UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Propuesta de diseño de mezcla para un concreto permeable de $FC=175\text{kg/cm}^2$
en veredas

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Ore Andrade, Harold Oscar Rosil (0000-0001-6586-4721)

Portillo Díaz, Miguel Ángel (0000-0003-1329-4389)

ASESOR

Eyzaguirre Acosta, Carlos Augusto (0000-0001-9769-2135)

Lima, 16 de diciembre de 2019

DEDICATORIA

A nuestros padres por brindarnos su apoyo incondicional desde siempre.

RESUMEN

El Perú presenta diversas eventualidades como las lluvias, que retrasan distintas actividades que promueven el crecimiento económico del país. Las zonas urbanas necesitan una mejora continua del entorno con mejores infraestructuras para promover el crecimiento y reducir los accidentes. En la actualidad, se necesita fomentar por el medio local soluciones innovadoras para la evacuación de altas precipitaciones.

El concreto permeable es un tipo de concreto cuya tecnología permite que el agua discorra a través de su estructura por la alta porosidad que posee a diferencia del concreto tradicional. Es fabricado de agregado grueso y material cementante, con un bajo porcentaje de finos de hasta el 10%.

Esta investigación consiste en proponer un diseño de mezcla de concreto permeable de $f'_c=175\text{kg/cm}^2$ aplicado en veredas que satisfaga distintos requerimientos establecidos por las normas CE010 de Pavimentos Urbanos, ACI 211.3R, ACI 522R-10 y los propios de la zona de aplicación. Para ello se realizó una batería de 12 diseños de mezcla con relaciones a/c 0.30, 0.35 y 0.38; agregados de HUSO 7 y 67; cementos portland tipo 1 Sol y Quisqueya; y aditivo Z fluidizante SR. Se realizaron ensayos en estado fresco: Slump, peso volumétrico y contenido de vacíos; y en estado endurecido: Resistencia a la compresión y flexión, y permeabilidad. Finalmente se realizó un prototipo con el diseño que presentó mejores características con el propósito de validar la investigación y se realizó un comparativo entre las veredas de concreto permeable y tradicional.

Palabras claves: Concreto permeable; Concreto tradicional; Diseño; Permeabilidad; Infiltración; Compresión; Flexión; Veredas; Prototipo.

Proposal of pervious concrete mix design; $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ for sidewalks.

ABSTRACT

Peru presents various eventualities such as rainfall, which delay different activities that promote the country's economic growth. Urban areas need continuous improvement of the environment with better infrastructure to promote growth and reduce accidents. At present, innovative solutions for the evacuation of high rainfall need to be promoted through the local environment.

Permeable concrete is a type of concrete whose technology allows water to flow through its structure due to the high porosity it possesses, unlike traditional concrete. It is made of coarse aggregate and cementitious material, with a low percentage of fines of up to 10%.

This research consists in proposing a permeable concrete mix design of $f'_c = 175 \text{ kg / cm}^2$ applied in sidewalks that satisfies different requirements established by the CE010 standards of Urban Pavements, ACI 211.3R, ACI 522R-10 and those of the area of application. For this, a battery of 12 mixing designs with a / c ratios of 0.30, 0.35 and 0.38; aggregates of HUSO 7 and 67; portland cements type 1 Sol and Quisqueya; and fluidizing Z additive SR. Fresh tests were performed: Slump, volumetric weight and void content; and in a hardened state: resistance to compression and flexion, and permeability. Finally, a prototype was made with the design that presented better characteristics with the purpose of validating the research and a comparison was made between the permeable and traditional concrete sidewalks.

Keywords: Permeable concrete; Traditional concrete; Design; Permeability; Infiltration; Compression; Bending; Sidewalks; Prototype.

