por Chopra Manoj, Wanielista Martin, Spence Joshua, Ballock Craig, 2015.

- Permite la infiltración del agua de lluvia hacia el subsuelo reduciendo la cantidad de agua en los sistemas de drenaje.
- Disminuye el tratamiento de las aguas, puesto que reduce la contaminación de esta.
- Innovadora técnica de construcción sustentable, basada en la reducción de contaminantes.

- Retención de contaminantes, tales como aceites, anticongelantes y otros líquidos derivados del petróleo, que en un momento dado podrían desembocar en lagos, ríos y océanos. (Perales Momparler Sara, Ignacio Andrés Doménech. 2014).
- Facilita el uso de geotextiles para la retención de aceites, evitando la contaminación de las capas inferiores del suelo.
- Reduce la captación de radiación solar, disminuyendo la temperatura del medio donde se encuentra instalado el concreto drenante, esto se debe a la alta porosidad que presenta el concreto.

2.4 Concepción del diseño del concreto drenante

Como alcance principal, todo diseño de concreto drenante debe:

- Proporcionar una estructura de vacíos que facilite el drenaje del agua en la superficie. Esta mezcla debe de presentar un pavimento con una durabilidad adecuada para su uso, minimizando las escorrentías superficiales.
- La durabilidad del concreto drenante se pone en peligro si contiene un alto grado de vacíos, ya que no se obtendría una resistencia adecuada para el uso que requiere una vía urbana. El tráfico considerado para el diseño de la mezcla es de moderado tránsito.
- El diseño de la mezcla del concreto drenante generalmente incluye agregado grueso, cemento y agua. El agregado fino se puede incluir, pero un porcentaje mínimo. El tipo y tamaño del agregado grueso a utilizar en la mezcla del concreto drenante puede alterar las propiedades del pavimento.
- Los rangos para poder obtener resistencias y permeabilidades altas se muestran en la siguiente figura. Los materiales empleados para la elaboración se muestran en la tabla N° 5:

Tabla 5
Cantidad de Materiales.

Materiales	Proporciones (kg/m ³)
Material cementante	290 a 460
Agregado	1190 a 1480
a/c	0.27 a 0.34
Agregado: M. Cementante	4 a 4.5: 1
Agregados Finos: Grueso	0 a 1: 1

Nota: Materiales para la mezcla del concreto drenante.

Adaptado de “An integrated study of pervious concrete mixture design for wearing course applications”, por Orrego Moya Roxana, 2017.

La cantidad de agua para el diseño de mezcla del concreto drenante es crítico para la calidad de la dosificación. Una gran cantidad de agua conducirá a una pasta de cemento muy líquida. Por lo contrario, una pequeña cantidad de agua resultará un material muy difícil de manejar. La cantidad adecuada de agua corresponde a una consistencia del concreto drenante que permite formar un puñado cohesivo estable como se puede observar en la figura N° 7, se observa que el puñado formado por concreto drenante con la cantidad de agua adecuada no se desmorona y tiene una consistencia rígida.

Figura 7. Consistencia del concreto drenante.

Adaptado de “Pervious Concrete” por Darrell F. Elliot, 2016.

Relación agua – cemento (a/c):

La dosis de agua utilizada en las propiedades del concreto drenante tiene una gran repercusión. Al utilizar cantidades insuficientes de agua se obtendrá mezclas con baja resistencia y sin consistencia. En el concreto drenante, la relación a/c varía en un rango de 0.27 a 0.34 para obtener la trabajabilidad necesaria.

Relación agregado – cemento:

La relación típica (agregado – cemento), varía entre 4:1 a 4.5:1, depende fundamentalmente del tipo de agregado, al igual que la relación agua – cemento, deben de satisfacer las características de permeabilidad, resistencia y durabilidad.

2.5 Materiales

2.5.1 Agregado grueso – ASTM C 33

La estructura interna de un concreto drenante puede describirse como un conjunto de partículas de agregado grueso, en contacto y unidas entre sí por puentes constituidos por la

pasta (cemento y agua) o el mortero que forma la arena, cuando hay presencia de finos en la mezcla.

El agregado grueso deberá reunir los requerimientos de tamaño y gradación definidos por ASTM C 33 y ACI 522R que dice que el tamaño máximo nominal del agregado grueso generalmente es de 3/4" a 3/8" de pulgada. Tamaños de agregados mayores pueden incrementar la porosidad, pero puede disminuir la trabajabilidad. Los usos de agregados más comunes a utilizar en los pavimentos de concreto drenante, serán entre Huso #67 y Huso #8.

Deberá evitarse usar agregados bien graduados, ya que reducen la porosidad, y pueden no proveer un adecuado contenido de vacíos. En la figura N° 8 se evidencia lo mencionado anteriormente.

Figura 8. Capa de rodadura con diferentes tamaños de agregados.

Adaptado de “Pervious Concrete” por Tennis Paul D, 2014.

2.5.2 Agregado fino – ASTN C 33

El agregado fino debe cumplir con la Norma ASTM y no deberá exceder de 0.10 m³ por 1.0 m³ de concreto drenante, es decir como límite máximo 10% del total de la mezcla.

2.5.3 Material cementante – ASTM C 1157

Cemento Portland, se utiliza como el adhesivo principal; en nuestro país se usa el Cemento Portland conforme a ASTM C 1157.

El Tipo HS o V es un cemento hidráulico por desempeño, el cual posee la misma composición química del cemento Tipo I, pero con la adición de puzolana y filler en proporciones específicas en la molienda final. Este cemento alcanza resistencias mayores a los 280 kg/cm² a los 28 días y alta resistencia a los sulfatos, por lo que es recomendado para la fabricación de concretos estructurales para pavimentos. El almacenamiento debe garantizar que el cemento no pierda sus características físicas y químicas establecidas en las normas mencionadas, y se debe tener control sobre las emisiones de polvo. Una mayor dosis

de cemento generará un concreto más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo este su capacidad de infiltración. Es recomendable usar una dosis que fluctúe entre los 300 kg/m³ y los 470 kg/m³, según requisitos de resistencia y permeabilidad.

2.5.4 Agua – ASTM 1193

La calidad del agua para concreto drenante será para los mismos requisitos que gobiernan para concretos convencionales. El concreto drenante deberá ser proporcionado con una relativa baja relación agua/material cementante (a/mc) (típicamente 0.27 a 0.40) porque una cantidad de agua en exceso producirá que la pasta fluya y selle el sistema de poros. La adición de agua, por lo tanto, deberá ser monitoreada en el campo.

Para resistencias mayores a 210 kg/cm² las relaciones agua/material cementante, varían entre 0.27 y 0.34.

2.5.5 Aditivos – ASTM C 494

Los aditivos deben ser certificados por la casa productora del aditivo. Los cuales como reductores de agua, retardantes y acelerantes deben cumplir las especificaciones de la Norma ASTM, para aditivos reductores de agua ASTM C 494, y para superplastificante la Norma ASTM C 1017 - 08.

- Aditivo retardante de fragua (EUCO WR – 75)

EUCO WR – 75 es un aditivo en líquido a base de polímeros orgánicos, formulado específicamente para obtener un excelente desempeño reduciendo la pérdida de asentamiento inicial de concreto por un periodo más largo siendo usado en una dosificación de 0.1 – 0.3% por el peso del cemento. Este aditivo está especialmente recomendado cuando se requiere un concreto colocado en climas cálidos y para obtener una excelente trabajabilidad. Los beneficios del aditivo en la mezcla es mejorar la cohesión y reducir la segregación, exudación y la contracción del concreto. Además, tiene una densidad de 1.15 kg/l.

- Aditivo modificador de viscosidad (EUCO AWA)

El EUCO AWA es un aditivo líquido viscoso desarrollado para aplicaciones de concretos bajo agua. La adición de este aditivo previene la pérdida del cemento y agregado fino durante el colocado del concreto bajo el agua. Este aditivo se aplica para evitar la segregación y

exudación de las mezclas de concreto con agregados livianos y pesados. La densidad del aditivo es de 1.18 kg/l y se recomienda que se use en un rango de 0.2% a 1.8% del peso del cemento, pero para reducir la segregación y exudación en mezclas de concreto con agregados livianos o pesados una dosificación del 0.3 – 0.8%. Tener en cuenta que dosificaciones mayores a 1.8% pueden producir retardo de fragua.

- Aditivo reductor de agua (NEOPLAST 8500 HP)

El NEOPLAST 8500 HP es un aditivo para concreto especialmente desarrollado para incrementar el tiempo de trabajabilidad, reductor de agua de alto rango sin retorno y optimizador de cemento en mezclas de concreto, está diseñado para ser empleado en climas cálidos y fríos. Reduce la segregación y exudación del concreto en estado plástico. Este aditivo tiene apariencia líquida y una densidad de 1.10 kg/l. Se recomienda que se incorpore en la mezcla cuando ésta se encuentra húmeda dentro del mezclador, ya que no debe entrar en contacto directo con el cemento seco. La dosificación que se debe usar es de 0.2 – 2% por el peso del cemento.

- Sílica fume QS

Sílica fume QS o microsílca es un aditivo en polvo. Reacciona químicamente con el hidróxido de calcio en la pasta de cemento, lo cual produce un gel de hidrato de silicato de calcio que mejora de manera significativa la resistencia y durabilidad, por lo general, la dosificación es de 5 – 10% por peso del cemento. (Mohd Ibrahim, Ramadhansyah P., Mohd Rosli Hainin 2015). Los beneficios de este aditivo en estado plástico es que aumenta la cohesión y compactación, a la vez, elimina la segregación. En estado endurecido, mejora la resistencia la compresión, tracción y flexión, también, aumenta la durabilidad del concreto. La densidad del aditivo es de 2.2 kg/l. Tener en cuenta que al usar microsílca, el uso de agua incrementa, por lo que se recomienda usar un aditivo reductor de agua de alto poder para mantener la trabajabilidad y la relación baja de agua cemento.

2.6 Reología en estado fresco

2.6.1 Fluidez del concreto drenante – ASTM C143

El revenimiento (asentamiento) se usa para medir la consistencia del concreto. Para una proporción dada de cemento y agregado, cuanto mayor sea el revenimiento, más húmeda es la mezcla. Se determina de acuerdo con la norma ASTM C143, no es una prueba que se considera para fines de control de calidad, como en el caso del concreto convencional, sólo

se considera como un valor de referencia, esto se debe a que la mezcla es demasiado rígida y la medición del revenimiento en la mayoría de los casos no es aplicable.

La mezcla de concreto permeable en estado plástico es rígida comparada con el concreto convencional. El revenimiento, cuando es medido, generalmente varía de 1/2" a 2".

2.6.2 Densidad – ASTM 1688/C 1688M

La densidad del concreto drenante en estado fresco se puede determinar por las normas ASTM C1688/C1688M, y está directamente relacionada con el contenido de vacíos. La densidad de las mezclas de concreto drenante es aproximadamente 70% del peso volumétrico de las mezclas de concreto convencional. El peso volumétrico del concreto drenante oscila entre 1,680 a 2,010 kg/m³, dependiendo del porcentaje de vacíos.

2.6.3 Tiempo de fragua – ASTM C403

Se determina de acuerdo con la norma ASTM C403, donde el tiempo de fraguado se reduce en el concreto permeable, por lo que en algunos casos se deben de utilizar aditivos químicos para permitir la adecuada colocación.

El tiempo de fraguado inicial ocurre entre dos y cuatro horas después de haber sido depositado en el lugar, y nos define el límite de manejo, es decir el tiempo por el cual el concreto drenante en estado fresco ya no puede ser mezclado de forma adecuada, colocado y compactado; el fraguado final ocurre entre cuatro y ocho horas de ser depositado en el lugar, y está definido por el desarrollo de la resistencia, que se genera con gran velocidad. El fraguado inicial y final se determina por el ensayo de resistencia a la penetración. (Kevern, J. T., V. R. Schaefer, K. Wang, and M. T. Suleiman. 2013).

Los principales factores que hay que tener en cuenta son el clima/temperatura, relación agua-cemento, contenido de cemento/adiciones, tipo de cemento, aditivos químicos y el mezclado.

2.6.4 Temperatura ambiental y de mezcla – ASTM C 1064

La temperatura del concreto drenante, es medida de acuerdo con la norma ASTM C 1064. La temperatura es medida para determinar la conformidad con los límites de temperatura en una especificación y es una prueba requisito para preparar los especímenes. Es permitido medir la temperatura de concreto en el lugar cuando no se mide en relación con pruebas de resistencia. (CIP 41, Ensayo de aceptación del concreto).

Procedimiento:

- Humedecer la carretilla con agua antes del muestreo.

- Colocar la muestra de concreto fresco en la carretilla.
- Homogenizar la muestra usando la pala o el cucharón.
- Asegurarse que el espesor de la capa de concreto es por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Colocar el termómetro bimetálico de tal forma que el vástago se encuentre sumergido un mínimo de 3 pulgadas en la muestra de concreto fresco, se debe asegurar que el vástago se cubra con 3 pulgadas de concreto alrededor de él en cualquier dirección.
- Presionar suavemente la superficie del concreto alrededor del termómetro, de tal forma que el vástago quede totalmente cubierto por la mezcla y la temperatura del aire en el ambiente no afecte la lectura.
- Dejar el termómetro dentro de la mezcla de concreto fresco por un período de 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice.
- Registrar el dato en el formato de registro, con una aproximación de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Notas:

- Determinar la temperatura dentro de los 5 minutos posteriores a la toma de la muestra.
- Cuando el concreto contenga agregado con tamaño máximo nominal mayor a 3 pulgadas, se puede requerir 20 minutos antes que la temperatura se estabilice.

2.7 Propiedades mecánicas

2.7.1 Resistencia a la flexión – ASTM C78

Se determina de acuerdo con la norma ASTM C78. La resistencia a flexión o el módulo de ruptura (rotura) se usa en el diseño de pavimentos u otras losas (pisos, placas) sobre el terreno. La resistencia a compresión, la cual es más fácil de medir que la resistencia a flexión, se puede usar como un índice de resistencia a flexión, una vez que la relación entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados. La resistencia a la flexión es una de las características técnicas más importantes que presenta el concreto drenante, debido a que su resistencia a la flexión es mejor que la del concreto convencional, comúnmente es 15% de la resistencia a la compresión, es decir, relativamente más alta que en el concreto convencional (FCPA, 1990).

La resistencia a la flexión en concretos drenantes generalmente se encuentra en el rango de 10.5 kg/cm² y 40.0 kg/cm². Existen varios factores que influyen en la resistencia a la flexión,

principalmente el grado de compactación, porosidad, y la proporción agregado-cemento. En la figura N° 9 y 10 se evidencia lo mencionado anteriormente.

Figura 9. Resistencia de flexion vs contenido de aire.

Adaptado de “Report on Pervious Concrete ACI 522-R10” por Meininger Richard C, 2013.

Figura 10. Resistencia de flexion vs Resistencia a la compresión.

Adaptado de “Report on Pervious Concrete ACI 522-R10” por Meininger Richard C, 2013.

2.7.2 Resistencia a la compresión – ASTM C39

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de las muestras de concreto drenante. Se determina de acuerdo con la norma ASTM C39.

La resistencia a compresión del concreto drenante se ve afectada principalmente por la proporción de la mezcla y el esfuerzo de compactación durante la colocación (Meininger,

2013). Para mejorar la resistencia del concreto drenante, se deben mejorar tres aspectos: la resistencia de la pasta, la pasta alrededor del agregado y la cohesión entre el agregado y la pasta. Esto se logra mejorando la ocupación de los aditivos y variando el tamaño de los agregados.

Aunque la relación a/c de una mezcla de concreto drenante es importante para el desarrollo de la resistencia a compresión y la estructura de huecos. Una relación a/c alta puede dar como resultado que la pasta fluya desde el agregado y llene la estructura de huecos. Una baja relación a/c puede dar como resultado una adherencia reducida entre las partículas del agregado y problemas de colocación. Por lo que el ACI recomienda una relación a/c entre 0.27 a 0.34, ya que proporciona un buen recubrimiento del agregado y estabilidad de la pasta.

El contenido de material cementante total de una mezcla de concreto drenante es importante para el desarrollo de la resistencia a compresión y la estructura de huecos. Un contenido de pasta alto dará como resultado una estructura de huecos llena y, en consecuencia, menor porosidad. Un contenido de material cementante insuficiente puede dar como resultado una capa reducida de pasta envolvente del agregado y una menor resistencia a compresión. El contenido óptimo de material cementante depende principalmente del tamaño y la granulometría del agregado.

Las mezclas de concreto drenante pueden alcanzar resistencias a compresión en el rango de 35 a 280 kg/cm², que es apropiada para una amplia gama de aplicaciones (ACI 522, 2006). Los valores típicos son alrededor de 175 kg/cm². Como con cualquier tipo de concreto, las propiedades y la mezcla de materiales específicos, así como las técnicas de colocación y condiciones ambientales, dictarán la resistencia en el lugar. En la figura N° 11 se evidencia lo mencionado anteriormente.

Figura 11. Resistencia a la compresión vs contenido de vacíos.

Adaptado de “Report on Pervious Concrete ACI 522-R10” por Meininger Richard C, 2013.

2.7.3 Tasa de infiltración (Kt) – ACI 522 R10

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar el agua a través de la matriz. Un concreto, cuanto más poroso sea, será más permeable y tendrá una posibilidad de absorción capilar más importante. Por lo tanto, la capacidad de filtración del concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de vacíos. Las pruebas realizadas por Meininger demuestran que se requiere un contenido mínimo de huecos de aire de aproximadamente 10% para lograr una filtración significativa. Para una porosidad del 20 al 25% el coeficiente de permeabilidad es de aproximadamente 0.01 m/s, puesto que la capacidad de filtración se incrementa a medida que se incrementa el contenido de huecos de aire y, en consecuencia, disminuye la resistencia a la compresión.

Además, la capacidad de filtración del concreto drenante depende de la selección de los materiales, así como de las proporciones a utilizar, preparación del concreto, proceso de colocación y su posterior curado.

La capacidad de filtración del concreto drenante normalmente se encuentra en el rango de 120 a 320 L /m²/min (0.2 a 0.54 cm/s). Para que se pueda asegurar el flujo del agua se recomienda al menos 10% de contenido de vacíos (Meininger, 1988). En la figura N° 12 se evidencia lo mencionado anteriormente.

Figura 12. Permeabilidad vs contenido de vacíos.

Adaptado de “Report on Pervious Concrete ACI 522-R10” por Meininger Richard C, 2013.

2.7.4 Contenido de vacíos – ASTM C138

El contenido de vacíos se determina bajo la norma ASTM C138, y está relacionado directamente con el peso volumétrico de una mezcla dada de concreto drenante. El porcentaje del contenido de vacíos depende de diversos factores como la granulometría del agregado, el contenido de cemento, la relación a/c, y la energía al cual va a ser compactada. A medida que la porosidad aumenta, la resistencia disminuye; en cambio si la porosidad disminuye, la resistencia aumenta. Diversos estudios han demostrado, que el porcentaje de vacíos para concretos drenantes debe estar en el rango de 10% a 31%. Por lo general, se utiliza un porcentaje de vacíos de 15% a 25%, para obtener resistencias mayores a 140 kg/cm². La energía de compactación tiene una gran influencia en el contenido de vacíos y por consiguiente en su peso volumétrico de una mezcla dada de concreto drenante. En una serie de pruebas de laboratorio, una misma mezcla de concreto drenante, compactada con ocho diferentes niveles de esfuerzo, produjo valores de peso volumétrico que variaban de 1680 a 1920 kg/m³ (Meininger, 2013). La variación de los pesos volumétricos (y el contenido de huecos de aire correspondiente) puede tener un efecto importante en la resistencia a la compresión del concreto permeable (ACI 522, 2006). En la figura N°13, podemos observar el contenido de vacíos en función de la relación agua – cemento, con dos valores diferentes de compactación.