TABLA DE CONTENIDOS

1	GENERALIDADES	1
1.1	Introducción.....	1
1.2	Antecedentes.....	1
1.3	Problemática	2
1.4	Importancia.....	3
1.5	Fundamentación de la problemática	3
1.6	Objetivos.....	4
1.6.1	Objetivo General.....	4
1.6.2	Objetivos Específicos	4
2	CONCRETO PERMEABLE.....	5
2.1	Marco Teórico	5
2.1.1	Marco Conceptual.....	9
2.1.2	Concreto Permeable.....	11
2.1.2.1	Definición del concreto permeable.....	11
2.1.2.2	Ventajas y desventajas	12
2.1.2.3	Usos y/o aplicaciones	13
2.2	Propiedades del concreto permeable	14
2.2.1	Propiedades en estado fresco	14
2.2.1.1	Slump.....	14
2.2.1.2	Contenido de vacíos	14
2.2.1.3	Peso Volumétrico	14
2.2.1.4	Relación contenido de vacíos/peso volumétrico	14
2.2.2	Propiedades en estado endurecido	15
2.2.2.1	Resistencia a la compresión.....	15
2.2.2.2	Resistencia a la flexión	16
2.2.2.3	Permeabilidad	17
2.3	Elementos del concreto.....	18
2.3.1	Cemento.....	19
2.3.1.1	Clasificación de los cementos.....	19
2.3.1.2	Características físicas de los cementos	20

2.3.2	Agregados	20
2.3.3	Agua	21
2.3.4	Aditivos	22
3	DISEÑO DE MEZCLA.....	23
3.1	Materiales	23
3.1.1	Cemento.....	23
3.1.2	Agregado grueso.....	23
3.1.3	Agregado fino	24
3.1.4	Agua	24
3.1.5	Aditivos	24
3.2	Normativa	25
3.3	Caracterización de los materiales	25
3.3.1	Análisis granulométrico de los agregados	25
3.3.2	Peso específico y absorción de los agregados	27
3.3.3	Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso	29
3.3.4	Contenido de humedad del agregado	31
3.3.5	Resultados agregado grueso HUSO 7	33
3.3.6	Resultados agregado grueso HUSO 67	35
3.4	Parámetros de diseño	38
3.4.1	Resistencia	38
3.4.2	Contenido de vacíos	38
3.4.3	Permeabilidad	39
3.4.4	Espesor	39
3.5	Diseños de mezcla	40
4	PROGRAMA EXPERIMENTAL	47
4.1	Fabricación de las muestras	47
4.1.1	Moldeado	47
4.1.2	Curado	48
4.2	Pruebas en estado fresco.....	49
4.2.1	Slump.....	49
4.2.2	Contenido de vacíos	49
4.2.3	Peso volumétrico	49

4.3	Pruebas en estado endurecido.....	50
4.3.1	Resistencia a la compresión.....	50
4.3.2	Resistencia a la flexión	51
4.3.3	Permeabilidad	51
5	ANALISIS DE RESULTADOS.....	53
5.1	Resultados en estado fresco	53
5.1.1	Slump.....	53
5.1.2	Contenido de vacíos	54
5.1.3	Peso volumétrico	56
5.2	Resultados en estado endurecido	57
5.2.1	Resistencia a la compresión.....	58
5.2.2	Resistencia a la flexión	59
5.2.3	Permeabilidad	61
6	ELABORACION DE PROTOTIPO	63
6.1	Justificación y descripción del prototipo	63
6.2	Materiales para la elaboración del prototipo	64
6.3	Dosificación final	66
6.4	Proceso constructivo.....	66
6.5	Pruebas al prototipo	68
6.5.1	Permeabilidad	68
6.5.2	Resistencia a la compresión.....	70
6.6	Panel fotográfico.....	71
7	ANALISIS COMPARATIVO	76
7.1	Construcción.....	76
7.1.1	Concreto tradicional	76
7.1.2	Concreto permeable	78
7.2	Mantenimiento.....	80
7.2.1	Concreto tradicional	81
7.2.2	Concreto permeable	81
7.3	Precios Unitarios	82
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85

8.1	Conclusiones.....	85
8.2	Recomendaciones	86
9	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	88
10	ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Incidencia de catástrofes en el Perú año 2017	2
Tabla 2 Costos de construcción y mantenimiento para veredas de concreto tradicional y vereda de concreto poroso	4
Tabla 3 Clasificación de aditivos para el concreto permeable	22
Tabla 4 Muestra mínima para el ensayo de granulometría.....	26
Tabla 5 Muestra mínima para el ensayo según ASTM C-127	27
Tabla 6 Cantidad de muestra mínima para el ensayo según ASTM C-29.....	29
Tabla 7 Masa mínima de la muestra de agregado para el ensayo de humedad	32
Tabla 8 Formato de datos del ensayo de granulometría del agregado grueso HUSO 7.....	33
Tabla 9 Formato de presentación de datos del ensayo de peso específico y absorción de agregados para agregado grueso HUSO 7	34
Tabla 10 Formato de presentación de datos del ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso HUSO 7	34
Tabla 11 Formato de presentación de datos del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso HUSO 7	35
Tabla 12 Formato de presentación de datos del ensayo de granulometría del agregado grueso HUSO 67	35
Tabla 13 Formato de presentación de datos del ensayo de peso específico y absorción de agregados para agregado grueso HUSO 67	36
Tabla 14 Formato de presentación de datos del ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso HUSO 67	37
Tabla 15 Formato de presentación de datos del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso HUSO 67	37
Tabla 16 Materiales y sus resistencias para distintos tipo de pavimentos urbanos	38
Tabla 17 Espesor de la capa de rodadura para distintos tipo de pavimentos urbanos	39
Tabla 18 Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 1	41
Tabla 19 Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 2	41
Tabla 20 Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 3	42
Tabla 21 Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 4	42
Tabla 22 Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 5	43
Tabla 23 Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 6	43
Tabla 24 Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 7	44