Figura 13. Relación entre el contenido de vacíos y la relación a/c.

Adaptado de “Control de calidad y colocación de concretos permeables” por Lopez Emiliano, 2012.

2.7.5 Durabilidad – ACI 522 R10

La durabilidad del concreto drenante se refiere a la vida útil bajo las condiciones climáticas, ataque químico y a la abrasión. No existen investigaciones sobre las resistencias del concreto

drenante al ataque agresivo por los sulfatos o agua ácida; la durabilidad del concreto drenante bajo condiciones de congelación y descongelación, tampoco está bien documentada (ACI 522R-10).

Resistencia a la congelación y deshielo:

Los ciclos de hielo y deshielo en el concreto drenante es uno de los agentes más destructivos, debido a su gran influencia, cuando el agua se congela tiende a expandirse aproximadamente un 9%. Si los microporos de la pasta están saturados durante el proceso de congelación, entonces la presión hidrostática se acumula cuando la congelación progresa. Se debe tener en cuenta a qué condiciones el concreto drenante estará expuesto, las pruebas indican que la incorporación de aire en la pasta de cemento puede mejorar la durabilidad del concreto drenante ante la congelación y descongelación. Se recomienda espesores de 15 a 60 cm de bases granulares sin finos, por debajo del concreto drenante. Además, el concreto drenante parcialmente saturado debería tener suficientes vacíos para el desplazamiento del agua, obteniendo así una buena resistencia a la congelación y deshielo.

Resistencia a los sulfatos:

Muchos sulfatos presentes en el suelo y en el agua pueden atacar y destruir el concreto drenante. Las reacciones generan presiones para romper la pasta del cemento. El sulfato de calcio ataca el aluminato de calcio hidratado y forma etringita. El sulfato de sodio reacciona con el hidróxido de calcio y aluminato de calcio hidratado, formando yeso y etringita. El sulfato de magnesio ataca al sulfato de sodio y forma etringita, yeso y brucita. La brucita se forma en primer lugar en la superficie del cemento, consume el hidróxido de calcio, baja el pH en la solución de los poros y entonces descompone el silicato de calcio hidratado. (Howard J. Seltman. 2013).

2.7.6 Absorción acústica – ACI 522 R 10

El alto volumen de los poros del concreto drenante permite que sea altamente efectivo en la absorción acústica. El material puede ser empleado como un medio para reducir el ruido generado por la fricción entre las llantas y la capa de rodadura del pavimento drenante. Este tipo de pavimento altera la generación del ruido, minimizando el bombeo del aire entre la superficie de la llanta y la superficie de la carretera. Además, los vacíos absorben el sonido a través de la fricción interna entre el particular de aire en movimiento y las paredes de los vacíos (ACI 522 – R10, 2006). El coeficiente de absorción “ α ” es una medida de la capacidad

de un material para absorber el sonido, cuando el coeficiente de absorción es 1,0 indica que el material es puramente absorbente, mientras que un material con coeficiente 0 es puramente reflectante. El concreto convencional, por ejemplo, tiene un coeficiente de absorción de 0.03 a 0.05. El concreto drenante tiene valores típicamente cerca de 1,0. El coeficiente de absorción depende de la frecuencia de las ondas sonoras que inciden, y, por lo tanto, es importante seleccionar un espesor de concreto drenante adecuado a fin de minimizar sonidos de la frecuencia deseada.

En la figura N° 14 se muestra como la estructura abierta del pavimento drenante disminuye el nivel de intensidad del ruido.

Figura 14. Comparación entre un pavimento convencional y drenante.

Adaptado de "Design pavement pervious concrete" por Schaefer, 2014.

2.8 Patologías del pavimento drenante

Las causas de los deterioros de los pavimentos drenante de concreto se originan en diferentes etapas que van desde el proyecto, selección de los materiales, proceso de construcción, el uso y mantenimiento.

Si bien los pavimentos drenantes se diseñan para tener una vida útil de 20 a 30 años, en algunos casos se encuentran fallas prematuras antes de los cinco años de vida. Es importante tener el conocimiento del clima de la región, para saber a qué condiciones se expone el pavimento drenante. (Mario Becerra, 2013).

Cualquier falla del diseño en la selección de los materiales o del proceso constructivo, puede provocar el deterioro prematuro del mismo y no cumplir con el tiempo previsto de servicio, pese a que las patologías no se manifiestan desde un principio.

De esta manera, las buenas prácticas constructivas son fundamentales para producir un pavimento drenante duradero y de gran desempeño.

La gran parte de las patologías de los pavimentos drenantes se originan a temprana edad.

- Contracción plástica.
- Agrietamiento por fatiga.
- Escalonamiento entre losas.
- Desgaste por abrasión.
- Reacción Álcali – Agregados.
- Contracción por secado.

2.8.1 Contracción plástica

La contracción plástica del concreto ocurre cuando éste se encuentra en estado plástico, y durante las primeras horas que ha sido colocado. Se presenta en condiciones ambientales extremas, como altas temperaturas, bajas humedades y altas velocidades de viento, lo que origina la rápida evaporación del agua de la superficie del concreto. Esta evaporación de agua ocasionada por el sol y el viento provoca la contracción en la superficie del concreto, sometándolo a grandes esfuerzos internos en una etapa en la que aún no ha alcanzado la suficiente resistencia a la tensión para soportar estos esfuerzos, por lo tanto, se ve agrietado la superficie.

Las fisuras por contracción plástica pueden afectar el desempeño de la estructura y disminuir su durabilidad. Por lo tanto, es importante controlar, evaluar y evitar la aparición de fisuras por contracción plástica para lograr estructuras más durables que aseguren un ciclo de servicio aceptable con el menor costo de mantenimiento. (Mario Becerra, 2013).

2.8.2 Agrietamiento por fatiga

El agrietamiento por fatiga inicia a partir del fondo de la losa o bien desde la superficie. El inicio del agrietamiento se debe al desarrollo de esfuerzos críticos de tensión en la losa de concreto en ciertas ubicaciones dentro del pavimento.

La falla por fatiga ocurre entre la acción repetitiva de cargas dinámicas sobre el concreto, causando esfuerzos que forman micro fisuras en el material y que luego lo llevan a la ruptura. Los factores que afectan los pavimentos drenantes se encuentran el número de aplicaciones de carga, la resistencia y módulo de ruptura, espesor de la losa de concreto, espaciamiento entre juntas, tiempo de curado y edad del concreto. (Gaurav Uttam Shinde, Vljunkar S. S. 2015).

El agrietamiento por fatiga causa fisuras transversales como longitudinales. Las fisuras transversales se originan por lo general en la orilla del pavimento y las longitudinales en medio de las huellas de los vehículos.

2.8.3 Escalonamiento entre losas

Es factible de asociar a una falta de transferencia de carga entre dos losas consecutivas, ya sea por escasez o ausencia de pasa-juntas / Dowells, o bien por una capacidad de apoyo deficiente del material de base. En el concreto drenante es común utilizar en lugar de pasa juntas, se realiza un sobre espesor a la losa, controlando el escalonamiento entre losas. (Mario Becerra, 2013).

Desde un punto de vista estructural, este tipo de deterioro se asocia a las deflexiones máximas que se pueden observar en las esquinas de las losas. Es usual explicar el escalonamiento a partir del fenómeno del bombeo, que se presenta cuando el material de base es erosionable, está saturado y la intensidad del tráfico vehicular es muy alta.

2.8.4 Desgaste por abrasión

La abrasión del concreto es definida como el desgaste a su superficie debido a procesos de fricción o rozamiento. Si bien las partículas arrastradas por el viento pueden tener efecto abrasivo sobre las superficies del concreto, la más importante abrasión en los pavimentos es producida por la circulación de vehículos o rodadura de máquinas. Entre los factores que disminuyen la resistencia del concreto a la acción de agentes abrasivos se pueden indicar a la exudación del concreto, la resistencia a la compresión, propiedades de los agregados, el procedimiento y tiempo de fraguado. (Mario Becerra, 2013).

2.8.5 Reacción álcali-agregados

Es un tipo de deterioro que ocurre cuando los constituyentes minerales activos de algunos agregados reaccionan con los hidróxidos de álcalis en el concreto. La reactividad es potencialmente peligrosa sólo cuando produce expansión considerable. Esto ocurre de dos una de ellas es la reacción álcali-sílice (RAS) y reacción álcali-carbonato (RAC). La reacción álcali-sílice es más preocupante que la reacción álcali-carbonato, ya que es más común la ocurrencia de agregados conteniendo minerales de sílice.

La reacción álcali-agregados es un deterioro de proceso lento, el riesgo de rotura catastrófica es bajo, sin embargo, puede generar problemas en el uso en el servicio como en la funcionalidad.

El uso de materiales cementante como cenizas volantes, escoria granulada de alto horno o humo de sílice permiten controlar la reacción álcali-sílice, sin embargo, no controlan la reacción álcali-carbonato.

2.8.6 Contracción por secado

La contracción por secado es la deformación más importante no dependiente de las cargas aplicadas que experimenta el concreto drenante y es considerado una de las principales causas de su fisuración. Los parámetros que más afectan la contracción por secado son la humedad relativa, la velocidad y duración del secado.

La magnitud de la contracción por secado depende de diversos factores, algunos de ellos es la composición del concreto, las condiciones ambientales, entre otros. Durante el secado el concreto se contrae. Las fisuras aleatorias se pueden desarrollar si las juntas no están separadas adecuadamente y el concreto está restringido en cuanto a su acortamiento. Las juntas de contracción de losas sobre el terreno deben espaciarse con distancias de 24 a 36 veces el espesor de la losa para que se pueda controlar las fisuras aleatorias. En el concreto drenante, el secado es muy rápido debido a la relación agua /cemento con el que se diseña. El concreto drenante tiene una contracción, menor a dos veces de la contracción del concreto convencional.

2.9 Conformación del pavimento drenante

La estructura del pavimento de concreto drenante es diseñado para satisfacer dos funciones principales; el primer propósito principal del pavimento de concreto drenante es proporcionar una superficie resistente sometida a cargas de tránsito moderado, por otro lado, el segundo propósito principal del pavimento es ser una solución efectiva para la captación de aguas pluviales. (Cabello Sequera Sandra, 2015).

La estructura del pavimento drenante consiste en tres capas, la primera de ella es una capa de rodadura que permite la filtración del agua, que puede ser de diferentes materiales como asfalto, concreto, arcilla o grava; en segundo lugar, se encuentra una capa de material granular fino, que tiene como fin permitir una adecuada instalación de la capa de rodadura y, por último, una capa compuesta por un material granular de gran tamaño donde el agua se almacena.

Los pavimentos drenantes se diseñan específicamente para promover la infiltración de las aguas pluviales mediante las diferentes capas, lo cual permite tener un impacto positivo en

el medio ambiente mediante el manejo de aguas de lluvias, ya sea para una futura reutilización (Fletcher, Deletic, Mitchell y Hatt, 2016).

2.9.1 Sub rasante

Una subrasante bien preparada y uniforme es esencial para la construcción de un pavimento de calidad, esta capa tiene un espesor mínimo de 150 mm y debe estar compuesta por material granular y contener poca cantidad de finos. La subrasante no debe ser alterada, saturada o congelada antes de la colocación del concreto, ya que el pavimento de concreto permeable tiene una humedad determinada y si la subrasante está en condiciones secas, el pavimento reducirá su resistencia porque el suelo absorberá el agua del concreto. Para garantizar la compactación uniforme, debe rastrillarse y compactarse las deformaciones causadas por la maquinaria que utiliza la vía antes de la colocación del concreto.

2.9.2 Sub base

La capa de sub-base es la porción de la estructura del pavimento drenante, que se encuentra entre la sub-rasante y la capa de rodadura, consiste de una o más capas compactadas de material granular o estabilizado.

La sub-base se puede utilizar para infiltrar y retener el agua. En el caso de infiltración, la subrasante (suelo natural) debe tener la capacidad de poder recibir el agua y cuando se tiene que aprovechar estas aguas recolectadas, el suelo tiende a ser impermeable.

La sub-base se agrega a la estructura del pavimento para darle un mayor espesor, o para almacenar más agua, cuando se descarga a una tubería o se infiltra en el suelo; proporciona soporte vertical al pavimento aumentando la rigidez para el soporte de las cargas que actuarán sobre la estructura. Las sub-bases del pavimento drenante generalmente son compactadas a una densidad menor en comparación al pavimento tradicional, el nivel de compactación es típicamente de un 90% de la máxima densidad seca. La compactación en algunos suelos arcillosos al 90% puede causar una reducción de la permeabilidad, mientras que la compactación de suelos arenosos a un 100% no tiene ningún efecto.

Adicionalmente, la subbase debe comportarse como un material drenante, siendo esta característica necesaria para el flujo continuo del agua pluvial, para lo cual el porcentaje de porosidad se encuentra entre 20% a 40% de vacíos, utilizándose una grava limpia. En caso de no contar con material gravoso para conformar la sub-base, se recomienda impermeabilizar la sub-base con un geosintético.

2.9.3 Capa de rodadura

La capa de rodadura es la capa superior de la estructura del pavimento drenante. Está diseñada para recibir directamente la carga de tráfico prevista y los efectos desintegradores a la abrasión de este, además, debe proporcionar cualidades tales como apariencia y la accesibilidad. Es probable que esté hecha de un material relativamente costoso, donde el diseño del espesor de la capa de rodadura se rige bajo la norma AASHTO 1993, teniendo en cuenta que la resistencia debe estar entre los siguientes parámetros: 210 kg/cm² – 280 kg/cm². La National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) recomienda utilizar secciones de 150 mm en el pavimento drenante, esto se basa en una data histórica de los EEUU, ya que no hay espesores estándar para el uso en calles por lo que para un tráfico moderado debe estar en un rango de 100 a 200 mm el espesor.

MÉTODO DE DISEÑO DEL ESPESOR AASHTO (1993)

Actualmente, no existe un método de espesor aceptado para pavimentos de concreto drenante, es por ello que se evaluará y analizará mediante el método de diseño AASHTO (1993), para su aplicación y medir el rendimiento.

Los criterios para el diseño estructural de un pavimento drenante deben ser aquellos que proporcionen la capacidad portante adecuada a la categoría de tráfico que deba soportar el pavimento, sin que esta sufra deformaciones importantes.

El diseño del pavimento drenante está involucrado por el análisis de diversos factores como el tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de servicio deseado y el grado de confiabilidad de acorde a las necesidades requeridas. La fórmula N°1 es utilizada para determinar el espesor de la capa de rodadura, utilizando los siguientes parámetros:

$$Log_{10} W_{82} = Z_R S_o + 7.35 Log_{10} (D + 25.4) - 10.39 + \frac{Log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_i) \times Log_{10} \left(\frac{M_r C_{dt} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c / k)^{0.25}} \right)} \right)$$

Fórmula 1. Cálculo de la capa de rodadura.

Dónde:

- W18, Número de ejes equivalentes.
- Z_R, Coeficiente estadístico de desviación estándar.
- S_o, Desviación estándar combinada.

- D, es el espesor del pavimento
- ΔPSI , Variación de serviciabilidad.
- Sc , es el módulo de rotura a flexotracción del concreto
- Cd , es el coeficiente de drenaje
- Ec , es el módulo de elasticidad del concreto
- K , módulo de reacción de la subrasante

2.10 Construcción del pavimento drenante

2.10.1 Preparación de sub – rasante y sub – base

Para la preparación de la sub rasante es necesario extraer muestras y someterlas a pruebas de permeabilidad y capacidad de carga. El pavimento de concreto drenante tiene una losa que distribuye las cargas sobre una gran área, similar a la del pavimento de concreto convencional, esta distribución de cargas disminuye la presión en la subrasante y elimina la necesidad de grandes espesores de la subrasante.

La subrasante debe garantizar su correcta funcionalidad tanto en condiciones secas como húmedas, permitiendo una adecuada construcción del pavimento de concreto drenante, específicamente cuando están expuestas al agua de lluvia. (Velásquez Días José, 2011),

Dependiendo del tipo de suelo, la subrasante debe compactarse entre 90 y 95% de la densidad seca. El espesor de la capa de la subbase es debe ser mínimo 15 cm, estando compuesta por material granular y poca cantidad de finos.

También es usado los geosintéticos, para evitar el lavado de finos de la sub rasante y sub base, transportando el agua de lluvias en su totalidad hacia una tubería de drenaje subterránea, como se muestra en la figura N°15.

Figura 15. Corte transversal del pavimento drenante.

Adaptado de “Pervious concrete pavements” por Tennis Paul D, 2014.

2.10.2 Colocación de pavimento drenante

La colocación del concreto drenante debe de ser terminado lo más rápido posible, esto se debe a que es un concreto especial de baja fluidez, puesto que es considerado una mezcla seca y al estar expuesto a la intemperie la mezcla va perdiendo agua, provocando un secado en la pasta.

Por lo general, el vaciado del concreto drenante se hace por una descarga directa de la mezcladora hacia el terreno, para lugares donde los camiones mixers no pueden alcanzar se deberán de emplear otras tecnologías como fajas transportadoras o boogies.

El bombeo en este tipo de concreto no es recomendable, ya que posee una consistencia casi nula o nula. Durante el proceso de descarga se deben de realizar inspecciones al concreto, este debería de tener un aspecto brillante, en caso de que se presenten grumos significa que la humedad en el concreto no es la requerida por lo que se deberá de rechazar la mezcla. La descarga del concreto debe de ser continua y se debe de rastrillar para que se acomode de manera uniforme en el terreno evitando la apariencia de huecos. (Kevern John T., Schaefer Vernon R., Wang Kejin, 2013). Los lugares que están cerca a los encofrados deberán de ser compactados con herramientas manuales para asegurar que los bordes mantengan su integridad estructural una vez que se hayan removido los encofrados y el concreto sea usado para su servicio. La consolidación debe completarse dentro de los 15 minutos posteriores a la colocación. En la figura N° 16 se evidencia lo mostrado anteriormente.

Figura 16 Colocación y enrasado del pavimento drenante.

Adaptado de "Pervious concrete pavements" por Tennis Paul D, 2014.

2.10.3 Compactación del pavimento drenante

La compactación del concreto drenante se realiza mediante un rodillo, con el fin de obtener una buena adherencia entre la pasta y el agregado. Este rodillo debe ser de un ancho adecuado para que se desplace por el encofrado con una presión vertical mínima de 0.7 kg/cm² (ACI 522, 2006), este rodillo pesa aproximadamente de 270 a 320 kg.

El tiempo de compactación no debe exceder los 20 minutos después de la vibración del concreto, esto se debe a que la mezcla contiene un gran porcentaje de vacíos permitiendo que la pérdida de humedad se produzca a gran velocidad y, además, el inicio de la fragua se produce en un corto plazo. En la figura N° 17 se muestra lo mencionado anteriormente.

Figura 17. Compactación del pavimento drenante.

Adaptado de "Pervious concrete pavements" por Tennis Paul D, 2014.

2.10.4 Juntas en el pavimento drenante

Las juntas de contracción en el concreto drenante se colocan en intervalos de 6 m (GCPA, 2008), para evitar el agrietamiento, estas deben tener una profundidad entre 1/3 y 1/4 del espesor del pavimento, por lo que los equipos convencionales no pueden ser usados, debido que los equipos convencionales al realizar el corte dejan una "rebaba" o residuos de pasta, ya que al endurecerse obstruiría el paso del agua. Se recomienda un rodillo especial con hoja filosa. Las juntas longitudinales se colocan en el medio del ancho del carril, estas juntas pueden ser hechas con el concreto en estado endurecido con el uso de una sierra cortadora, cuando el ancho del carril excede los 4.50 m. Una vez realizado el corte en el concreto endurecido se deberá de cubrir inmediatamente la zona con el material de curado. En la figura N° 18 se evidencia lo mencionado.

Figura 18. Corte de las juntas del pavimento drenante.

Adaptado de “Pervious concrete pavements” por Tennis Paul D, 2014.

2.10.5 Curado del pavimento drenante

El curado facilita la hidratación del cemento. La estructura del concreto drenante hace que el curado sea de mucha importancia ya que lo hace más susceptible a secarse con mayor velocidad, esto se debe a que es considerada una mezcla seca, puesto que las relaciones agua – cemento están en rangos de 0.27 a 0.34. Un proceso erróneo de curado en los primeros 7 días puede reducir la durabilidad de la superficie en un 60% (ACI 522, 2006).

Se deberá usar un material de cobertura de polietileno de 0.15 mm de espesor y de suficiente tamaño como para cubrir el ancho de la carpeta. Los materiales tejidos como arpilleras y geotextiles no deberían de ser empleados, no ayudan a mantener la humedad óptima en el concreto, para fijar las hojas de polietileno en su lugar se deben de usar estacas de madera, pedazos de madera u otros métodos. Para un curado apropiado el pavimento debe de estar cubierto entre 7 a 10 días y ningún tipo de carga por tráfico debería de actuar sobre el elemento durante el proceso de curado. Este proceso debe de comenzar máximo 20 minutos después de que se haya terminado la compactación. En la figura N° 19 y 20 muestra la correcta protección y curado del concreto drenante.

Figura 19. Corte de las juntas del pavimento drenante.

Adaptado de "Pervious concrete pavements" por Tennis Paul D, 2014.

Figura 20. Curado del pavimento.

Adaptado de "Pervious concrete pavements" por Tennis Paul D, 2014.

2.10.6 Protección del pavimento drenante

En climas fríos se debe de proteger al concreto drenante de congelarse y de mantener una humedad óptima para que llegue a sus propiedades físicas deseadas. Las mantas de curado son suficientes para lograr estos resultados.

En climas calientes el transporte, la colocación y el compactado deberán de hacerse lo más rápido posible. Se recomienda utilizar un retardante que evite la evaporización del agua, aplicar luego del enrasado para evitar que la mezcla pierda agua en ese proceso.

2.10.7 Mantenimiento del pavimento drenante

El mantenimiento del concreto drenante consiste básicamente en prevenir la obstrucción de los poros por la llegada de sedimentos. Los dos métodos de mantenimiento más comunes para la limpieza del concreto permeable son el lavado a presión y el aspirado. El lavado a presión empuja a los contaminantes para que pasen a través de la estructura del pavimento evitando que los vacíos en el concreto se obstruyan, este método es muy efectivo, pero se debe de tener cuidado pues si la presión del agua es muy alta esta podría dañar el pavimento. El aspirado lo que hace es extraer los contaminantes de los poros del concreto. La manera más efectiva de proveerle un buen mantenimiento al concreto drenante es usar ambos métodos, primero se le aplicará el lavado a presión y de ahí se procederá a aspirar los contaminantes del concreto. La limpieza del concreto drenante es recomendable hacerla una vez al año después del periodo de lluvia. En la tabla se muestra un esquema adaptado del ACI para el mantenimiento de concretos drenantes. Estudios de la empresa inglesa Marshalls

especialista en pavimentos drenantes afirman que, aunque el concreto drenante no reciba ningún tipo de mantenimiento por 10 años este igual mantiene un 20% de su permeabilidad original.

La tabla N° 6 indica el periodo a realizar cada actividad de mantenimiento en el pavimento de concreto drenante.

Tabla 6
Mantenimiento del pavimento drenante.

Actividad	Revisión
Asegurarse de que no haya tierra en el pavimento.	Mensual
Siembre vegetación en el área aguas arriba.	Ocasiones especiales
Limpieza con aspiradora.	Ocasiones especiales
Inspeccione la superficie en búsqueda de deterioros.	Anual

Nota: Mantenimiento del pavimento drenante.

Adaptado de “ACI 52. American Concrete Institute”, por Scott Erickson, 2016.

2.11 Inspección y control del pavimento drenante

Es importante verificar la calidad del pavimento drenante para garantizar el buen funcionamiento y su vida útil. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, MTC 2016) Se realizan pruebas para saber las condiciones de la subrasante y asegurar el grado de compactación, mediante el ensayo del CBR. Por otro lado, los ensayos que se realizan a la carpeta de rodadura se deben hacer tanto en estado fresco y endurecido para asegurar la calidad de este. La mayoría de los ensayos actuales son métodos del ASTM y AASHTO, los cuales se pueden aplicar a un pavimento drenante; sin embargo, debido a las características físicas de este concreto no todas las pruebas de concreto simple se pueden aplicar. La figura N° 21 evidencia el ensayo de cono de arena para verificar el grado de compactación del terreno.

Figura 21. Ensayo de grado de compactación del terreno.

Adaptado de Propia, 2017.

2.11.1 Inspección y prueba pre – construcción

Es necesario que se realicen ensayos al terreno de fundación, de los cuales los más importantes son el nivel de compactación, el contenido de humedad y permeabilidad. Se debe realizar el ensayo granulométrico (ASTM D 422), clasificación del suelo (ASTM D 2487) y peso volumétrico obtenido en pruebas Proctor estándar (ASTM D 698). Los resultados de estos ensayos proveerán los datos necesarios para diseñar. Los procedimientos están estandarizados por la ASTM, y para el debido control deben realizarse sin modificaciones antes de la colocación del concreto.

2.11.2 Inspección y prueba construcción

Para el control de peso volumétrico, porcentaje de vacíos, rendimiento, percolación y otras propiedades del concreto drenante, no se puede utilizar los métodos comunes debido a las características de la mezcla. Los criterios de aceptación tienen dos aspectos distintos. El primer criterio se basa en la mezcla tal como es entregada y se basa en el peso volumétrico. La prueba de la mezcla debe realizarse de acuerdo al ASTM C 172 y ASTM C 29. La aceptación debe ser un valor $\pm 80 \text{ kg/m}^3$ del peso volumétrico de diseño.

2.11.3 Inspección y post - construcción

El segundo criterio de aceptación está basado en el pavimento terminado. La obtención de tres muestras dará lugar a la aceptación de espesor, contenido de vacíos y peso volumétrico del concreto.

Una supervisión visual puede mostrar que el concreto drenante falle en cualquiera de sus propiedades, por ejemplo, si se observa una estructura totalmente cerrada, se podrá indicar

que el pavimento no funcionará adecuadamente, y las secciones que muestren estas características deberán ser removidas y reemplazadas. Tener en cuenta que los pavimentos drenantes pueden tener una mayor variabilidad en el espesor cuando se los coloca en un subsuelo de pendientes abiertas, en comparación con los pavimentos convencionales.

3 PLAN EXPERIMENTAL PARA EL DESARROLLO DEL CONCRETO DRENANTE

Elaboración del plan experimental del concreto drenante, en base a los parámetros establecidos, las cuales son contenido de vacíos, relación agua – cemento y reductor de agua para la elaboración de las once mezclas a ensayar.

3.1 Definición del plan experimental

La principal característica del concreto drenante es su capacidad de infiltración. La permeabilidad de este concreto se obtiene mediante el uso de un porcentaje de vacíos que se considera en el diseño y con carencia en el empleo de agregado fino. La resistencia del concreto se obtiene mediante la adherencia de la pasta (cemento y agua) a los agregados. Es por ello que se realizó un plan experimental con la finalidad de identificar y minimizar los ensayos para la dosificación ideal de la mezcla sin sacrificar la calidad de los resultados, debido que el plan experimental se basa en un análisis estadístico en base a una o más variables, evaluando las propiedades de resistencia la compresión a los 7 y 28 días, la permeabilidad del concreto drenante y la fluidez que puede obtener la mezcla en base al comité del ACI 522 – R10.

Los diseños de la mezcla se obtienen por regresión lineal, donde se comprende las interacciones que pueden existir entre las variables seleccionadas. Las variables independientes consideradas son el porcentaje de vacíos, la relación agua cemento y el aditivo reductor de agua. Se determinó que el porcentaje de vacíos debe variar entre 10% a 20%, por otro lado, la relación agua cemento se fijó en 0.27 a 0.34, por último, el aditivo reductor de agua se estimó es un porcentaje de 0.2% a 0.3%. En base a un análisis preliminar, se establecieron estos parámetros como adecuados, para obtener alta resistencia con permeabilidad moderada, que cumpla con lo establecido por el comité ACI 522-R10, dichos parámetros se muestran en la tabla N° 7.

Tabla 7
Párametros

Parámetros	-1	0	1
Contenido vacíos (%)	10	15	20
Relación a/c	0.27	0.31	0.34
Aditivo reductor (%)	0.2	0.25	0.3

Nota: Parámetros principales para el diseño de la dosificación del concreto drenante.

Adaptado por propia, 2017.

En la tabla N°8 se muestra el plan experimental, en base a los tres factores mencionados anteriormente, se utiliza una matriz para disminuir las probabilidades de ensayos con buenos resultados, interpolando las variables principales.

Tabla 8
Plan experimental.

PLAN EXPERIMENTAL 2 ³ CONCRETO DRENANTE						
N° mezcla	Contenido de vacíos	a/c	Reductor de agua	Contenido de vacíos	a/c	Reductor de agua (%)
M-1	1	1	1	20	0.34	0.30
M-2	1	1	-1	20	0.34	0.20
M-3	1	-1	1	20	0.27	0.30
M-4	1	-1	-1	20	0.27	0.20
M-5	-1	1	1	10	0.34	0.30
M-6	-1	1	-1	10	0.34	0.20
M-7	-1	-1	1	10	0.27	0.30
M-8	-1	-1	-1	10	0.27	0.20
M-9	0	0	0	15	0.31	0.25

Nota: Diseño de mezclas propuestas en el plan experimental.

Adaptado por propia, 2017.

3.1.1 Evaluación de las propiedades de los materiales

- ENSAYO DE GRANULOMETRÍA – ASTM C136 / NTP 400-012

Este ensayo se realiza para determinar la distribución de los diferentes tamaños de partículas que conforman al agregado.

En el agregado fino se determina el Módulo de fineza (MF), cuyos parámetros son entre 2.0 a 3.1 según el comité del ACI 318. En el agregado grueso determinamos el Tamaño Máximo

Nominal (TMN) y el Módulo de fineza (MF). La fórmula N°2 nos permite hallar el módulo de fineza de los agregados.

Según NTP 400.012 se debe tomar una cantidad mínima de 2 kg para el muestreo ya que el Tamaño Máximo Nominal es ½”.

$$MF = \frac{\sum \% R.A.c. 3+1 \frac{1}{2} + \frac{3}{4} + \frac{3}{8} + \#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#5 + \#100}{100}$$

Fórmula 2. Cálculo del módulo de fineza.

- PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS

Las tablas N° 9, 10, 11, muestran las principales propiedades de los agregados utilizados y evaluados en laboratorio, los cuales cumplen con los estándares de calidad comportándose como agregados correctos para la elaboración de la mezcla de concreto drenante.

Tabla 9
Propiedades del agreado Huso 67.

Propiedad		Huso # 67	UND
Tamaño Máximo Nominal	TMN	3/4	"
Peso Específico	Pe	2755.6	kg/m³
Peso Unitario Suelto	Pus	1667.4	kg/m³
Peso Unitario Compactado	Puc	1821.3	kg/m³
% Absorción	a%	0.68	%
% Humedad	C.H. %	0.37	%

Nota: Principales propiedades del Huso 67.

Adaptado por propia, 2017.

Tabla 10
Propiedades del agreado Huso 7.

Propiedad		Huso # 7	UND
Tamaño Máximo Nominal	TMN	1/2 "	
Peso Específico	Pe	2696.9	kg/m ³
Peso Unitario Suelto	Pus	1478.8	kg/m ³
Peso Unitario Compactado	Puc	1620.5	kg/m ³
% Absorción	a%	1.02	%
% Humedad	C.H. %	0.30	%

Nota: Principales propiedades del Huso 7.

Adaptado por propia, 2017.

Tabla 11
Propiedades del agregado fino.

Propiedad		Agregado Fino	UND
Módulo de fineza	MF	2.48	
Peso Específico	Pe	2642.1	kg/m ³
Peso Específico Aparente	Pea	2732.7	kg/m ³
% Absorción	a%	1.26	%
% Humedad	C.H. %	0.32	%

Nota: Principales propiedades del agregado fino.

Adaptado por propia, 2017.

ENSAYO DE PESO UNITARIO

Es la cantidad de agregado o material que ocupa en un volumen de metro cubico incluyendo sus vacíos, en estado suelto y compactado y con diferentes pesos. Se expresa en kg/m³ y para fines de diseño de mezcla, el peso unitario debe estar en condición seca.

- ENSAYO DE PESO UNITARIO SUELTO

El material para ensayar con fines de diseño no deberá tener cohesión, debe estar seco. Se tomará una muestra representativa de por lo menos 2 veces mayor al volumen del recipiente a usar. Deberá llenarse el molde con el material dejando caer libremente a una altura de 2” sobre el borde superior del molde.

Tabla 12
Peso unitario suelto.

Peso unitario suelto (kg/m³) – Huso 7	1,479
Peso del molde (kg)	1.65
Volumen del molde (m ³)	0.00281
Peso del molde + Muestra (kg)	5.81
Peso de la muestra (kg)	4.16

Nota: Ensayo de peso unitario suelto.

Adaptado por propia, 2017.

La tabla N°12 muestra los datos necesarios para hallar el peso unitario suelto del agregado, en este caso el agregado grueso es Huso 7, con peso unitario suelto de 1,479 kg/m³, según la Norma NTP 400.017 el peso unitario suelto se debe encontrar en el rango de 1,400 a 1,600 kg/m³, al observar nuestro resultado, el agregado se encuentra dentro de los límites recomendados.

- ENSAYO DE PESO UNITARIO COMPACTADO

La muestra por ensayar debe estar seca y debe carecer de cohesión si es que el ensayo se va a utilizar con fines de diseño, llenar el envase en tres capas de igual volumen y cada capa compactarlo mediante 25 golpes con la varilla metálica. La tabla N°13 muestra los tres datos que debemos tener (Peso del molde, volumen del molde, peso de la muestra) para hallar el peso unitario compactado.

Tabla 13
Peso unitario compactado.

Peso unitario compactado (kg/m³) – Huso 7	1620
Peso del molde (kg)	1.65
Volumen del molde (m ³)	0.00281
Peso del molde + Muestra (kg)	6.21
Peso de la muestra (kg)	4.56

Nota: Ensayo de peso unitario compactado.

Adaptado por propia, 2017.

El peso unitario compactado del agregado grueso de la Cantera Flor de Nieve es de 1,620 kg/m³, la Norma NTP 400.017 establece que el peso unitario compactado se debe encontrar

dentro de los valores de 1600 a 1,900 kg/m³, al observar nuestro resultado el material ensayado cumple con lo establecido por la norma.

Contenido de humedad

Se debe determinar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra del agregado tanto fino como grueso. La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados y que no es susceptible de evaporación. La tabla N° 14 indica el contenido de humedad de los agregados.

Tabla 14
Contenido de humedad

Contenido humedad (%) – A. Grueso	0.30%
Suelo húmedo (gr)	2125.70
Peso del suelo seco (gr)	2119.30
Peso del agua (gr)	6.40

Contenido humedad (%) – A. Fino	0.32%
Suelo húmedo (gr)	405.8
Peso del suelo seco (gr)	404.5
Peso del agua (gr)	1.3

Nota Contenido de humedad

Adaptado por propia, 2017.

PESO ESPECÍFICO Y % DE ABSORCION

El peso específico, también llamado densidad, es la relación del peso del material entre el volumen que ocupa sin incluir sus vacíos, en este ensayo se determina el peso específico de la masa, el peso específico saturado con superficie seca y el % de absorción.

El porcentaje de absorción es la cantidad de agua que puede absorber un agregado para llenar sus vacíos.

Tabla 15
Peso específico

Absorción (%) – Huso 7	1.02%
Peso específico (gr/cm³)	2.70
Peso de la muestra seca (gr)	2,158.30
Peso de la muestra saturada (gr)	2,180.30
Muestra saturada dentro del agua	1,380.00
Peso específico de la muestra saturada (gr/cm ³)	2.72
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.77

Peso Específico aparente (gr/cm³) – A. Fino	2.73
Absorción (%)	1.26%
Peso del recipiente (gr)	163.50
Peso de la muestra superficialmente seca (gr)	500.00
Peso del recipiente + Muestra superficialmente seca (gr)	663.50
Peso del recipiente + Muestra superficialmente seca + Agua (gr)	976.60
Peso del Agua (gr)	313.10
Peso de la arena seca (gr)	493.80
Volumen del recipiente (ml)	500.00

Nota Ensayo de peso específico y % de absorción

Adaptado por propia, 2017.

La tabla N°15 muestra los valores del peso específico aparente y porcentaje de absorción del agregado, el cual es considerado pesado, ya que es mayor que 2.65 gr/cm³ según lo establecido por Norma Técnica Peruana

3.1.2 Formulación de mezclas para el diseño del concreto drenante

La dosificación del concreto drenante se realizó de acuerdo con lo establecido por el ACI 522R-10, donde brinda un método de diseño, consideraciones y tablas empíricas necesarias para la dosificación de los materiales.

Se realizó 11 diseños de mezcla de concreto drenante teniendo en cuenta las variables establecidas en el plan experimental, con el fin de cumplir con los objetivos establecidos.

- **RESUMEN DE DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO DRENANTE**

La tabla N°16 muestra las dosificaciones a utilizar para cada diseño de concreto drenante, según indica el plan experimental.

Tabla 16
Resumen de dosificaciones de mezclas.

Mezcla	Relación a/c	Cemento (kg)	Agua (kg)	A. Grueso (kg)	A. Fino (kg)	Reductor agua (kg)	Retardante fragua (kg)
M1	0.34	328	112	1490	77	0.98	0.66
M2	0.34	330	112	1490	77	0.66	0.66
M3	0.27	367	99	1490	77	1.10	0.73
M4	0.27	370	99	1490	77	0.74	0.74
M5	0.34	498	170	1490	77	1.50	1.00
M6	0.34	499	170	1490	77	1.00	1.00
M7	0.27	558	150	1490	77	1.67	1.12
M8	0.27	560	151	1490	77	1.12	1.12
M9	0.31	425	131	1490	77	1.06	0.85
M10	0.30	465	140	1490	77	1.12	0.93
M11	0.32	452	145	1490	77	1.13	0.90

Nota Resumen de dosificaciones de mezclas

Adaptado por propia, 2017.