Tabla 25 Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 8	44
Tabla 26 Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 9	45
Tabla 27 Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 10	45
Tabla 28 Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 11	46
Tabla 29 Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 12	46
Tabla 30 Cálculo del peso volumétrico para diseño de mezcla 5.....	50
Tabla 31 Resultados en pruebas de revenimiento (slump) en ensayos de estado fresco de los diferentes diseños realizados	53
Tabla 32 Resultados de la prueba contenido de vacíos de los ensayos en estado fresco de los diferentes diseños realizados.	55
Tabla 33 Resultados de prueba de peso volumétrico en ensayos de estado fresco de los diferentes diseños realizados	56
Tabla 34 Resultados de Resistencia a compresión a 7, 21 y 28 días.....	58
Tabla 35 Resultados de la prueba a flexión de los ensayos en estado endurecido de los diferentes diseños realizados, a los 7 y 28 días	59
Tabla 36 Resultados del ensayo de permeabilidad para los diferentes diseños de mezclas realizados.....	61
Tabla 37 Intensidades de las estaciones de Sheque, Carampoma, Santa Eulalia y Chosica	63
Tabla 38 Permeabilidad de las muestras de concreto permeable	64
Tabla 39 Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 5	66
Tabla 40 Resultados de permeabilidad del prototipo	69
Tabla 41 Resultados de resistencia a la compresión del prototipo	70
Tabla 42 Frecuencia de mantenimiento del concreto permeable.	82
Tabla 43 Análisis de precios unitarios de Concreto Tradicional Premezclado $f'c=175\text{kg/cm}^2$ en Veredas	83
Tabla 44 Análisis de precios unitarios de Concreto Permeable $f'c=175\text{kg/cm}^2$ en Veredas	83
Tabla 45 Comparación de precios de los concretos analizados en precios unitarios	84

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Peligro de caída de los peatones.....	2
<i>Figura 2.</i> Calles inundadas, incluyen pistas y veredas.....	3
<i>Figura 3.</i> Pavimentos con: a) bloque rectangular de concreto, b) bloque irregular de piedra, c) bloque hexagonal de concreto y d) bloque de concreto con hueco.	13
<i>Figura 4.</i> Grafica de la relación agua/cemento vs el contenido de aire para dos valores diferentes de compactación.	15
<i>Figura 5.</i> Permeámetro de carga variable LCS para medir la cantidad de agua drenada. ..	18
<i>Figura 6.</i> Materiales del concreto permeable.....	18
<i>Figura 7.</i> El concreto de la caja es de 1/4" (6.5mm) y el que está debajo de la caja es de tamaño 3/4" (19mm).....	21
<i>Figura 8.</i> Muestras de concreto permeable con diferentes contenidos de agua: (a) falta de agua, (b) cantidad adecuada de agua, y (c) exceso de agua.....	21
<i>Figura 9.</i> Marcas y tipos de cementos a usar durante la experimentación.....	23
<i>Figura 10.</i> Agregado grueso a utilizar.....	24
<i>Figura 11.</i> Agua potable distribuida en Lima – Perú.....	24
<i>Figura 12.</i> Anotación de pesos retenidos y cálculos.....	26
<i>Figura 13.</i> Tamiz N° 4 para clasificar la muestra.	28
<i>Figura 14.</i> Tamizado del agregado grueso.....	28
<i>Figura 15.</i> Pesaje de la muestra ya tamizada, se escogió un peso de 2kg aproximadamente.	28
<i>Figura 16.</i> Saturar la muestra en un recipiente durante 24 horas.....	28
<i>Figura 17.</i> Cesta Metálica, confeccionada con malla # 10 y un recipiente de almacenaje.	29
<i>Figura 18.</i> Poner el agregado cuidadosamente dentro de la cesta metálica y pesar.....	29
<i>Figura 19.</i> Llenado de envase para ensayo en estado suelto.....	30
<i>Figura 20.</i> Enrase tanto para la muestra suelta como para la muestra compactada.	30
<i>Figura 21.</i> Pesaje de la muestra suelta.	31
<i>Figura 22.</i> Compactado con varilla.....	31
<i>Figura 23.</i> Compactado con martillo de goma.....	31
<i>Figura 24.</i> Pesaje de la muestra compactada.	31
<i>Figura 25.</i> Muestra colocada en el horno.....	32
<i>Figura 26.</i> Pesar muestra antes y después del secado al horno.....	32
<i>Figura 27.</i> Curva granulométrica del agregado grueso HUSO 7.....	33