3.1.3 Preparación de mezclas en el laboratorio

Puesto, que el concreto está compuesto por una mezcla muy seca y a su vez especial, necesita un proceso de mezclado diferente al concreto tradicional (Delatte Norbert 2014). Para que los materiales puedan mezclarse en su totalidad, y de esta manera tener una mezcla homogénea, permitiendo así que el cemento llegue a hidratarse por completo.

A continuación, se mostrarán tres pasos para la correcta preparación de la mezcla. Este proceso es necesario al ensayar proporciones pequeñas de laboratorio.

Pasos:

- Primer paso: Se debe introducir todo el agregado grueso al trompo mezclador, por consiguiente, se añade un 5% de la cantidad total de cemento y se mezcla por alrededor de un minuto.

- Segundo paso: Se incluye la arena y aditivos disueltos en agua por separado, esta adición se mezcla por 30 segundos.
- Tercer paso: Por último, introducir al trompo mezclador, el resto de cemento y agua, este conjunto se mezcla por tres minutos y debe reposar por tres minutos, por último, se vuelve a mezclar por dos minutos más.

Cabe resaltar que previo a este proceso, el trompo mezclador deberá ser lubricado con una pequeña cantidad de agua, para evitar la adherencia del cemento en las paredes del trompo mezclador - pérdida de cemento (Marks Andrew, 2013). En la Figura N° 22 se muestra la consistencia y trabajabilidad de la mezcla.

Figura 22. Trabajabilidad de la mezcla.

Adaptado de Propia, 2017.

3.2 Diseño de la capa de rodadura del pavimento drenante

En base a los parámetros detallados en la tabla N°17, establecidos por el método AASHTO 93, se procedió a dimensionar el espesor de la capa de rodadura, obteniendo 10 cm como espesor final, y cumpliendo con todas las exigencias para el buen funcionamiento de la vía abierta para un tránsito urbano.

Tabla 17

Diseño de capa de rodadura.

Item	Cantidad	Unidad
Espesor de la capa de rodadura	10	cm
Total ESALs	500 000	
Confiabilidad	60	%
Desviación estándar	0.35	

Resistencia a la flexión	40	Pa
Módulo de elasticidad	28 000	Mpa
Coefficiente de transferencia de carga	3.6	
Módulo de reacción de la sub-base	85	Mpa/m
Coefficiente de drenaje	1	
Serviciabilidad inicial	4.5	
Serviciabilidad final	2	

Nota Consideraciones para el cálculo del espesor de la capa de rodadura del pavimento drenante

Adaptado por propia, 2017.

- ESALs, mediante un estudio de tránsito se determinó que para una vía de tránsito urbano el mayor ESALs que puede obtener es 500 000.
- Confiabilidad, en este caso se utilizó una confiabilidad de 60 %, puesto que no es una vía de alto tránsito y debe estar en un rango de confiabilidad mayor a 50% y menor a 80 %.
- Desviación estándar, depende del porcentaje de confiabilidad, puesto que el porcentaje de confiabilidad es 60% la desviación estándar es 0.35. Resistencia a la flexión, 40 Pascales es la resistencia mínima a la flexión que debe tener el concreto para evitar fisuras y el deterioro inmediato del pavimento.
- Módulo de elasticidad, 28 000 Mpa es la correlación al módulo de rotura o resistencia a la flexión de 40 Pascales.
- Coeficiente de transferencia de carga, al no tener refuerzos de acero, 3.6 es el coeficiente de transferencia de carga a usar.
- Módulo de reacción de la sub-base, es brindado por el estudio de suelos y depende del ensayo de CBR, realizado a la subrasante y subbase. Coeficiente de drenaje, es 1 porque al ser un concreto drenante va a permitir el paso del agua.
- Serviciosabilidad inicial, 4.5 debido a que es el mayor índice de serviciosabilidad inicial y se quiere dar mayor comodidad al conductor.
- Serviciosabilidad final, puede ser como mínimo hasta 1.5, en este caso se optó por una serviciosabilidad adecuada de 2, para evitar el deterioro del pavimento e incomodidades para el conductor.

4 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis de los resultados obtenidos en los distintos ensayos a los que fueron sometidos las once muestras de concreto drenante, tanto en estado fresco como endurecido.

4.1 Presentación de resultados

Tabla 18

Resultados obtenidos de las once mezclas.

Mezcla	Densidad Fresca (kg/m ³)	Vacíos (%)	Relación a/c	f'c 28 días (kg/cm ²)	Slump Instante (")
M1	1985	20	0.34	100	4.0
M2	1997	20	0.34	130	3.0
M3	2030	20	0.27	50	3.5
M4	2028	20	0.27	70	2.5
M5	2032	10	0.34	170	3.0
M6	2030	10	0.34	210	2.0
M7	2265	10	0.27	95	3.5
M8	2270	10	0.27	110	3.0
M9	2115	15	0.31	250	2.8
M10	2165	13	0.30	295	2.5
M11	2150	13	0.32	265	1.5

Mezcla	Slump 1 hora (")	Permeabilidad (cm/s)	T° Instante (°C)	T° 1 hora (°C)
M1	3.3	0.58	20.3	19.5
M2	2.5	0.50	20.8	20.6
M3	3.0	1.15	20.5	19.5
M4	2.0	1.10	20.5	19.8
M5	2.7	0.40	20.9	20.0
M6	3.0	0.10	20.9	20.2
M7	3.0	0.60	20.7	19.9
M8	2.5	0.55	20.7	20.2
M9	2.0	0.08	20.4	20.3
M10	1.5	0.02	20.7	20.0
M11	1.0	0.04	20.7	20.6

Nota Resumen de resultados de mezclas.

Adaptado por propia, 2017.

4.2 Análisis de resultados

Figura 23 Relación a/c – Resistencia a la compresión

Adaptado de Propia, 2017.

- Las mayores resistencias a la compresión (f'_c), se obtienen entre las relaciones agua cemento 0.30 – 0.34, puesto que al ser un concreto especial, no implica que al tener una menor relación agua cemento se obtendrá una mayor resistencia, ya que al no tener agregado fino la mezcla no llega a homogenizarse por completo y el cemento no se hidrata en su totalidad, tal como se evidencia en la **figura N° 23** las resistencias a la compresión de las once mezclas elaboradas.
- Las mezclas ensayadas con relación agua – cemento 0.27 llegaron a obtener resistencias bajas, debido a que, al tener mayor cantidad de cemento, este no se hidrató en su totalidad. Se llega a esta conclusión, puesto que en la mezcla se encontró partículas de cemento en condiciones iniciales (Cemento solo, no pasta).
- Las relaciones agua – cemento de 0.30 a 0.32 superan resistencias a la compresión de 210 kg/cm², por lo que se busca tener un punto intermedio entre los parámetros establecidos por el ACI522 –R10 (0.27 a 0.34), de esta manera se logra la homogeneidad total en la mezcla.
- Las mezclas M9, M10 y M11 cumplen con resistencias a la compresión mayor a 210 kg/cm², permitiendo ser utilizadas como pavimento rígido en zonas urbanas del norte del Perú.

Figura 24. Resistencia a la compresión – Permeabilidad.

Adaptado de Propia, 2017.

- La resistencia a la compresión y la permeabilidad son inversamente proporcional, esto quiere decir que a mayor resistencia menor cantidad de poros o vacíos tal como nos muestra la figura N°24.
- Los valores de permeabilidad son mayores a 0.001 cm/s encontrándose dentro de los parámetros que indica el ACI522-R10, por lo tanto, para este análisis, todas las mezclas cumplen con dicha restricción, a pesar de tener resistencias a la compresión altas.
- La resistencia requerida para el buen funcionamiento de una vía de tránsito moderado cumple con los parámetros de permeabilidad. Siendo M 06, M 09, M 10, M 11 las mezclas con dichas características.

Figura 25. Resistencia a la compresión – % de vacíos y a/c.

Adaptado de Propia, 2017.

- La resistencia a la compresión está directamente relacionada con el porcentaje de vacíos y la relación agua cemento. Por lo tanto, a mayor porcentaje de vacíos menor será la resistencia, se evidencia en la figura N° 25.
- Se busca encontrar una mezcla que sea altamente resistente, se recomienda un porcentaje de vacíos entre 10% - 15%, con permeabilidades entre 0.01 - 0.05 cm/s
- Relaciones agua - cemento entre 0.30 a 0.34 con porcentajes de vacíos entre 9 a 13, permiten alcanzar a resistencias altas mayores a 210 kg/cm²
- Las mezclas que cumplen con las exigencias mencionadas en el punto anterior son, M 6, M 9, M 10 y M 11.

4.3 Ranking de diseños

Para realizar el ranking de los mejores diseños es necesario, tener en consideración los parámetros importantes del concreto drenante, para garantizar su buen funcionamiento, desempeño y durabilidad.

Tabla 19
Ranking de mezclas.

Propiedades	Rango	
	50%	100%
f'c (kg/cm ²)	210	280
Permeabilidad (cm/s)	0.001	1
Slump 1 hora (")	0	2
Densidad (kg/m ³)	1600	2300

Mezcla	f'c (kg/cm ²)	Permeabilidad (cm/s)	Slump (")	Densidad (kg/m ³)
M10	100%	60%	90%	80%
M11	85%	65%	50%	70%
M9	70%	70%	60%	60%
M6	50%	75%	70%	80%
M5	50%	75%	0%	90%
M2	50%	80%	0%	50%
M8	50%	60%	0%	100%
M1	50%	75%	0%	50%
M7	50%	90%	0%	90%
M4	0%	80%	0%	50%
M3	0%	100%	0%	50%

Nota Ranking de mezclas ensayadas.

Adaptado por propia, 2017.

- Las mezclas se ordenaron de acuerdo con las exigencias que requiere un pavimento de concreto drenante, en base a los parámetros brindados por el ACI 522-R10, tal como se muestra en la **tabla N°19**.
- Las mezclas más representativas para una resistencia mayor a los 245 kg/cm² son la mezcla 10, 9 y 11. Sin embargo, existe un mayor costo en la mezcla 11 debido a que se agrega una mayor cantidad de cemento.
- Las mezclas 6, 5, 2, 8, 1 y 7 tienen buenos resultados de permeabilidad, sin embargo, para la resistencia que se requiere no son las óptimas debido a que sus resistencias son menores a los 245 kg/cm².

4.4 Presentación del diseño óptimo

- El diseño elegido, satisface las necesidades, puesto que cumple con los parámetros de permeabilidad, tiene una resistencia a la compresión mayor a 280 kg/cm², su módulo de rotura es 42 kg/cm², y sobre todo trabajable, ya que tiene una fluidez de 3" a 1".
- La relación agua – cemento del diseño óptimo es 0.30 con un porcentaje de vacíos de 13%, con esta relación se obtiene una homogeneidad entre material cementante, agua y agregados. Se adicionó un 5% de agregado fino con respecto al volumen total de agregado, para tener una mayor consistencia en la mezcla, sin afectar la permeabilidad del concreto drenante.
- Se utilizó 0.21% de superplastificante - reductor de agua y 0.20% de retardante de fragua, ya que es una mezcla seca. Se busca con la adición de los aditivos tener mayor trabajabilidad y un proceso de fragua sea más lento.
- A continuación, se presenta en la **tabla N°20** el resumen en pesos (kg) y volúmenes (m³) de los materiales involucrados para el diseño de la mezcla con resistencia a la compresión de 295 kg/cm² y módulo de rotura 42 kg/cm².

Tabla 20

Pesos y volúmenes de la mezcla óptima por metro cúbico.

Materiales		Pesos (kg)	Volumen (m ³)
Cemento		465.00	0.1512
Agua		140.00	0.1397
Agregado grueso		1490.00	0.5536

Agregado fino		77.00	0.0291
Reductor de agua		0.98	0.0003
Retardante de fragua		0.93	0.0003
% Vacíos			0.1263
Total		2177.30	1.00

Nota Volumen de mezcla por metro cúbico.

Adaptado por propia, 2017.

4.5 Reología del diseño óptimo en estado fresco

4.5.1 Fluidéz del concreto drenante

Se realiza pruebas de fluidez en dos tiempos, el primer ensayo de fluidez se realizó al instante en que la mezcla se vertió del trompo mezclador dando como resultado un slump de 2.5". Luego la mezcla es cubierta en el trompo con un polietileno por una hora, tiempo prudente para el traslado de la mezcla desde la planta concretera hasta el lugar de vaciado, se vuelve a batir la mezcla por un minuto y se hace el segundo ensayo de fluidez, dando como resultado un slump de 1 ½ ". El cual permite una trabajabilidad de la mezcla. En las figuras N° 26 y 27 se evidencia las pruebas de slump ejecutadas.

Figura 26. Fluidéz del concreto drenante al instante.

Adaptado de Propia, 2017.

Figura 27 Fluidéz del concreto drenante, a una hora.

Adaptado de Propia, 2017.

4.5.2 Densidad

La densidad de la mezcla es la división del peso de la muestra dentro del molde entre el volumen conocido del molde, la cual proporcionó como resultado 2,165 kg/m³, siendo 250 kg/m³ más livianos que el concreto convencional. En la **figura N°28** se evidencia lo mencionado.

Figura 28. Densidad del concreto drenante

Adaptado de Propia, 2017.

4.5.3 Contenido de vacíos

Introducir la mezcla al molde en tres capas con 25 hincadas por capa con la varilla, luego se enrasa la mezcla hasta lograr una uniformidad en el borde, se coloca la tapa a presión y se llena con agua por todos sus vacíos. Por último, se ejerce una presión con aire bombeado, posteriormente se libera todo el aire, automáticamente el manómetro muestra el resultado del porcentaje de aire o vacío. El diseño elegido mostró un porcentaje de vacíos de 12 %, asemejándose al porcentaje de vacíos teórico, el cual fue 13 %. En **las figuras N° 29 y 30** muestran el porcentaje de vacíos real.

Figura 29. Ensayo de contenido de vacíos en estado fresco, del concreto drenante pigmentado.

Adaptado de Propia, 2017.

Figura 30. Ensayo de contenido de vacíos en estado fresco, del concreto drenante pigmentado.

Adaptado de Propia, 2017.

4.5.4 Temperatura de ambiente y de la mezcla

Se introduce el termómetro de manera inclinada tratando de recubrirlo en su totalidad, y se espera por alrededor de 40 segundos. La temperatura de la mezcla debe estar entre 15 °C y 32 °C, para la mezcla elegida la temperatura se encuentra dentro de los rangos permisibles, alcanzando como máximo una temperatura de 20.7 °C al instante y luego de una hora 20.6 °C, con una temperatura ambiente de 21 °C. Estas temperaturas nos ayudan a mantener la buena trabajabilidad y evitar la segregación de la mezcla. En la **figura N°31** evidencia la toma de temperatura ejecutada en laboratorio.

Figura 31. Medición de la temperatura del concreto drenante.

Adaptado de Propia, 2017.

4.6 Propiedades mecánicas del diseño óptimo

4.6.1 Resistencia a la flexión (Mr)

La resistencia a la flexión mínima para el diseño de un pavimento urbano es de 40 kg/cm², el diseño elegido supera dicha resistencia, obteniendo un módulo de rotura de 42 kg/cm². Esta resistencia es fundamental para el buen desempeño y durabilidad del pavimento,

evitando fallas en la estructura como grietas en el pavimento a temprana edad. En la **figura N°32** se muestra lo mencionado.

Figura 32. Ruptura de vigas a los 28 días para determinar el módulo de rotura o la resistencia a la flexión (M_r).

Adaptado de Propia, 2017.

La **figura N° 33** junto con la **tabla N°21** muestran el comportamiento de resistencia a la flexión del concreto drenante para diferentes edades (1, 3, 7, 14 y 28 días). En ella se observa los resultados esperados, puesto que a mayor edad se presenta mayor resistencia. Además, menor tamaño de agregado produce mayores resistencias a la flexión por el incremento que existe entre el área de contacto de las partículas del agregado.

Por otra parte, la inclusión de un pequeño porcentaje de agregado fino en la mezcla hace que el valor de la resistencia a la flexión aumente ya que este tiende a llenar algunos espacios inter-particulares y brindar mayor cohesión a la mezcla.

Tabla 21

Módulo de rotura (M_r) del concreto drenante al 1,3,7 y 28 días.

Edad (días)	M_r (kg/cm ²)
1	32
3	37
7	39
14	40
28	42

Nota Resistencias a la flexión del concreto drenante.

Adaptado por propia, 2017.

Figura 33. Módulo de rotura (M_r) del concreto drenante al 1, 3, 7 y 28 días.

Adaptado de Propia, 2017.

4.6.2 Resistencia a la compresión (f_c)

La máxima resistencia a la compresión alcanzada fue 295 kg/cm², cumpliendo así con los requisitos mínimos de resistencia para una vía urbana de moderado tránsito, siendo 210 kg/cm² el f_c mínimo de diseño. En la **figura N°34** se muestra el ensayo para determinar la resistencia a la compresión, mediante la rotura de probetas.

Figura 34. Ruptura de probetas a los 28 días para determinar la resistencia a la compresión (f_c).

Adaptado de Propia, 2017.

Como se puede apreciar en la **tabla N°22**, se realizó pruebas de resistencia a la compresión a 1, 3, 7, 14 y 28 días de curado, evaluando de esta manera el desempeño del concreto drenante en sus distintas edades. A los 7 días se observa el 90% de la resistencia final del concreto, esta característica es particular por el alto contenido de vacíos, el cual permite hidratar en su totalidad a las partículas de la muestra en un tiempo corto. Esto es beneficioso

para una apertura del tráfico a temprana edad, característica limitante en obras de pavimento rígido con concreto convencional, en la mayoría de los casos generan sobrecostos la apertura a temprana edad.

La adición de agregado fino permite obtener mejores resultados de resistencia a la compresión, flexión y consistencia de la mezcla.

Cabe resaltar la necesidad de utilizar probetas metálicas, de lo contrario no será posible desmoldar las muestras, puesto que las probetas de PVC necesitan ser desmoldadas con aire a presión.

Tabla 22

Resistencia a la compresión (f'_c) del concreto drenante al 1,3,7 y 28 días.

Edad	f'_c
1	182
3	189
7	240
14	283
28	295

Nota Resistencias a la compresión del concreto drenante.

Adaptado por propia, 2017.

Figura 35. Resistencia a la compresión (f'_c) del concreto drenante al 1, 3, 7 y 28 días.

Adaptado de Propia, 2017.

4.6.3 Tasa de infiltración (kt)

Para determinar el coeficiente de permeabilidad se utilizó dos teorías, la primera es a través de un permeámetro y la segunda mediante un anillo de infiltración. (Ayers, R 2013).

- Método - Permeámetro

Se llena la tubería con agua hasta una altura conocida, se toma el tiempo que el agua demora en evacuar la tubería, en la **figura N°36** se muestra el permeámetro. Por último, reemplazar los datos en la **fórmula N°3**, para hallar la permeabilidad del concreto drenante.

$$k = \frac{L}{(t_2 - t_1)} \frac{a}{A} \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Fórmula 3. Cálculo de la tasa de infiltración.