<i>Figura 28.</i> Curva granulométrica del agregado grueso HUSO 67.....	36
<i>Figura 29.</i> Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días para tamaño de agregado de 3/4" (rojo) y 3/8" (verde).....	38
<i>Figura 30.</i> Mínimo contenido de vacíos para determinada percolación (permeabilidad). .	39
<i>Figura 31.</i> Selección del porcentaje de vacíos correspondiente a un $f'_c=175\text{kg/cm}^2$, considerando uso de agregado No. 8 o 3/8".	40
<i>Figura 32.</i> Selección del porcentaje de pasta suficiente para cumplir con el contenido de vacíos.	40
<i>Figura 33.</i> Materiales en proporción.	47
<i>Figura 34.</i> Aplicación de desmoldante.....	47
<i>Figura 35.</i> Preparación de la mezcla.	47
<i>Figura 36.</i> Preparación de las probetas.	47
<i>Figura 37.</i> Probetas en curado inicial.....	48
<i>Figura 38.</i> Desmoldado de probetas.....	48
<i>Figura 39.</i> Probetas en curado final.	48
<i>Figura 40.</i> Implementos para realizar prueba de Slump.	49
<i>Figura 41.</i> Slump 1".	49
<i>Figura 42.</i> Maquina "FORNEY" para medir compresión en probetas cilíndricas.	50
<i>Figura 43.</i> Muestra ensayada.	50
<i>Figura 44.</i> Muestra ensayada.	51
<i>Figura 45.</i> Fractura ubicada dentro del tercio central.	51
<i>Figura 46.</i> Prueba de permeabilidad.	52
<i>Figura 47.</i> Slump ASTM C143 (en pulgadas) versus relación a/c.	54
<i>Figura 48.</i> Contenido de vacíos ASTM C1688 resultante en cada diseño.	55
<i>Figura 49.</i> Peso unitario ASTM 1688 resultante de cada diseño, se indica el mayor el menor y el promedio.	57
<i>Figura 50.</i> Curvas de resistencia a la compresión de cada diseño.	58
<i>Figura 51.</i> Curvas de resistencia a la flexión de cada diseño según ACI 522R-10.	60
<i>Figura 52.</i> Curvas de resistencia a la flexión de cada diseño según ASTM – C78.	60
<i>Figura 53.</i> Coeficientes de permeabilidad K (cm/s) de cada diseño de mezcla.....	62
<i>Figura 54.</i> Ingreso a la cantera UNICON – Jicamarca.	64
<i>Figura 55.</i> Marca de cemento Quisqueya.	65
<i>Figura 56.</i> Almacén de aditivos Z – Chorrillos.	65

<i>Figura 57.</i> Ensayo in situ.	70
<i>Figura 58.</i> Sellado del anillo de PVC.....	70
<i>Figura 59.</i> Extracción diamantina.	71
<i>Figura 60.</i> Ensayo al testigo.....	71
<i>Figura 61.</i> Trazo del paño de 1.00m x1.00m.	71
<i>Figura 62.</i> Excavación y nivelado del terreno.	72
<i>Figura 63.</i> Colocación de la base granular y excavación del pozo de absorción.....	72
<i>Figura 64.</i> Materiales pesados y mezcladora tipo trompo.	73
<i>Figura 65.</i> Mezclado de materiales.	73
<i>Figura 66.</i> Vaciado del concreto permeable en el área excavada.	74
<i>Figura 67.</i> Nivelación de la superficie del concreto.	74
<i>Figura 68.</i> Prototipo cubierto con plástico para su curado.....	75