Donde:

k: coeficiente de permeabilidad en cm/s.

L: altura de la muestra en cm.

a: área del tubo cilíndrico graduado, cm².

A: área de la muestra, cm².

t₁: tiempo inicial, s.

t₂: tiempo final, s

h₁: altura de la columna de agua en el tubo graduado al inicio de la prueba, cm.

h₂: altura de la columna de agua en el tubo graduado al final de la prueba, cm.

Luego de reemplazar los datos en la fórmula, la permeabilidad obtenida es 0.02 cm/s, indicando que el concreto drenante cumple con los rangos de permeabilidad establecidos por el ACI 522-R10, los cuales son 0.001cm/s a 10 cm/s.

Figura 36. Medición de la tasa de infiltración mediante permeámetro.

Adaptado de Propia, 2017.

5 CONSTRUCCIÓN A ESCALA NATURAL DEL PAVIMENTO DE CONCRETO DRENANTE

Posterior a encontrar el diseño de mezcla con la resistencia y permeabilidad requerida, se procede a la construcción del prototipo, siendo este la representación de la capa de rodadura del pavimento de concreto drenante, buscando observar el comportamiento de la carpeta de rodadura, a través de testigos que reflejen la resistencia y tasa de infiltración ensayadas en laboratorio.

Detalles del prototipo

- El prototipo a escala natural tiene dimensiones de 200 cm de largo, 100 cm de ancho y 10 cm de espesor, simulando a escala natural el comportamiento de la capa de rodadura del pavimento urbano, en la figura N°37 se muestra.
- La dosificación utilizada para elaborar el prototipo fue el diseño de mezcla número 10 del plan experimental, cuyos parámetros principales son, relación agua – cemento 0.30 y porcentaje de vacíos 13%.
- Se adicionó 5% de pigmento colorante con respecto al peso del cemento, logrando un acabado innovador y llamativo.
- Por último, se realizó ensayos de resistencia a la compresión a través de extracción de testigos (diamantina) y la permeabilidad fue medida por el método de anillo de infiltración.

Figura 37. Medidas del prototipo.

Adaptado de Propia, 2017.

Construcción del Prototipo

- Delimitar el terreno con las medidas del prototipo, 200 cm x 100 cm, nivelando posteriormente la subbase.
- Una vez nivelada la subbase, se encofra el terreno, en este caso se impermeabilizó la subbase con una geomembrana de PVC, el cual no permite el paso del agua y protege al suelo de una futura saturación.
- Como último paso, dosificar las cantidades necesarias de los materiales detallados anteriormente (dosificación de la mezcla número 10 del plan experimental), con el fin de obtener resistencias a la compresión mayores a 280 kg/cm², asegurando el comportamiento mecánico del concreto drenante. En la **figura N°38** se muestra los materiales.

Figura 38. Materiales que incluyen la mezcla.

Adaptado de Propia, 2017.

- El proceso de mezclado utilizado es el protocolo mencionado en el capítulo III, indicando una frecuencia de 3 minutos de mezclado, 3 minutos de reposo y por último 2 minutos de un remezclado, buscando obtener homogeneidad entre las partículas de los materiales, tal como se muestra la mezcla en la *figura 39*.

Figura 39. Mezclado de la mezcla para el prototipo.

Adaptado de Propia, 2017.

- Una vez vaciado la mezcla en el terreno encofrado, se compacto y nivelo con un rodillo manual y una regla, respectivamente. Para finalizar con el curado y cubriéndolo con una manta negra. En la *figura N°40* se muestra la textura del acabado.

Figura 40. Mezclado de la mezcla para el prototipo.

Adaptado de Propia, 2017.

Fluidez de la mezcla

La fluidez es de gran importancia, ya que define la trabajabilidad de la mezcla. Por otro lado, es necesario definir si el estado de la mezcla “slump” será modificado por la adición del pigmento coloreado.

La fluidez del concreto drenante coloreado dio como resultado al ensayo de revenimiento, 3” permitiendo la descarga de la mezcla sin inconvenientes al utilizar un vehículo concretero y una trabajabilidad para el vaciado de la carpeta de rodadura. En la *figura N°41* se muestra lo mencionado.

Figura 41. Medida de la fluidez del concreto drenante coloreado.

Adaptado de Propia, 2017.

Resistencia a la compresión y módulo de rotur

Para realizar el ensayo de compresión al prototipo, se extrajo testigos con una broca diamantada de 4”, con el fin de comprobar la resistencia diseñada y obtenida en probetas.

Los testigos que se extrajeron se ensayaron a los 7 y 28 días.

Para hallar la resistencia a la flexión se utilizó la *fórmula N°4* que recomienda el Comité Europeo del concreto, esta fórmula relaciona la resistencia a la compresión con el módulo de rotura.

$$MR = K \sqrt{f'c}$$

Fórmula 4. Cálculo del módulo de rotura.

Donde:

MR: Módulo de rotura

K: Valor que varía entre 2 y 2.7 (el Comité Europeo recomienda 2.58).

f_c : Resistencia a la compresión obtenidas por los testigos.

Edad	f_c	Mr
	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
7	255	41.13
	268	42.23
28	295	44.31
	300	44.43

Figura 42. Extracción de testigos del concreto drenante coloreado.

Adaptado de Propia, 2017.

Permeabilidad

Para ejecutar el ensayo de permeabilidad al prototipo se realizó mediante el método “Anillo de infiltración”, para realizar este ensayo se debe seguir estos pasos:

- Limpiar la superficie del pavimento.
- Colocar el anillo de infiltración cuyo diámetro establecido es $30\text{cm} \pm 1\text{cm}$ y altura mayor a 5cm el cual puede ser de acero o PVC.
- Recubrir el anillo con masilla en los bordes de la base en contacto con el concreto drenante evitando el escurrimiento del agua por los lados

- Verter 3.6 kg de agua y cronometrar una vez que el agua tiene contacto con la superficie drenante para pre humectar el prototipo.
- Por último, el ensayo debe empezar luego de 2 minutos de la pre-humectación, si el registro de la pre-humectación es menor o igual a 30 segundos, utilizar 18 kg de agua y si es mayor a 30 segundos utilizar 3.6 kg, y medir el tiempo de descarga del agua.
- Emplear la **fórmula N°5** con los datos obtenidos del ensayo de infiltración, para tener como resultado la tasa de infiltración.

$$I = \frac{K \times M}{D^2 \times t}$$

Fórmula 5. Cálculo del tasa de infiltración

Donde:

I: Tasa de Infiltración (mm/h)

K: 4 583 666 000 en S.I [(mm³s)/(kg/h)]

M: Masa de infiltración de agua (kg)

D: Diámetro interior del anillo de infiltración (mm)

t: Tiempo requerido para que una cantidad medida de agua se infiltre (s)

La masa de agua infiltrada es 3.6 kg, tardando 31 segundos en infiltrar, y el diámetro del anillo es 300 mm.

Se obtuvo una tasa de infiltración igual a 0.03 cm/s, equivale a 60 lt/m²/min.

Figura 43. Ensayo de permeabilidad con anillo de infiltración en prototipo a escala industrial.

Adaptado de Propia, 2017.

6 ANÁLISIS DE VIABILIDAD DEL PAVIMENTO DE CONCRETO DRENANTE

Un aspecto importante en el desarrollo de cualquier construcción es la parte económica, si una solución en particular, un proyecto requiere costos excesivos, se buscará otra que proporcione costos no tan elevados. Es por ello que se realizó un análisis comparativo entre una construcción entre pavimento de concreto convencional y drenante con características de desempeño similares.

Pavimento de concreto convencional

Tabla 23

Análisis de precios unitarios para colocación de pavimento de concreto convencional.

Colocación de Concreto Convencional					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Capataz	HH	1.00	0.228	27.25	6.20
Operario	HH	4.00	0.914	20.96	19.20
Oficial	HH	4.00	0.914	16.99	15.50
Peón	HH	4.00	0.914	15.29	14.00
					54.90
Materiales					
Cemento Portland tipo I	BLS		9	19.56	176.04
Piedra chancada	M3		0.71	55.00	39.05
Arena	M3		0.57	40.00	22.80
Agua	M3		0.18	17.94	3.23
					241.12
Equipos					
Herramientas Manuales	% MO		5	5.49	0.27
Mezcladora	HM	1	0.22	12.21	2.68
					2.95
				Total	298.97

Nota Análisis de precios unitarios del concreto convencional.

Adaptado por propia, 2017.

Tabla 24

Análisis de precios unitarios para suministro y colocación de dowells liso en pavimento de concreto convencional.

Suministro y Colocación de Dowells Liso					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Capataz	HH	0.10	0.0022	27.25	0.06
Operario	HH	2.00	0.0440	20.96	0.96
Peón	HH	1.00	0.0228	15.29	0.34
					1.26
Materiales					
Dowells Liso	UND		1.00	16.76	16.76
					16.76
Equipos					
Herramientas Manuales	%MO		5	1.26	0.06
					0.06
				Total	18.08

Nota Análisis de precios unitarios de colocación de dowell liso.

Adaptado por propia, 2017.

Tabla 25

Análisis de precios unitarios para suministro y colocación de barras de amarre en pavimento de concreto convencional.

Suministro y Colocación de Barra de Amarre					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Capataz	HH	0.10	0.0022	27.25	0.06
Operario	HH	2.00	0.0440	20.96	0.96
Peón	HH	1.00	0.0228	15.29	0.34
					1.26
Materiales					
Barra de Amarre	kg		0.5219	3.38	1.76
					1.76
Equipos					
Herramientas Manuales	%MO		5	1.26	0.06
					0.06
				Total	3.08

Nota Análisis de precios unitarios de colocación de barras de amarre.

Adaptado por propia, 2017.

Tabla 26

Análisis de precios unitarios para sellado de juntas de construcción en pavimento de concreto convencional.

Sellado de Juntas de Construcción						
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
Capataz		HH	0.10	0.0040	27.25	0.11
Operario		HH	4.00	0.1600	20.96	3.35
Peón		HH	6.00	0.2400	15.29	3.37
						7.13
Materiales						
Cordón de respaldo		m		1.0000	0.40	0.40
Sellador elastomérico		UND		0.0380	19.46	0.74
Combustible		gh		0.0025	10.91	0.03
Agua para la obra		m³		0.0015	10.00	0.02
						1.19
Equipos						
Herramientas Manuales		%MO		5	1.26	0.06
Camión Baranda 4 Ton		Hm	0.50	0.02	171.14	3.42
Equipo aplicador		Hm	1.00	0.04	9.42	0.38
Compresora sopladora		Hm	1.00	0.04	44.18	1.77
						5.93
					Total	14.25

Nota Análisis de precios unitarios de sellado de juntas.

Adaptado por propia, 2017.

Tabla 27

Análisis de precios unitarios para colocación de pavimento de concreto drenante.

Colocación de Concreto Drenante					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Capataz	HH	1.00	0.228	27.25	6.20
Operario	HH	4.00	0.914	20.96	19.20
Oficial	HH	4.00	0.914	16.99	15.50
Peón	HH	4.00	0.914	15.29	14.00
					54.90
Materiales					
Cemento	BLS		10.5	19.56	205.38
Piedra chancada	M3		0.92	55.00	50.6

Arena		M3		0.05	40.00	2.00
Agua		M3		0.14	17.94	2.51
						260.49
Equipos						
Herramientas Manuales		%MO		5	5.49	0.27
Mezcladora		HM	1	0.22	12.21	2.68
						2.95
					Total	318.34

Nota Análisis de precios unitarios del concreto drenante.

Adaptado por propia, 2017.

De las **tablas 23, 24, 25, 26 y 27** se realizó una correlación, convirtiendo dichos costos a valores por m², evidenciando que el concreto drenante es una solución económica viable, en comparación al concreto convencional, esto se debe a que el m² de colocación de concreto convencional es S/. 40.06 y el m² de concreto drenante es S/. 31.83, siendo este S/. 8.23 por m² más económico.

Por otro lado, tiene un impacto ambiental importante al utilizar menor cantidad de agua, por ser una mezcla seca y por ende es eco-amigable, motiva al ahorro del agua.

El agua en el Perú es un recurso escaso, debido a diferentes factores como la deforestación, crecimiento poblacional, mal uso del recurso y el calentamiento global. Se prevé que al 2030 el Perú empezará a sentir seriamente los estragos de la falta de agua. La concentración de núcleos urbanos y las actividades productivas en las tres vertientes hidrográficas (Pacífico, Atlántico y Titicaca) generan una situación donde la población o consumo es máxima en zonas donde la disponibilidad y el abastecimiento son más escasos. Es por ello, que se busca soluciones que contribuyan a la reducción de este impacto en el país, por lo tanto, el pavimento drenante es un material que fomenta un impacto positivo en el medio ambiente, ya que puede captar aproximadamente 60 lt/m²/min y hacer que el agua sea reutilizada. En la figura N° 44 se muestra lo mencionado anteriormente.

Figura 44. Disponibilidad de agua en el Perú.

Adaptado de Propia, 2017.

A la vez, el agua captada por el pavimento drenante permite un uso económico al derivarlo al riego en la agricultura, siendo esta actividad una de las más importantes en la economía de nuestro país, brindando mayor importancia para el uso del concreto drenante. La **figura N°45** muestra el porcentaje de uso del agua en el sector agrícola y ganadería, sector de mayor actividad económica en el norte del Perú.

Figura 45. Uso de agua en el Perú Adaptado de Propia, 2017.

Por último, el 40% de las calles en el norte del país no cuentan con sistemas de drenaje pluvial, por lo que no están preparados para soportar lluvias con intensidades entre 5 a 22 litros por m² en un minuto.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Objetivo Específico Nro. 1:

- El huso #67 no garantiza el slump indicado por el ACI 522-R10, para mezclas de concreto drenante, puesto que se evidencia slump mayor a 4”, mientras que el ACI indica que el slump debe mantenerse de 0 a 2”.
- El porcentaje de aditivo debe mantener entre 0.1 a 0.3% para cumplir con los parámetros en estado fresco según ACI 522-R10.
- El porcentaje de arena no debe exceder el 5%, ya que disminuye el contenido de vacíos, afectando la permeabilidad del concreto drenante.
- Las relaciones agua – cemento de 0.27 y 0.34, no alcanzan los parámetros de resistencia establecidos por el ACI 522-R10, caso contrario con los parámetros de 0.30 a 0.32, ya que se obtienen mezclas homogéneas y con resistencia a la compresión y tracción según la escala máxima que indica el ACI 522-R10.
- El diseño de mezcla con relación agua cemento 0.32 y 13% de vacíos obtiene una resistencia a la compresión mayor a un diseño de mezcla de relación agua cemento 0.31 y 15% de vacíos. Evidenciando claramente que el porcentaje de vacíos tiene un rol importante en las propiedades mecánicas del concreto drenante.
- La resistencia a la compresión requerida es 280 kg/cm², utilizando agregado grueso huso #67 se obtiene 60% de resistencia a la compresión requerida, por otro lado, al utilizar agregado grueso huso #7 se obtiene 85% de la resistencia a la compresión requerida. Por último, utilizando agregado grueso huso #7 con 5% de agregado fino, se obtiene el 100% de la resistencia a la compresión requerida.

Objetivo Específico Nro. 2:

- Para un porcentaje de vacíos 13%, se obtiene un módulo de rotura de 42 kg/cm², con permeabilidad de 0.02 cm/s. Por el contrario, porcentajes de vacíos de 20% obtienen permeabilidades mayores a 1 cm/s, pero módulos de rotura entre 18 a 25 kg/cm², no cumple como estructura de pavimento.

- La adición en 5% de agregado fino a la dosificación de la mezcla, mejora la trabajabilidad, resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto drenante, sin que la permeabilidad se vea afectada.
- El huso #7 permite obtener un acabado uniforme en la capa de rodadura, brindando un mayor confort para el usuario.
- La temperatura de las once mezclas no excede a 32 °C límite por el cual el concreto ya no puede ser utilizado, respaldando que el concreto drenante, a pesar de tener gran cantidad de cemento, puede utilizarse sin mayores problemas.
- La densidad del concreto drenante es menor al concreto convencional, haciendo que el proceso constructivo y su transporte sea menos complicado, menos costoso, y más efectivo.
- El concreto drenante al tener mayor contenido de vacíos, evita los encharcamientos en la capa de rodadura, teniendo un mayor confort para los transeúntes y conductores.

Objetivo Específico Nro. 3:

- El porcentaje de vacíos no debe ser menor al 10%, para evitar que la mezcla no cumpla con los parámetros de permeabilidad.
- Las once mezclas ensayadas cumplen con los requisitos mínimos de permeabilidad establecido por el ACI 522-R10.

Objetivo Específico Nro. 4:

- Las once mezclas ensayadas cumplen con los requisitos mínimos de permeabilidad que se requiere en el norte del Perú.

Objetivo Específico Nro. 5:

- Un concreto drenante fue factible con 465kg de cemento por metro cúbico, relación agua - cemento 0.30, aditivo reductor de agua de alto rango al 0.24% del peso del material cementante, alcanzando un buen desempeño de resistencia y trabajabilidad para satisfacer las condiciones del norte con agregado huso #7.
- El módulo de rotura de la mezcla óptima representa un 14% de la resistencia a la compresión a los 28 días, estando dentro del 10% al 20% (Recomendado por el ACI). Sin embargo, mientras aumenta la resistencia a la compresión, el módulo de rotura aumenta en menor proporción.

- El contenido es indirectamente proporcional a la resistencia del concreto, puesto que, a mayor contenido de vacíos, menor será la resistencia.
- Las mezclas Nro. 6, 9, 10 y 11 cumplen con los requisitos mínimo de resistencia a la compresión para ser utilizado en pavimentos de tránsito moderado.

Objetivo Específico Nro. 6:

- La tasa de infiltración del prototipo de concreto drenante es 0.03 cm/s, satisface las precipitaciones mayores a 60 mm/hora en el norte del Perú, registradas en los datos históricos del fenómeno del niño y consideradas torrenciales.
- El concreto drenante optimiza el agua en 50% para la dosificación de la mezcla. Además, la construcción, operación y mantenimiento del pavimento drenante es 20% más económico que el pavimento convencional para un requerimiento de tránsito moderado.
- Es posible utilizar concreto drenante como capa de rodadura en vías urbanas de tránsito moderado, bajo exigencias mecánicas (Resistencia a la flexión, compresión, permeabilidad) y de performance (Trabajabilidad, condiciones óptimas en estado fresco). Cumpliendo con la Norma Peruana CE.010 Pavimentos Urbanos.

7.2 Recomendaciones

Objetivo Específico Nro. 1:

- Profundizar pruebas con porcentajes de agregado fino mayores a 5% y disminuir la cantidad de cemento, sin alterar las propiedades mecánicas necesarias para el buen funcionamiento del concreto drenante. Para obtener una mezcla de concreto más económica.
- Se utilizaron tres relaciones agua – cemento 0.27, 0.30 y 0.34, sin embargo, no se obtuvo buenos resultados con la relación a/c 0.27. Al ser una mezcla seca (gran cantidad de cemento) no logró tener una homogeneidad en el mezclado. Por lo tanto, se recomienda ensayar nuevamente esta relación agua – cemento para verificar el comportamiento del concreto drenante.