INDICE DE FORMULAS

Fórmula 1. Ecuación para el modulo de fineza.	27
Formula 2. Ecuación para determinar el coeficiente de permeabilidad.	52
Formula 3. Ecuación para determinar la tasa de infiltración.	69

1 GENERALIDADES

En este capítulo, se muestra la importancia que tiene el concreto permeable para ser implementado como un nuevo sistema de evacuación de aguas en el Perú, siendo aplicado a veredas con el fin de disminuir los impactos negativos generados por las lluvias tanto en la sociedad como en el medio ambiente.

1.1 Introducción

Los niveles de escorrentía en el país son muy variables y por ello, se ven afectadas las zonas para uso de tránsito expuestas a dicha escorrentía, ya sean carreteras, estacionamientos, o veredas. Este problema representa al factor fundamental para el desarrollo de nuestra propuesta.

La idea de la aplicación del concreto permeable se plantea debido a que la efectividad de los métodos tradicionales de evacuación de escorrentía superficial podría ser mejorada con la tecnología que se propone. Ya que evacuaría las aguas de una forma directa, a través de la misma estructura. Es decir que ya no sería necesario construir adicionalmente sistemas de derivación de aguas, tales como canales de conducción, drenajes tipo tuberías, zanjas o tanques de evacuación.

1.2 Antecedentes

El concreto permeable se usó ampliamente para edificios industriales, públicos y domésticos en áreas al norte del Círculo Ártico debido a que el uso de los materiales de construcción tradicionales probó no ser práctico. Ejemplos de estos inconvenientes incluyen los altos precios de transporte del ladrillo, los riesgos de incendio de la madera, y las pobres propiedades aislantes térmicas del concreto simple. Aunque el concreto permeable se ha venido usando en Europa y en Australia durante los últimos 60 años, su uso como un material de construcción en América del Norte ha sido muy limitado. Una razón para este uso limitado es que después de la Segunda Guerra Mundial, América del Norte no experimentó la escasez de materiales en el mismo grado que en Europa. En Canadá, el primer uso reportado del concreto permeable fue en 1960. El concreto permeable se usó en la construcción de algunas casas en Toronto. También se usó en un elemento no estructural en un edificio Federal en Ottawa. En los últimos 20 años, el concreto permeable ha sido empleado en gran medida en los Estados Unidos, sobre todo en Florida, Uta, Nuevo México y algunos otros estados, principalmente en pavimentos. (Pérez, 2009, pág. 5)

1.3 Problemática

En la actualidad, el Perú atraviesa un crecimiento económico, es aquí donde surgen nuevas necesidades que como país debemos satisfacer. Estas necesidades se encuentran en distintas áreas de desarrollo, como la minería, agricultura, pesca, ganadería, educación, militar, construcción, etc. Es por ello que el país debe minimizar los daños de aquellas eventualidades que retrasan el crecimiento, como por ejemplo las lluvias, que de acuerdo al INDECI, estas representan el 32% de incidencia en las catástrofes del 2017 (Ver tabla 1).

Tabla 1
Incidencia de catástrofes en el Perú año 2017

Catastrofes en el Perú (2017)	Incidencia (%)
Lluvia	32
Inundación	27
Huayco	12
Helada	6
Nevada	8
Granizada	6
Deslizamiento	9

Nota: Se muestran las catástrofes con mayor incidencia en el territorio peruano durante el año 2017. Adaptado de “INDECI”, por Carranza, 2017.

Las lluvias no solo ponen en peligro el normal desarrollo de las actividades económicas, sino que también ponen en peligro la integridad física de las personas (ver figura 1), pudiendo ocasionar accidentes peatonales o de tránsito vehicular. Por otro lado, no hay mucha información en el medio local que aporte sustancialmente a la minoración de los impactos negativos antes mencionados. Entonces tenemos como labor, la búsqueda de soluciones y/o nuevas tecnologías que colaboren con la disminución de los perjuicios ocasionados por las lluvias.

Figura 1. Peligro de caída de los peatones.

Adaptado de “El invierno se despide con lluvias generalizadas”, por Etxezarreta, 2015.