Objetivo Específico Nro. 2:

- Para el diseño de mezcla se recomienda utilizar combinaciones de diferentes tamaños máximos nominales de agregado grueso, para evaluar la posibilidad de un mejor desempeño y funcionabilidad del concreto drenante.
- Analizar la influencia de la relación agregado – cemento en las propiedades mecánicas y permeabilidad del concreto drenante.
- Evaluar la influencia de la viscosidad de la pasta y la energía de compactación en la durabilidad del concreto drenante, respecto a las condiciones de uso.
- El concreto drenante no debe colocarse en áreas sometidas a carga pesadas continuas, puesto que su módulo de rotura máximo es 42 kg/cm², el cual funciona en perfectas condiciones para un tránsito urbano - moderado.

Objetivo Específico Nro. 3:

- Analizar mezclas con porcentajes de vacíos mayores al 20% y una adición de agregado fino del 10%, con el fin de mejorar la consistencia del concreto drenante, además que cumpla con el ensayo de permeabilidad según el ACI 522R-10.

Objetivo Específico Nro. 4:

- Analizar mezclas con porcentajes de vacíos mayores al 20% y una adición de agregado fino del 10%, con el fin de mejorar la consistencia del concreto drenante, y que cumpla con permeabilidades mayores a los 120 mm/h para ser implementado en otros lugares del Perú.
- Analizar los efectos de hielo – deshielo en el concreto drenante, para ser implementado zonas de baja temperatura en el Perú.

Objetivo Específico Nro. 5:

- Se recomienda evaluar pruebas de 350kg a 400kg de cemento, con la finalidad de optimizar costos en la elaboración del concreto drenante, sin modificar la resistencia a la compresión de 280kg/cm².
- Evaluar y analizar las mezclas con otros tipos de aditivos, para mejorar la resistencia del concreto drenante.

- Evaluar y analizar la adición del 10% de agregado fino, para mejorar la consistencia y la resistencia del concreto drenante sin alterar la permeabilidad según ACI 522R-10.

Objetivo Específico Nro. 6:

- Emplear otros tipos de aditivos, de modo a verificar la viabilidad técnica y económica de estas soluciones al compararlo con otros concretos producidos.
- Implementar una norma para el diseño de la carpeta de rodadura en pavimentos de concreto drenante, así mismo las consideraciones para elaborar las juntas de construcción.
- La comparación de análisis de precios unitarios entre el concreto convencional y el concreto drenante se enfoca en costos teóricos, por lo que sería interesante que futuras investigaciones analicen un tramo de prueba a escala natural durante el ciclo de vida.
- El valor del agua es uno de los temas pendientes por resolver, ya que se ha considerado como tal el costo de extraerla, conducirla, tratarla y en su caso embotellarla, pero no se le ha otorgado un valor en sí misma y la problemática mundial de escasez, hace que trabajos como los que aquí se proponen planteen la necesidad de ir en ese rumbo.

8 REFERENCIAS

- Akerst Craigh, (2015). Pervious concrete: investigation into structural performance and evaluation of the applicability of existing thickness design methods. *Journal of Engineering and Technical Research*, 78(2), 68-70.
- American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO Guide for design of pavement structures. Estados Unidos.
- American Society for Testing Materials (2009). ASTM C 1701. Estados Unidos: American Society for Testing Materials ASTM.
- Apurva A. Rami y Tejas M. Joshi. (2012). Effects of sand content in permeability of pervious concrete. *Journal of Testing and Evaluation*, 47(4), 38-41.
- Arias Chacón Sebastián (2013). *Conservación vial: Efecto de la escorrentía superficial sobre el sistema de infraestructura de drenaje en vías de índole no urbana. caso de estudio: Ruta nacional 219, Oreamuno, Costa rica* (tesis de Maestría). Universidad Nacional de Costa Rica. Costa Rica.
- Ayers, R (2013). Permeabilidad y porosidad en concreto. *Journal of the Institution of Engineers*, 100(2), 169-187.
- Barahona Smith, N., Walker, A.C., Dunn, T.R. y Sparkman, A. (2013). Determining Pervious PCC Permeability with a Simple Triaxial Flexible-Wall Constant Head Permeameter. *Pervious Concrete Symposium Proceedings*, 211(2), 110-123.
- Becerra, M. (2017). *Tópicos de Pavimento*. Lima, Lima, Mesa Redonda.
- Cabello Sequera Sandra, Campuzano Vera Luisana, Espinoza Correa Jesús, Sánchez Mendieta Carlos (2015). Concreto Poroso: Constitución, variables influyente y protocolos para su caracterización. *Journal of the Institution of Engineers*, 25(2), 64-69.
- Carranza Freddy Yan (2017). Incidencias de as catastofres en el Perú, www.indeci.gob.pe. (Online)
- Chopra Manoj, Wanielista Martin, Spence Joshua, Ballock Craig. (2015). Hydraulic Performance of Pervious Concrete Pavements. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 84(2), 91-107.
- Darrel F. Eliot (2016). Pervious Concrete Pavements. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 14(2), 71-77.

- Delatte Norbert (2014). Concrete Pavement Design, Construction and Performance. *Journal of the Institution of Engineers*, 200(4), 129-150.
- Fletcher, Deletic, Mitchell y Hatt (2016). Using damage theory to analyze fatigue of concrete mixtures on flexural tests. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11(3), 617-626.
- Floten Jean (2017). Comparing traditional concrete to permeable concrete for a community college pavement application. *Journal of Green Building*, 22 (3), 35-45.
- Gaurav Uttam Shinde, Vljunkar S. S. (2015). Cost and Time Control in Storm Water Management using Pervious Concrete. *Journal of Testing and Evaluation*, 37(4), 38-41.
- Giordani, C. (2016). *Pavimentos*. Bogota, Colombia, Planeta Colombiana.
- Haselbach Robert, (2013). A review of porous concrete pavement: applications and engineering properties. *Journal of Green Building*, 72 (2), 85-95.
- Howard J. Seltman. (2013). Experimental Design and Analysis. *RMC Research & Education Foundation*, 215(3), 300-400.
- Kevern John T., Schaefer Vernon R., Wang Kejin (2013). Pervious Concrete Construction: Methods and Quality Control. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 100(2), 14-17.
- Kevern, J. T., V. R. Schaefer, K. Wang, and M. T. Suleiman. (2013). An Experimental Study on Compressive Strength, Void Ratio and Infiltration rate of Pervios. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 200(3), 23-24.
- Lopez Palacios, Emiliano (2012), *Control de calidad y colocación de concretos permeables* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Cochacán, México.
- Marks Andrew (2013). Pervious concrete pavement- How important is compressive strength. *Journal of Green Building*, 102 (3), 222-241.
- Marlon E., K.A., Hunt, W.F., Hathaway, J.M. (2012), Hydrological Comparison of Four Types of Permeable Pavement and Standard Asphalt in Eastern North Carolina. *Journal of Hydrological*, 13(12), 1146-1157.
- McFadden Melissa (2015). Traditional versus Pervious Concrete Sidewalks Construction and Maintenance Cost. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 74(2), 11-17.

- Meininger Richard C. (2013). No fines pervious concrete for paving. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 174(2), 21-27.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones, MTC (2016) Manual de ensayos del material (En línea). Consulta: 25 de setiembre del 2017. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manual%20Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf (Online)
- Mohd Ibrahim, Ramadhansyah P., Mohd Rosli Hainin (2015). Utilization of Nano Silica as Cement Paste in Mortar and Porous Concrete Pavement. *Advanced Materials Research*, 147(2), 78-85.
- Monjo i Agut Robert. (2016). El índice n de la precipitación intensa. *Journal of the Institution of Engineers*, 55(4), 137-140.
- Offenberg Matthew A., Scott Erickson (20028). Report on Pervious Concrete ACI 522R-10. Estados Unidos: American Concrete Institute ACI.
- Orrego Moya Roxana (2017). Monitoreo de precipitaciones, www.senamhi.gob.pe . (Online)
- Perales Momparler Sara, Ignacio Andrés Doménech. (2014). *Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible: Una alternativa a la gestión del agua de Lluvia* (Tesis de pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Schaefer, Vernon R (2014). Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 90(2), 151-157.
- Shackel B., Ball J., Mearing M. (2013). Using permeable eco-paving to achieve improved water quality for urban pavements. *Advanced Materials Research*, 777(2), 95-105.
- Tennis Paul D., Michael L. Leming, and David J. Akers (2014). Pervious Concrete Pavements. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 174(2), 103-144.
- Tennis, P., M. L. Leming, and D. J. Akers. (2014). Pervious Concrete: New Era for Rural Road Pavement. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 300(4), 19-23.
- Velásquez Días José (2011), *El concreto permeable y su aplicación al drenaje vial*. Lima, Perú.

- Wael W, Al-Azhari. (2013). New Technique for Rapid Construction and Rehabilitation of Concrete Pavements. Proceedings of the International Conference on Optimizing Paving Concrete Mixtures and Accelerated Concrete Pavement Construction and Rehabilitation, *Federal Highway Administration (FHWA)*, 300(2), 283-293.
- Weiss Charles A. Jr. (2002). Specification for Pervious Concrete Pavement ACI 522.1M-13. Estados Unidos: American Concrete Institute ACI.

ANEXOS

Anexo 1: Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso huso 67.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - DATOS DE LA MUESTRA - HUSO 67						
CONCEPTO :		EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE AGREGADOS			N° DE ESTRA : M-1	
UBICACIÓN :		KM 40 PANAMERICA SUR.			FECHA : 07/06/2017	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	P.RETENIDO (gr.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
5"	127.00					Peso de la Muestra
4"	101.60					Peso Total de la Muestra (gr.): 7037.2
3"	76.20					Material Fino < N°4 (gr.): 9
2 1/2"	60.35					Material Grueso > N°4 (gr.): 7029
2"	50.80					Fracción Material < N°4 (gr.): 4.2
1 1/2"	38.10				100.0	Tamaño Máximo (TM)
1"	25.40	0.0	0.0	0.0	100.0	1"
3/4"	19.00	396.5	5.6	5.6	94.4	Tamaño Máximo Nominal (TMN)
1/2"	12.50	4209.4	59.8	65.5	34.5	3/4"
3/8"	9.50	2384.4	33.9	99.3	0.7	Módulo de Fineza (MF)
N°4	4.75	38.2	0.5	99.9	0.1	7.05
N°10	2.00	0.0	0.0	99.9	0.1	
N°20	0.84	0.0	0.0	99.9	0.1	
N°40	0.43	0.0	0.0	99.9	0.1	
N°50	0.30	0.0	0.0	99.9	0.1	
N°100	0.15	0.0	0.0	99.9	0.1	
N°200	0.08	0.0	0.0	99.9	0.1	
< N°200	FONDO	4.2	0.1	100.0	0.0	

Anexo 2: Curva granulométrica del agregado grueso huso 67 de la cantera flor de nieve.

Anexo 3: Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso huso 7.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO						
DATOS DE LA MUESTRA - HUSO 7						
CONCEPTO	:	EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE AGREGADOS			N° DE MUESTRA : M-02	
CANTERA	:	FLOR DE NIEV			FECHA : 07/06/2017	
UBICACIÓN	:	KM 40 PANAMERICA SUR.				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
5"	127.00					Peso de la Muestra
4"	101.60					Peso Total de la Muestra (gr.): 2616.7
3"	76.20					Material Fino < N°4 (gr.): 25
2 1/2"	60.35					Material Grueso > N°4 (gr.): 2592
2"	50.80				100.0	Fracción Material < N°4 (gr.): 25.0
1 1/2"	38.10				100.0	Tamaño Máximo (TM)
1"	25.40	0.0	0.0	0.0	100.0	3/4"
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0	Tamaño Máximo Nominal (TMN)
1/2"	12.50	337.2	12.9	12.9	87.1	1/2"
3/8"	9.50	867.6	33.2	46.0	54.0	Módulo de Fineza (MF)
N°4	4.75	1386.9	53.0	99.0	1.0	6.45
N°10	2.00	0.0	0.0	99.0	1.0	
N°20	0.84	0.0	0.0	99.0	1.0	
N°40	0.43	0.0	0.0	99.0	1.0	
N°50	0.30	0.0	0.0	99.0	1.0	
N°100	0.15	0.0	0.0	99.0	1.0	
N°200	0.08	0.0	0.0	99.0	1.0	
< N°200	FONDO	25.0	1.0	100.0	0.0	

Anexo 4: Curva granulométrica del agregado grueso huso 7 de la cantera flor de nieve.

Anexo 5: Curva granulométrica del agregado grueso huso 7 de la cantera flor de nieve.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO						
DATOS DE LA MUESTRA - AGREGADO FINO						
CONCEPTO	:	EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE AGREGADOS				N° DE MUESTRA : M-03
CANTERA	:	FLOR DE IEVE				FECHA : 07/06/2017
UBICACIÓN	:	KM 40 PANAMERICA SUR.				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
5"	127.00					Peso de la Muestra
4"	101.60					Peso Total de la Muestra (gr.): 1073.3
3"	76.20					Material Fino < N°4 (gr.): 1064
2 1/2"	60.35				100.0	Material Grueso > N°4 (gr.): 10
2"	50.80	0.0	0.0	0.0	100.0	
1 1/2"	38.10				100.0	
1"	25.40	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/8"	9.50	0.0	0.0	0.0	100.0	
N°4	4.75	9.5	0.9	0.9	99.1	
N°10	2.00	139.6	13.0	13.9	86.1	
N°20	0.84	181.3	16.9	30.8	69.2	Módulo de Fineza (MF)
N°40	0.43	190.7	17.8	48.6	51.4	2.48
N°50	0.30	186.0	17.3	65.9	34.1	
N°100	0.15	234.8	21.9	87.8	12.2	
N°200	0.08	128.0	11.9	99.7	0.3	
< N°200	FONDO	3.4	0.3	100.0	0.0	

Anexo 6: Curva granulométrica del agregado fino de la cantera flor de nieve.

Anexo 7: Detalles de diseños de mezcla

Diseño de mezcla N°1:

Datos:

- Relación agua – cemento (a/c): 0.34
- Porcentaje de vacíos: 20 %
- Cemento:
 - Peso específico: 3.08 gr/cm³
- Agregado grueso:
 - Peso unitario compactado: 1620.47 kg/m³
 - Peso específico: 2.697 gr/cm³
 - Absorción: 1.02%
- Arena:
 - Peso específico: 2.64gr/cm³

El peso del agregado se determina mediante el peso unitario compactado seco del agregado grueso (AG), para ello se selecciona un coeficiente de la relación b/b₀, es resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m³ (ACI 522R-10). El valor del coeficiente b/b₀ es de 0.93.

Porcentaje de agregado fino	b/b ₀	
	ASTM C33/C33M Tamaño N° 8	ASTM C33/C33M Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

$$\text{Agregado} = P.\text{Unitario compactado} \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{absorción})$$

$$\text{Agregado} = 1620.47 \times 0.93 \times (1 + 1.02) = 1522.4 \text{ kg}$$

Donde:

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{\text{Agregado (kg)}}{\text{Peso específico } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{1522.4}{2697} = 0.565 \text{ m}^3$$

Se considera un 10 % de agregado fino (AF) para la dosificación de la mezcla, por lo tanto:

$$\text{Volumen del AF} = 5\% \times 0.565 = 0.0565 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del AG} = 95\% \times 0.565 = 0.5081 \text{ m}^3$$

Se sabe que:

$$VP = 1\text{m}^3 - (\text{Vol. De agregados} + \% \text{ de vacíos} + \% \text{ aditivos})$$

$$VP = 0.2295 \text{ m}^3$$

Partiendo de la siguiente expresión:

$$VP = V_c + V_a$$

Donde:

VP = Volumen de pasta

VC = Volumen de cemento

Va = Volumen de agua

A la vez:

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{a}{P.E.a}$$

Donde:

c= Peso del cemento por m³ de mezcla.

a = Peso del agua por m³ de mezcla.

P.E.c = Peso específico del cemento.

P.E.a = Peso específico del agua.

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{\frac{a}{c} \times c}{P.E.a}$$

Reemplazando los valores, obtenemos:

c: 354.16 kg

a: 120.41 kg

Por lo tanto:

$$V_c = \frac{c}{P.E.c}$$

$$V_a = \frac{a}{P.E.a}$$

Los volúmenes por m³ son:

Cemento = 0.115

Agua = 0.1204

Agregado grueso = 0.5081

Agregado fino = 0.0565

$\Sigma = 0.7999$

Para confirmar el porcentaje de vacíos:

$$\% \text{de vacíos} = (1 - 0.7999) \times 100\% = 20.01\%$$

En el diseño se consideró un 0.4% de superplastificante y 0.2% de retardante de fragua respecto al peso del cemento, donde la densidad del aditivo son 1.10 kg/L y 1.15 kg/L, respectivamente.

MEZCLA N°1		
MATERIALES	PESOS	VOLUMEN
Cemento (kg)	354.16	0.115
H2O (L)	120.41	0.1204
Agregado (kg)	1370.16	0.5081
Agregado fino (kg)	149.15	0.0565
Superplastificante (kg)	1.42	0.0005
Retardante (kg)	0.71	0.0002
% de vacíos		0.2001
Total	1996.01	1.0008

Diseño de mezcla N° 2

Datos:

- Relación agua – cemento (a/c): 0.34
- Porcentaje de vacíos: 20 %
- Cemento:
 - Peso específico: 3.08 gr/cm³
- Agregado grueso:
 - Peso unitario compactado: 1620.47 kg/m³
 - Peso específico: 2.697 gr/cm³
 - Absorción: 1.02%
- Arena:
 - Peso específico: 2.64gr/cm³

El peso del agregado se determina mediante el peso unitario compactado seco del agregado grueso (AG), para ello se selecciona un coeficiente de la relación b/b₀, es resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m³ (ACI 522R-10). El valor del coeficiente b/b₀ es de 0.93.

Porcentaje de agregado fino	b/b ₀	
	ASTM C33/C33M Tamaño N° 8	ASTM C33/C33M Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

$$\text{Agregado} = P.\text{Unitario compactado} \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{absorción})$$

$$\text{Agregado} = 1620.47 \times 0.93 \times (1 + 1.02) = 1522.4 \text{ kg}$$

Donde:

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{\text{Agregado (kg)}}{\text{Peso específico } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{1522.4}{2697} = 0.565 \text{ m}^3$$

Se considera un 10 % de agregado fino (AF) para la dosificación de la mezcla, por lo tanto:

$$\text{Volumen del AF} = 5\% \times 0.565 = 0.0565 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del AG} = 95\% \times 0.565 = 0.5081 \text{ m}^3$$

Se sabe que:

$$VP = 1\text{m}^3 - (\text{Vol. De agregados} + \% \text{ de vacíos} + \% \text{ aditivos})$$

$$VP = 0.2295 \text{ m}^3$$

Partiendo de la siguiente expresión:

$$VP = V_c + V_a$$

Donde:

VP = Volumen de pasta

VC = Volumen de cemento

Va = Volumen de agua

A la vez:

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{a}{P.E.a}$$

Donde:

c= Peso del cemento por m³ de mezcla.

a = Peso del agua por m³ de mezcla.

P.E.c = Peso específico del cemento.

P.E.a = Peso específico del agua.

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{\frac{a}{c} \times c}{P.E.a}$$

Reemplazando los valores, obtenemos:

c: 357.24 kg

a: 121.46 kg

Por lo tanto:

$$V_c = \frac{c}{P.E.c}$$

$$V_a = \frac{a}{P.E.a}$$

Los volúmenes por m³ son:

Cemento = 0.1160

Agua = 0.1215

Agregado grueso = 0.5081

Agregado fino = 0.0565

$\Sigma = 0.7999$

Para confirmar el porcentaje de vacíos:

$$\% \text{de vacíos} = (1 - 0.7999) \times 100\% = 20.01\%$$

En el diseño se consideró un 0.2% de superplastificante y 0.2% de retardante de fragua respecto al peso del cemento, donde la densidad del aditivo son 1.10 kg/L y 1.15 kg/L, respectivamente.

MEZCLA N°2		
MATERIALES	PESOS	VOLUMEN
Cemento (kg)	357.24	0.116
H2O (L)	121.46	0.1215
Agregado (kg)	1370.16	0.5081
Agregado fino (kg)	149.15	0.0565
Superplastificante (kg)	0.71	0.0002
Retardante (kg)	0.71	0.0002
% de vacíos		0.198
Total	1999.43	1.0005

Diseño de mezcla N° 3

Datos:

- Relación agua – cemento (a/c): 0.27
- Porcentaje de vacíos: 20 %
- Cemento:
 - Peso específico: 3.08 gr/cm³
- Agregado grueso:
 - Peso unitario compactado: 1620.47 kg/m³
 - Peso específico: 2.697 gr/cm³
 - Absorción: 1.02%
- Arena:
 - Peso específico: 2.64gr/cm³

El peso del agregado se determina mediante el peso unitario compactado seco del agregado grueso (AG), para ello se selecciona un coeficiente de la relación b/b₀, es resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m³ (ACI 522R-10). El valor del coeficiente b/b₀ es de 0.93.

Porcentaje de agregado fino	b/b ₀	
	ASTM C33/C33M Tamaño N° 8	ASTM C33/C33M Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

$$\text{Agregado} = P.\text{Unitario compactado} \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{absorción})$$

$$\text{Agregado} = 1620.47 \times 0.93 \times (1 + 1.02) = 1522.4 \text{ kg}$$

Donde:

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{\text{Agregado (kg)}}{\text{Peso específico } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$Volumen\ del\ agregado = \frac{1522.4}{2697} = 0.565\ m^3$$

Se considera un 10 % de agregado fino (AF) para la dosificación de la mezcla, por lo tanto:

$$Volumen\ del\ AF = 5\% \times 0.565 = 0.0565\ m^3$$

$$Volumen\ del\ AG = 95\% \times 0.565 = 0.5081\ m^3$$

Se sabe que:

$$VP = 1m^3 - (Vol.\ De\ agregados\ +\% \ de\ vacíos\ +\ \% \ aditivos)$$

$$VP = 0.2295\ m^3$$

Partiendo de la siguiente expresión:

$$VP = V_c + V_a$$

Donde:

VP = Volumen de pasta

VC = Volumen de cemento

Va = Volumen de agua

A la vez:

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{a}{P.E.a}$$

Donde:

c= Peso del cemento por m³ de mezcla.

a = Peso del agua por m³ de mezcla.

P.E.c = Peso específico del cemento.

P.E.a = Peso específico del agua.

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{\frac{a}{c} \times c}{P.E.a}$$

Reemplazando los valores, obtenemos:

c: 397.05 kg

a: 107.20 kg

Por lo tanto:

$$V_c = \frac{c}{P.E.c}$$

$$V_a = \frac{a}{P.E.a}$$

Los volúmenes por m³ son:

Cemento = 0.1289

Agua = 0.1072

Agregado grueso = 0.5081

Agregado fino = 0.0565

$\Sigma = 0.8006$

Para confirmar el porcentaje de vacíos:

$$\% \text{de vacíos} = (1 - 0.8006) \times 100\% = 19.94\%$$

En el diseño se consideró un 0.4% de superplastificante y 0.2% retardante de fragua con respecto al peso del cemento, donde la densidad del aditivo son 1.10 kg/L y 1.15 kg/L, respectivamente.

MEZCLA N°3		
MATERIALES	PESOS	VOLUMEN
Cemento (kg)	397.05	0.1289
H2O (L)	107.2	0.1072
Agregado (kg)	1370.16	0.5081
Agregado fino (kg)	149.15	0.0565
Superplastificante (kg)	1.59	0.0005
Retardante (kg)	0.79	0.0003
% de vacíos		0.1994
Total	2025.94	1.0009

Diseño de mezcla N° 4

Datos:

- Relación agua – cemento (a/c): 0.27
- Porcentaje de vacíos: 20 %
- Cemento:
 - Peso específico: 3.08 gr/cm³
- Agregado grueso:
 - Peso unitario compactado: 1620.47 kg/m³
 - Peso específico: 2.697 gr/cm³
 - Absorción: 1.02%
- Arena:
 - Peso específico: 2.64gr/cm³

El peso del agregado se determina mediante el peso unitario compactado seco del agregado grueso (AG), para ello se selecciona un coeficiente de la relación b/b₀, es resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m³ (ACI 522R-10). El valor del coeficiente b/b₀ es de 0.93.

Porcentaje de agregado fino	b/b ₀	
	ASTM C33/C33M Tamaño N° 8	ASTM C33/C33M Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

$$\text{Agregado} = P.\text{Unitario compactado} \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{absorción})$$

$$\text{Agregado} = 1620.47 \times 0.93 \times (1 + 1.02) = 1522.4 \text{ kg}$$

Donde:

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{\text{Agregado (kg)}}{\text{Peso específico } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{1522.4}{2697} = 0.565 \text{ m}^3$$

Se considera un 10 % de agregado fino (AF) para la dosificación de la mezcla, por lo tanto:

$$\text{Volumen del AF} = 5\% \times 0.565 = 0.0565 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del AG} = 95\% \times 0.565 = 0.5081 \text{ m}^3$$

Se sabe que:

$$VP = 1\text{m}^3 - (\text{Vol. De agregados} + \% \text{ de vacíos} + \% \text{ aditivos})$$

$$VP = 0.2315 \text{ m}^3$$

Partiendo de la siguiente expresión:

$$VP = V_c + V_a$$

Donde:

VP = Volumen de pasta

VC = Volumen de cemento

Va = Volumen de agua

A la vez:

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{a}{P.E.a}$$

Donde:

c= Peso del cemento por m³ de mezcla.

a = Peso del agua por m³ de mezcla.

P.E.c = Peso específico del cemento.

P.E.a = Peso específico del agua.

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{\frac{a}{c} \times c}{P.E.a}$$

Reemplazando los valores, obtenemos:

c: 400.51 kg

a: 108.14 kg

Por lo tanto:

$$V_c = \frac{c}{P.E.c}$$

$$V_a = \frac{a}{P.E.a}$$

Los volúmenes por m³ son:

Cemento = 0.13

Agua = 0.1081

Agregado grueso = 0.5081

Agregado fino = 0.0565

$\Sigma = 0.8027$

Para confirmar el porcentaje de vacíos:

$$\% \text{de vacíos} = (1 - 0.8027) \times 100\% = 19.73\%$$

En el diseño se consideró un 0.4% de superplastificante y 0.2% de retardante de fragua con respecto al peso del cemento, donde la densidad del aditivo son 1.10 kg/L y 1.15 kg/L, respectivamente.

MEZCLA N°4		
MATERIALES	PESOS	VOLUMEN
Cemento (kg)	400.51	0.13
H2O (L)	108.14	0.1081
Agregado (kg)	1370.16	0.5081
Agregado fino (kg)	149.15	0.0565
Superplastificante (kg)	0.8	0.0003
Retardante (kg)	0.8	0.0003
% de vacíos		0.1973
Total	2029.56	1.0006

Diseño de mezcla N° 5

Datos:

- Relación agua – cemento (a/c): 0.34
- Porcentaje de vacíos: 9 %
- Cemento:
 - Peso específico: 3.08 gr/cm³
- Agregado grueso:
 - Peso unitario compactado: 1620.47 kg/m³
 - Peso específico: 2.697 gr/cm³
 - Absorción: 1.02%
- Arena:
 - Peso específico: 2.64gr/cm³

El peso del agregado se determina mediante el peso unitario compactado seco del agregado grueso (AG), para ello se selecciona un coeficiente de la relación b/b₀, es resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m³ (ACI 522R-10). El valor del coeficiente b/b₀ es de 0.93.

Porcentaje de agregado fino	b/b ₀	
	ASTM C33/C33M Tamaño N° 8	ASTM C33/C33M Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

$$\text{Agregado} = P.\text{Unitario compactado} \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{absorción})$$

$$\text{Agregado} = 1620.47 \times 0.93 \times (1 + 1.02) = 1522.4 \text{ kg}$$

Donde:

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{\text{Agregado (kg)}}{\text{Peso específico } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{1522.4}{2697} = 0.565 \text{ m}^3$$

Se considera un 10 % de agregado fino (AF) para la dosificación de la mezcla, por lo tanto:

$$\text{Volumen del AF} = 5\% \times 0.565 = 0.0565 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del AG} = 95\% \times 0.565 = 0.5081 \text{ m}^3$$

Se sabe que:

$$VP = 1\text{m}^3 - (\text{Vol. De agregados} + \% \text{ de vacíos} + \% \text{ aditivos})$$

$$VP = 0.3395 \text{ m}^3$$

Partiendo de la siguiente expresión:

$$VP = V_c + V_a$$

Donde:

VP = Volumen de pasta

VC = Volumen de cemento

Va = Volumen de agua

A la vez:

$$V_P = \frac{c}{P.E.c} + \frac{a}{P.E.a}$$

Donde:

c= Peso del cemento por m³ de mezcla.

a = Peso del agua por m³ de mezcla.

P.E.c = Peso específico del cemento.

P.E.a = Peso específico del agua.

$$V_P = \frac{c}{P.E.c} + \frac{\frac{a}{c} \times c}{P.E.a}$$

Reemplazando los valores, obtenemos:

c: 523.91 kg

a: 178.13 kg

Por lo tanto:

$$V_c = \frac{c}{P.E.c}$$

$$V_a = \frac{a}{P.E.a}$$

Los volúmenes por m³ son:

Cemento = 0.1701

Agua = 0.1781

Agregado grueso = 0.5081

Agregado fino = 0.0565

$\Sigma = 0.9127$

Para confirmar el porcentaje de vacíos:

$$\% \text{ de vacíos} = (1 - 0.9127) \times 100\% = 8.73\%$$

En el diseño se consideró un 0.4% de superplastificante y 0.2% de retardante de fragua con respecto al peso del cemento, donde la densidad de los aditivos son 1.10 kg/L y 1.15 kg/L, respectivamente.

MEZCLA N°5		
MATERIALES	PESOS	VOLUMEN
Cemento (kg)	523.91	0.1701
H2O (L)	178.13	0.1781
Agregado (kg)	1370.16	0.5081
Agregado fino (kg)	149.15	0.0565
Superplastificante (kg)	2.1	0.0007
Retardante (kg)	1.05	0.0003
% de vacíos		0.0873
Total	2224.5	1.0011

Diseño de mezcla N° 6

Datos:

- Relación agua – cemento (a/c): 0.34
- Porcentaje de vacíos: 9 %
- Cemento:
 - Peso específico: 3.08 gr/cm³
- Agregado grueso:
 - Peso unitario compactado: 1620.47 kg/m³
 - Peso específico: 2.697 gr/cm³
 - Absorción: 1.02%
- Arena:
 - Peso específico: 2.64gr/cm³

El peso del agregado se determina mediante el peso unitario compactado seco del agregado grueso (AG), para ello se selecciona un coeficiente de la relación b/b₀, es resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m³ (ACI 522R-10). El valor del coeficiente b/b₀ es de 0.93.

Porcentaje de agregado fino	b/b ₀	
	ASTM C33/C33M Tamaño N° 8	ASTM C33/C33M Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

$$\text{Agregado} = P.\text{Unitario compactado} \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{absorción})$$

$$\text{Agregado} = 1620.47 \times 0.93 \times (1 + 1.02) = 1522.4 \text{ kg}$$

Donde:

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{\text{Agregado (kg)}}{\text{Peso específico } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{1522.4}{2697} = 0.565 \text{ m}^3$$

Se considera un 10 % de agregado fino (AF) para la dosificación de la mezcla, por lo tanto:

$$\text{Volumen del AF} = 5\% \times 0.565 = 0.0565 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del AG} = 95\% \times 0.565 = 0.5081 \text{ m}^3$$

Se sabe que:

$$VP = 1\text{m}^3 - (\text{Vol. De agregados} + \% \text{ de vacíos} + \% \text{ aditivos})$$

$$VP = 0.3415 \text{ m}^3$$

Partiendo de la siguiente expresión:

$$VP = V_c + V_a$$

Donde:

VP = Volumen de pasta

VC = Volumen de cemento

Va = Volumen de agua

A la vez:

$$V_P = \frac{c}{P.E.c} + \frac{a}{P.E.a}$$

Donde:

c= Peso del cemento por m³ de mezcla.

a = Peso del agua por m³ de mezcla.

P.E.c = Peso específico del cemento.

P.E.a = Peso específico del agua.

$$V_P = \frac{c}{P.E.c} + \frac{\frac{a}{c} \times c}{P.E.a}$$

Reemplazando los valores, obtenemos:

c: 527 kg

a: 179.18 kg

Por lo tanto:

$$V_c = \frac{c}{P.E.c}$$

$$V_a = \frac{a}{P.E.a}$$

Los volúmenes por m³ son:

Cemento = 0.1711

Agua = 0.1792

Agregado grueso = 0.5081

Agregado fino = 0.0565

$\Sigma = 0.9148$

Para confirmar el porcentaje de vacíos:

$$\% \text{ de vacíos} = (1 - 0.9148) \times 100\% = 8.52\%$$

En el diseño se consideró un 0.2% de superplastificante y 0.2% de retardante de fragua con respecto al peso del cemento, donde la densidad de los aditivos son 1.10 kg/L y 1.15 kg/L, respectivamente.

MEZCLA N°6		
MATERIALES	PESOS	VOLUMEN
Cemento (kg)	527	0.1711
H2O (L)	179.18	0.1792
Agregado (kg)	1370.16	0.5081
Agregado fino (kg)	149.15	0.0565
Superplastificante (kg)	1.05	0.0003
Retardante (kg)	1.05	0.0003
% de vacíos		0.0852
Total	2227.59	1.0007

Diseño de mezcla N° 7

Datos:

- Relación agua – cemento (a/c): 0.27
- Porcentaje de vacíos: 9 %
- Cemento:
 - Peso específico: 3.08 gr/cm³
- Agregado grueso:
 - Peso unitario compactado: 1620.47 kg/m³
 - Peso específico: 2.697 gr/cm³
 - Absorción: 1.02%
- Arena:
 - Peso específico: 2.64gr/cm³

El peso del agregado se determina mediante el peso unitario compactado seco del agregado grueso (AG), para ello se selecciona un coeficiente de la relación b/b₀, es resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m³ (ACI 522R-10). El valor del coeficiente b/b₀ es de 0.93.

Porcentaje de agregado fino	b/b ₀	
	ASTM C33/C33M Tamaño N° 8	ASTM C33/C33M Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

$$\text{Agregado} = P.\text{Unitario compactado} \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{absorción})$$

$$\text{Agregado} = 1620.47 \times 0.93 \times (1 + 1.02) = 1522.4 \text{ kg}$$

Donde:

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{\text{Agregado (kg)}}{\text{Peso específico } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{1522.4}{2697} = 0.565 \text{ m}^3$$

Se considera un 10 % de agregado fino (AF) para la dosificación de la mezcla, por lo tanto:

$$\text{Volumen del AF} = 5\% \times 0.565 = 0.0565 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del AG} = 95\% \times 0.565 = 0.5081 \text{ m}^3$$

Se sabe que:

$$VP = 1\text{m}^3 - (\text{Vol. De agregados} + \% \text{ de vacíos} + \% \text{ aditivos})$$

$$VP = 0.2295 \text{ m}^3$$

Partiendo de la siguiente expresión:

$$VP = V_c + V_a$$

Donde:

VP = Volumen de pasta

VC = Volumen de cemento

Va = Volumen de agua

A la vez:

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{a}{P.E.a}$$

Donde:

c= Peso del cemento por m³ de mezcla.

a = Peso del agua por m³ de mezcla.

P.E.c = Peso específico del cemento.

P.E.a = Peso específico del agua.

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{\frac{a}{c} \times c}{P.E.a}$$

Reemplazando los valores, obtenemos:

c: 587.36 kg

a: 158.59 kg

Por lo tanto:

$$V_c = \frac{c}{P.E.c}$$

$$V_a = \frac{a}{P.E.a}$$

Los volúmenes por m³ son:

Cemento = 0.1907

Agua = 0.1586

Agregado grueso = 0.5081

Agregado fino = 0.0565

$\Sigma = 0.9157$

Para confirmar el porcentaje de vacíos:

$$\% \text{ de vacíos} = (1 - 0.9157) \times 100\% = 8.62\%$$

En el diseño se consideró un 0.4% de superplastificante y 0.2% de retardante de fragua con respecto al peso del cemento, donde la densidad de los aditivo son 1.10 kg/L y 1.15 kg/L, respectivamente.

MEZCLA N°7		
MATERIALES	PESOS	VOLUMEN
Cemento (kg)	587.36	0.1907
H2O (L)	158.59	0.1586
Agregado (kg)	1370.16	0.5081
Agregado fino (kg)	149.15	0.0565
Superplastificante (kg)	2.35	0.0008
Retardante (kg)	1.17	0.0004
% de vacíos		0.0862
Total	2268.78	1.0013

Diseño de mezcla N° 8

Datos:

- Relación agua – cemento (a/c): 0.27
- Porcentaje de vacíos: 9 %
- Cemento:
 - Peso específico: 3.08 gr/cm³
- Agregado grueso:
 - Peso unitario compactado: 1620.47 kg/m³
 - Peso específico: 2.697 gr/cm³
 - Absorción: 1.02%
- Arena:
 - Peso específico: 2.64gr/cm³

El peso del agregado se determina mediante el peso unitario compactado seco del agregado grueso (AG), para ello se selecciona un coeficiente de la relación b/b₀, es resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m³ (ACI 522R-10). El valor del coeficiente b/b₀ es de 0.93.

Porcentaje de agregado fino	b/b ₀	
	ASTM C33/C33M Tamaño N° 8	ASTM C33/C33M Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

$$\text{Agregado} = P.\text{Unitario compactado} \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{absorción})$$

$$\text{Agregado} = 1620.47 \times 0.93 \times (1 + 1.02) = 1522.4 \text{ kg}$$

Donde:

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{\text{Agregado (kg)}}{\text{Peso específico } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{1522.4}{2697} = 0.565 \text{ m}^3$$

Se considera un 10 % de agregado fino (AF) para la dosificación de la mezcla, por lo tanto:

$$\text{Volumen del AF} = 5\% \times 0.565 = 0.0565 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del AG} = 95\% \times 0.565 = 0.5081 \text{ m}^3$$

Se sabe que:

$$VP = 1\text{m}^3 - (\text{Vol. De agregados} + \% \text{ de vacíos} + \% \text{ aditivos})$$

$$VP = 0.3415 \text{ m}^3$$

Partiendo de la siguiente expresión:

$$VP = V_c + V_a$$

Donde:

VP = Volumen de pasta

VC = Volumen de cemento

Va = Volumen de agua

A la vez:

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{a}{P.E.a}$$

Donde:

c= Peso del cemento por m³ de mezcla.

a = Peso del agua por m³ de mezcla.