1.4 Importancia

Estos pavimentos son elaborados mayormente de forma tradicional, por lo que se ocasiona un exceso de escurrimiento superficial en las zonas urbanas, generando inundaciones y contaminaciones (ver figura 2). Muchas veces las lluvias afectan lugares que tienen que suspender sus actividades. Tal es el caso del norte del país, que, debido al fenómeno del niño, se ven afectados colegios, hospitales, etc. Identificamos que la escorrentía superficial en vías transitables, desencadena otros problemas o peligros; tales como accidentes de tránsito, accidentes de peatones, inundaciones de zonas productivas, o simplemente inhabilitación para usar los caminos. Identificamos algunos motivos por el cual el concreto permeable no es aplicado. El primero viene por parte de las autoridades, ya que existe un desinterés en buscar nuevas y mejores alternativas para el manejo de la escorrentía.

Figura 2. Calles inundadas, incluyen pistas y veredas.

Adaptado de “Se prevé incremento de lluvias para el invierno en Atacama”, por Malebran, 2018.

1.5 Fundamentación de la problemática

A pesar de que los sistemas tradicionales se ven poco eficaces, el país sigue apostando por ellos, por ejemplo; el proyecto “Sistema de Evacuación de Aguas Pluviales por Gravedad en la Franja Central de la ciudad de Piura” tiene un costo aproximado de S/ 167 millones. “Sin embargo, el precio final se determinará luego de que se complete el expediente técnico, que demorará como tres meses”, dijo el subgerente de Defensa Civil del Gobierno Regional de Piura, Eduardo Arbulú. (Rescatado de Diario El Comercio “Piura y Tumbes: proyectos para drenaje pluvial no avanzan”).

En comparación de un concreto tradicional, los precios de construcción del concreto permeable son menores (ver tabla 2), incluso la reducción de precios se puede presentar a largo plazo debido al mantenimiento y eliminación de algunas obras hidráulicas de evacuación como estanques de retención, zanjias y cunetas. Además del control del escurrimiento superficial, se logran otros beneficios como la reducción del impacto

ambiental, la recarga de las aguas subterráneas y eliminación de asentamientos. La construcción de veredas en algunas partes del Perú genera inversiones que esperamos disminuir como parte de la investigación.

El concreto permeable es una tecnología que forma parte de un sistema integral que tiene como finalidad reiniciar el ciclo del agua. El sistema, acorde al alcance de nuestra investigación, es conformado por 03 partes principales: la superficie de concreto permeable, la capa de filtro y los pozos de absorción. Finalmente la solución a la problemática será dada por el sistema en conjunto; y no únicamente por el material.

Tabla 2

Costos de construcción y mantenimiento para veredas de concreto tradicional y vereda de concreto poroso

Vereda de Concreto Tradicional		Vereda de Concreto Poroso	
Costo de construcción	Costo de Mantenimiento	Costo de construcción	Costo de Mantenimiento
\$5.003.000	\$156.000	\$2.615 000	\$147 000
TOTAL= \$5.159.000 \$ 101.16 por yarda cuadrada (ó \$ 84.57 por metro cuadrado)		TOTAL=\$2.762.000 \$ 54.16 por yarda cuadrada (ó \$ 45.28 por metro cuadrado)	

Nota: Cuadro comparativo de costos de construcción y mantenimiento entre el concreto tradicional y el concreto poroso. Adaptado de “Traditional versus Pervious Concrete Sidewalks Construction and Maintenance Cost”, por McFadden, 2005.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

- Proponer un diseño de mezcla de concreto permeable para eliminar la presencia de escorrentía superficial en veredas.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Realizar 12 diseños de mezcla de acuerdo a los lineamientos del ACI 522R-10, empleando el mismo porcentaje de vacíos (15%), pero diferentes marcas de cemento (Sol y Quisqueya), husos del agregado grueso (Huso 7 y 67) y relaciones a/c (0.30, 0.35 y 0.38).
- Realizar ensayos de laboratorio para evaluar las propiedades del concreto permeable en estado fresco y en estado endurecido.
- Evaluar la permeabilidad y la resistencia a la compresión del prototipo.
- Exponer las diferencias del concreto tradicional y el permeable: proceso constructivo, mantenimiento y precios unitarios.

2 CONCRETO PERMEABLE

En este capítulo se tratarán los conceptos necesarios para entender más acerca del concreto permeable, sus características tanto físicas como mecánicas, dando a conocer los beneficios y limitaciones que tiene dicho concreto dependiendo de la zona donde se aplique.