P.E.c = Peso específico del cemento.

P.E.a = Peso específico del agua.

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{\frac{a}{c} \times c}{P.E.a}$$

Reemplazando los valores, obtenemos:

c: 590.82 kg

a: 159.52 kg

Por lo tanto:

$$V_c = \frac{c}{P.E.c}$$

$$V_a = \frac{a}{P.E.a}$$

Los volúmenes por m³ son:

Cemento = 0.1918

Agua = 0.1595

Agregado grueso = 0.5081

Agregado fino = 0.0565

$\Sigma = 0.92$

Para confirmar el porcentaje de vacíos:

$$\% \text{ de vacíos} = (1 - 0.92) \times 100\% = 8.41\%$$

En el diseño se consideró un 0.2% de superplastificante y 0.2% de retardante de fragua con respecto al peso del cemento, donde la densidad de los aditivo son 1.10 kg/L y 1.15 kg/L, respectivamente.

MEZCLA N°8		
MATERIALES	PESOS	VOLUMEN
Cemento (kg)	590.82	0.1918
H2O (L)	159.52	0.1595
Agregado (kg)	1370.16	0.5081
Agregado fino (kg)	149.15	0.0565
Superplastificante (kg)	1.18	0.0004
Retardante (kg)	1.18	0.0004
% de vacíos		0.0841
Total	2272.01	1.0008

Diseño de mezcla N° 9

Datos:

- Relación agua – cemento (a/c): 0.31
- Porcentaje de vacíos: 15 %
- Cemento:
 - Peso específico: 3.08 gr/cm³
- Agregado grueso:
 - Peso unitario compactado: 1620.47 kg/m³
 - Peso específico: 2.697 gr/cm³
 - Absorción: 1.02%
- Arena:
 - Peso específico: 2.64gr/cm³

El peso del agregado se determina mediante el peso unitario compactado seco del agregado grueso (AG), para ello se selecciona un coeficiente de la relación b/b₀, es resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m³ (ACI 522R-10). El valor del coeficiente b/b₀ es de 0.93.

Porcentaje de agregado fino	b/b ₀	
	ASTM C33/C33M Tamaño N° 8	ASTM C33/C33M Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

$$\text{Agregado} = P.\text{Unitario compactado} \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{absorción})$$

$$\text{Agregado} = 1620.47 \times 0.93 \times (1 + 1.02) = 1522.4 \text{ kg}$$

Donde:

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{\text{Agregado (kg)}}{\text{Peso específico } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{1522.4}{2697} = 0.565 \text{ m}^3$$

Se considera un 10 % de agregado fino (AF) para la dosificación de la mezcla, por lo tanto:

$$\text{Volumen del AF} = 5\% \times 0.565 = 0.0565 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del AG} = 95\% \times 0.565 = 0.5081 \text{ m}^3$$

Se sabe que:

$$VP = 1\text{m}^3 - (\text{Vol. De agregados} + \% \text{ de vacíos} + \% \text{ aditivos})$$

$$VP = 0.2805 \text{ m}^3$$

Partiendo de la siguiente expresión:

$$VP = V_c + V_a$$

Donde:

VP = Volumen de pasta

VC = Volumen de cemento

Va = Volumen de agua

A la vez:

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{a}{P.E.a}$$

Donde:

c= Peso del cemento por m³ de mezcla.

a = Peso del agua por m³ de mezcla.

P.E.c = Peso específico del cemento.

P.E.a = Peso específico del agua.

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{\frac{a}{c} \times c}{P.E.a}$$

Reemplazando los valores, obtenemos:

c: 453.87 kg

a: 140.70 kg

Por lo tanto:

$$V_c = \frac{c}{P.E.c}$$

$$V_a = \frac{a}{P.E.a}$$

Los volúmenes por m³ son:

Cemento = 0.1474

Agua = 0.1407

Agregado grueso = 0.5081

Agregado fino = 0.0565

$\Sigma = 0.85$

Para confirmar el porcentaje de vacíos:

$$\% \text{ de vacíos} = (1 - 0.85) \times 100\% = 14.74\%$$

En el diseño se consideró un 0.4% de superplastificante y 0.2% de retardante de fragua con respecto al peso del cemento, donde la densidad de los aditivos son 1.10 kg/L y 1.15 kg/L, respectivamente.

MEZCLA N°9		
MATERIALES	PESOS	VOLUMEN
Cemento (kg)	453.87	0.1474
H2O (L)	140.7	0.1407
Agregado (kg)	1370.16	0.5081
Agregado fino (kg)	149.15	0.0565
Superplastificante (kg)	1.36	0.0004
Retardante (kg)	0.91	0.0003
% de vacíos		0.1474
Total	2116.15	1.0008

Diseño de mezcla N° 10

Datos:

- Relación agua – cemento (a/c): 0.30
- Porcentaje de vacíos: 13 %
- Cemento:
 - Peso específico: 3.08 gr/cm³
- Agregado grueso:
 - Peso unitario compactado: 1620.47 kg/m³
 - Peso específico: 2.697 gr/cm³
 - Absorción: 1.02%
- Arena:
 - Peso específico: 2.64gr/cm³

El peso del agregado se determina mediante el peso unitario compactado seco del agregado grueso (AG), para ello se selecciona un coeficiente de la relación b/b₀, es resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m³ (ACI 522R-10). El valor del coeficiente b/b₀ es de 0.93.

Porcentaje de agregado fino	b/b ₀	
	ASTM C33/C33M Tamaño N° 8	ASTM C33/C33M Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

$$\text{Agregado} = P.\text{Unitario compactado} \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{absorción})$$

$$\text{Agregado} = 1620.47 \times 0.93 \times (1 + 1.02) = 1522.4 \text{ kg}$$

Donde:

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{\text{Agregado (kg)}}{\text{Peso específico } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{1522.4}{2697} = 0.565 \text{ m}^3$$

Se considera un 10 % de agregado fino (AF) para la dosificación de la mezcla, por lo tanto:

$$\text{Volumen del AF} = 5\% \times 0.565 = 0.0565 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del AG} = 95\% \times 0.565 = 0.5081 \text{ m}^3$$

Se sabe que:

$$\text{VP} = 1\text{m}^3 - (\text{Vol. De agregados} + \% \text{ de vacíos} + \% \text{ aditivos})$$

$$\text{VP} = 0.3010 \text{ m}^3$$

Partiendo de la siguiente expresión:

$$\text{VP} = \text{Vc} + \text{Va}$$

Donde:

VP = Volumen de pasta

VC = Volumen de cemento

Va = Volumen de agua

A la vez:

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{a}{P.E.a}$$

Donde:

c= Peso del cemento por m³ de mezcla.

a = Peso del agua por m³ de mezcla.

P.E.c = Peso específico del cemento.

P.E.a = Peso específico del agua.

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{\frac{a}{c} \times c}{P.E.a}$$

Reemplazando los valores, obtenemos:

c: 465.27 kg

a: 139.58 kg

Por lo tanto:

$$V_c = \frac{c}{P.E.c}$$

$$V_a = \frac{a}{P.E.a}$$

Los volúmenes por m³ son:

Cemento = 0.1511

Agua = 0.1396

Agregado grueso = 0.5081

Agregado fino = 0.0565

$\Sigma = 0.8734$

Para confirmar el porcentaje de vacíos:

$$\% \text{ de vacíos} = (1 - 0.8734) \times 100\% = 12.66\%$$

En el diseño se consideró un 0.24% de superplastificante y 0.2% de retardante de fragua con respecto al peso del cemento, donde la densidad de los aditivos son 1.10 kg/L y 1.15 kg/L, respectivamente.

MEZCLA N°10		
MATERIALES	PESOS	VOLUMEN
Cemento (kg)	465.269	0.151
H2O (L)	139.581	0.140
Agregado (kg)	1492.932	0.554
Agregado fino (kg)	76.978	0.029
Superplastificante (kg)	1.117	0.0004
Retardante (kg)	0.931	0.0003
% de vacíos		0.1266
Total	2176.8069	1.00

Diseño de mezcla N° 11

Datos:

- Relación agua – cemento (a/c): 0.32
- Porcentaje de vacíos: 13 %
- Cemento:
 - Peso específico: 3.08 gr/cm³
- Agregado grueso:
 - Peso unitario compactado: 1620.47 kg/m³
 - Peso específico: 2.697 gr/cm³
 - Absorción: 1.02%
- Arena:
 - Peso específico: 2.64gr/cm³

El peso del agregado se determina mediante el peso unitario compactado seco del agregado grueso (AG), para ello se selecciona un coeficiente de la relación b/b₀, es resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m³ (ACI 522R-10). El valor del coeficiente b/b₀ es de 0.93.

Porcentaje de agregado fino	b/b ₀	
	ASTM C33/C33M Tamaño N° 8	ASTM C33/C33M Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

$$\text{Agregado} = P.\text{Unitario compactado} \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \% \text{absorción})$$

$$\text{Agregado} = 1620.47 \times 0.93 \times (1 + 1.02) = 1522.4 \text{ kg}$$

Donde:

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{\text{Agregado (kg)}}{\text{Peso específico } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{Volumen del agregado} = \frac{1522.4}{2697} = 0.565 \text{ m}^3$$

Se considera un 10 % de agregado fino (AF) para la dosificación de la mezcla, por lo tanto:

$$\text{Volumen del AF} = 5\% \times 0.565 = 0.0565 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del AG} = 95\% \times 0.565 = 0.5081 \text{ m}^3$$

Se sabe que:

$$VP = 1\text{m}^3 - (\text{Vol. De agregados} + \% \text{ de vacíos} + \% \text{ aditivos})$$

$$VP = 0.2825 \text{ m}^3$$

Partiendo de la siguiente expresión:

$$VP = V_c + V_a$$

Donde:

VP = Volumen de pasta

VC = Volumen de cemento

Va = Volumen de agua

A la vez:

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{a}{P.E.a}$$

Donde:

c= Peso del cemento por m³ de mezcla.

a = Peso del agua por m³ de mezcla.

P.E.c = Peso específico del cemento.

P.E.a = Peso específico del agua.

$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{\frac{a}{c} \times c}{P.E.a}$$

Reemplazando los valores, obtenemos:

c: 450.29 kg

a: 144.09 kg

Por lo tanto:

$$V_c = \frac{c}{P.E.c}$$

$$V_a = \frac{a}{P.E.a}$$

Los volúmenes por m³ son:

Cemento = 0.1462

Agua = 0.1441

Agregado grueso = 0.5081

Agregado fino = 0.0565

$\Sigma = 0.8730$

Para confirmar el porcentaje de vacíos:

$$\% \text{ de vacíos} = (1 - 0.8734) \times 100\% = 12.7\%$$

En el diseño se consideró un 0.25% de superplastificante y 0.2% de retardante de fragua con respecto al peso del cemento, donde la densidad de los aditivos son 1.10 kg/L y 1.15 kg/L, respectivamente.

MEZCLA N°11		
MATERIALES	PESOS	VOLUMEN
Cemento (kg)	450.292	0.146
H2O (L)	144.093	0.144
Agregado (kg)	1492.932	0.554
Agregado fino (kg)	76.978	0.029
Superplastificante (kg)	1.126	0.0004
Retardante (kg)	0.901	0.0003
% de vacíos		0.127
Total	2166.32	1.00

Anexo 8: Textura de prototipo de concreto drenante coloreado

Anexo 9: Permeabilidad de concreto drenante coloreado

Anexo 10: Testigo de concreto drenante coloreado

Anexo 11: Certificado de aditivo Neoplast 8500 HP

SUPERPLASTIFICANTE DE ALTO DESEMPEÑO

NEOPLAST 8500 HP®

ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y SUPERPLASTIFICANTE SIN RETARDO

DESCRIPCIÓN

NEOPLAST 8500 HP es un aditivo para concreto especialmente desarrollado para incrementar el tiempo de trabajabilidad, reductor de agua de alto rango sin retardo y optimizador de cemento en mezclas de concreto, está diseñado para ser empleado en climas cálidos y fríos.

APLICACIONES PRINCIPALES

- Concreto autocompactados.
- Concreto de baja relaciones agua/cemento.
- Concreto de alta resistencia.
- Concreto fluido de alto asentamiento.
- Concreto reforzado.

BENEFICIOS

- Produce concreto fluidos sin retardo.
- Permite que el concreto o mortero sea transportado a largas distancias.
- Reduce más de 45% del agua de amasado.
- Reduce la segregación y exudación en el concreto plástico.
- Reduce las fisuras y permeabilidad en el concreto endurecido.

INFORMACIÓN TÉCNICA

Densidad : 1.10 kg/L
Color : Ámbar oscuro
Apariencia : Líquido

ESPECIFICACIONES /NORMA

El NEOPLAST 8500 HP cumple con la clasificación de la norma NTP 334.088 y ASTM C-494, Tipo F. (*).

NEOPLAST 8500 HP®

ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y SUPERPLASTIFICANTE SIN RETARDO

INSTRUCCIONES DE USO

NEOPLAST 8500 HP se presenta listo para su uso y debe incorporarse a la mezcla cuando ésta se encuentra húmeda dentro del mezclador, ya sea en la planta o en la obra. Agregue NEOPLAST 8500 HP al agua restante del amasado de la mezcla o directamente. No debe entrar en contacto directo con el cemento seco.

Las variaciones en la pérdida de asentamiento y fraguado están en función a la cantidad usada del aditivo, característica del cemento y el diseño de mezcla elegido.

DOSIFICACIÓN

El NEOPLAST 8500 HP es recomendado usar a una dosificación 0.2– 2.0% por peso del cemento. Se recomienda hacer ensayos previos para establecer la dosis según los requerimientos establecidos en obra.

PRESENTACIÓN

- Tanques 1100 kg
- Cilindro 180 kg
- Balde 20 kg

PRECAUCIONES / RESTRICCIONES

- Se debe proteger el NEOPLAST 8500 HP contra el congelamiento. Nunca agite con aire.
 - Los cambios en los tipos de cemento, agregados y temperatura modifican el desempeño de los aditivos en la mezcla de concreto, variando resultados en el concreto fresco y endurecido.
 - No es compatible con los aditivos base naftalenos.
 - Se debe consultar con nuestros Asesores Técnicos cada vez que se tenga dudas respecto al uso del producto. De esta manera, podrá definir la solución que ofrezca un mejor costo-beneficio a nuestro cliente.
 - EL producto debe almacenarse en su envase original, bien cerrado, bajo techo, en un lugar fresco y seco.
- (*) NEOPLAST 8500 HP clasifica la norma en la dosis de 0.5%.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

NEOPLAST 8500 HP debe almacenarse en su envase original herméticamente cerrado y bajo techo.

Vida útil de almacenamiento: 12 meses.

Anexo 12: Certificado de aditivo Euco WR-75

EUCO WR - 75®

ADITIVO RETARDANTE DE FRAGUA PARA PLASTICIDAD PROLONGADA

DESCRIPCIÓN

EUCO WR-75 es un aditivo líquido a base de polímeros orgánicos, formulado específicamente para obtener un excelente desempeño reduciendo la pérdida de asentamiento inicial de concreto por un periodo más largo.

APLICACIONES PRINCIPALES

EUCO WR-75 está especialmente recomendado cuando se requiere:

- Concreto premezclado.
- Concreto colocados en climas cálidos y templados.
- Cuando se requiera transporta el concreto a largas distancias.
- Excelente trabajabilidad.

CARACTERÍSTICAS / BENEFICIOS

- Permite transportar la mezcla a larga distancia.
- Mejora la cohesión y reduce la segregación.
- Facilita el bombeo y colocación del concreto a distancias largas.
- Proporciona un retardo controlado, dependiendo la dosis empleada.
- Reduce la exudación y contracción del concreto.
- No contiene cloruros ni agentes corrosivos.

INFORMACIÓN TÉCNICA

Apariencia : Líquido.
Densidad : 1.15 kg/l.
Color : Incoloro.

NORMAS / ESPECIFICACIONES

Este producto cumple con las especificaciones de la norma ASTM C 494 Tipo B.

DIRECCIONES PARA SU USO

- Agregue EUCO WR- 75 al agua restante del amasado de la mezcla o directamente, no debe entrar en contacto directo con el cemento seco, no debe mezclarse con otros aditivos.
- Se puede agregar EUCO WR- 75 manualmente o con dosificadores, es un producto listo para usarse y no requiere agitación o mezclado adicional.

EUCO WR - 75®

ADITIVO RETARDANTE DE FRAGUA PARA PLASTICIDAD PROLONGADA

DOSIFICACIÓN

El EUCO WR-75 es usado a una dosificación 0.1– 0.3% por peso del cementos, se recomienda hacer ensayos previos para establecer la dosis.

Se recomienda realizar ensayos previos a la obra para precisar las dosis requeridas, las cuales podrían variar de las dosificaciones recomendadas debido a las diversas condiciones de cada obra y cada tipo de materiales empleados. Cualquier consulta contacte al departamento de Construcción Química Suiza Industrial del Perú.

PRESENTACIÓN

Cilindro	230kg	45.7 gal aprox.
Balde	20kg	4.6 gal aprox.

*galones americanos aproximados.

PRECAUCIONES / RESTRICCIONES

- Se debe proteger el EUCO WR- 75 contra el congelamiento.
- Se deberá de tener cuidado cuando se aplique en temperaturas de ambiente menores a 15°C ya que puede presentar tiempos de fraguados iniciales y finales prolongados.
- Los cambios en los tipos de cemento, agregados y temperatura modifican el desempeño de los aditivos en la mezcla de concreto, variando resultados en el concreto fresco y endurecido.
- No utilice aire para su agitación.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

EUCO WR -75 debe almacenarse en su envase original herméticamente cerrado y bajo techo.

Vida útil de almacenamiento: 1 año.

Anexo 13: Certificado de cemento.

CEMENTOS INKA

CERTIFICADO DE CALIDAD CEMENTO PORTLAND TIPO IC_o Conforme a la NTP 334.090

LIMA, FEBRERO DEL 2016

01. PROPIEDADES FISICAS:

Densidad Le Chatelier	:	3.08 gr/cm ³
Contenido de aire mortero	:	6.10 % Vol
Finura Blaine	:	5,100 cm ² /gr
Expansión Autoclave	:	0.080 %
Resistencia a la Compresión		
1 día	:	138 kgf/cm ²
3 días	:	242 kgf/cm ²
7 días	:	280 kgf/cm ²
28 días	:	390 kgf/cm ²
Tiempo de Fraguado Vicat		
Inicial	:	125 minutos
Final	:	395 minutos
Calor de Hidratación		
7 días	:	58 Kcal/kg
28 días	:	67 Kcal/kg
Resistencia a los Sulfatos, 14 días	:	0.003 %

02. COMPOSICION QUIMICA :

Óxido de Magnesio	:	1.65 %
Trióxido de Azufre (SO ₃)	:	3.12 %
Alcalis Totales	:	0.60 %

.....
ING. WALDIR LOZANO VASQUEZ
Controller de Calidad