2.1 Marco Teórico

Valores que se esperan obtener en esta tesis, son posibles de obtener utilizando el “Report on Pervious Concrete” (Reporte del Concreto Permeable) o “ACI 522R-10” escrito por el comité de la ACI (“American Concrete Institute” o Instituto Americano del Concreto). Esta norma si bien no brinda la fórmula exacta, proporciona información adaptable a nuestro medio.

Para esta investigación se realizó algunas consultas de investigaciones realizadas por distintos especialistas en el mundo sobre el área estructuras y métodos constructivos, entre las investigaciones consultadas se pudo encontrar aportes en lo que compete a procedimiento constructivo, metodologías para la selección de materiales, ensayos a través de métodos computacionales y estadísticos, influencia de los distintos factores de diseño en las propiedades mecánicas, cantidades optimas de materiales, y principalmente el estudio de las características principales del concreto permeable.

Diseño de mezcla:

El diseño de mezcla es un tema que nos explica sobre consideraciones para las proporciones de materiales en la elaboración del concreto permeable. Tipos de materiales a considerar, características físicas de los materiales y propiedades químicas como contenido de sulfatos. Para los materiales cementantes; considera el tipo a utilizar, mayormente se usará el cemento Portland Tipo 1.

Existen diferentes tipos de diseño de mezcla, los cuales tienen como objetivo contemplar las especificaciones técnicas requeridas según sea su uso. Los métodos Fuller, Walker, ACI 211.3R y del módulo de fineza de la combinación de agregados, son tipos de diseños utilizados normalmente para elaborar un concreto tradicional. En los últimos años se ha ido buscando estandarizar el diseño de mezcla para el concreto permeable, y se ha ido implementando el método del ACI 211.3R para la elaboración de un concreto permeable o sin Slump a través de sus capítulos.

Por otro lado se encontró que el comité 522 del ACI es el encargado de desarrollar e informar sobre temas de concreto permeable, métodos de diseño, materiales, propiedades, proporciones de mezcla, métodos de construcción, ensayos, etc. El capítulo ACI 522R-10 nos habla de un concreto con un asentamiento cercano o igual a cero, de estructura abierta que consiste de cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros interconectados, cuyo tamaño varía de 2 a 8 mm, lo que permite el paso de agua. El contenido de vacíos puede variar de un 15 a un 35 %, con resistencias a compresión típicas de 2,8 a 28 MPa. Su velocidad de drenaje depende del tamaño del agregado y de la densidad de la mezcla, pero generalmente se encuentra en el rango de 81 a 730 L/min/m² (American Concrete Insititute, 2013)

Diferentes autores han ido desarrollando diferentes diseños de mezclas a partir de los métodos brindados por el ACI211 y el ACI522, los cuales poseen capítulos fundamentales para la elaboración de nuestra investigación.

H. de Solminihac et al. (2007) analizaron el comportamiento de diferentes dosificaciones de mezclas de concreto poroso, fabricadas en laboratorio y compactadas con rodillo pesado para simular las condiciones de terreno. Lo que plantean los autores es que “Las mezclas de razón a/c altas (0,41 y 0,44), pues aun utilizando bajas dosis de cemento, los porcentajes reales de huecos son demasiado bajos para utilizarse como concretos porosos” (H. de Solminihac et al., 2007, p. 25).

Castro, Javier et. al (2010) estudiaron el concreto permeable con la intención de obtener una ecuación que permita obtener diseños de mezcla. Para ello tomaron varias características como los materiales los cuales en este estudio utilizó solamente agregado grueso sin finos tamaño máximo nominal de 10 mm granulometría N°8 según norma ASTM C33 (ASTM, 2008) con densidad de 1520 kg/m³, un porcentaje de huecos de 43%, y absorción del árido de 1.6%. Se usó cemento portland puzolánico de alta resistencia inicial con peso específico 2.95 y aditivo plastificante reductor de agua en dosis de 0.5% del peso del cemento con peso específico 1.16. En este artículo se ha presentado la deducción de ecuaciones que permiten dosificar mezclas de concreto permeable basado en el requerimiento de porcentaje interconectado de vacíos en la mezcla endurecida. Dieciocho diferentes mezclas fueron preparadas utilizando este sistema de dosificación, las que incluyeron razones agua-cemento desde 0.29 hasta 0.44. A partir de los resultados obtenidos, se recomienda utilizar razones

w/c entre 0.35 y 0.38 para mezclas de concreto poroso. Mezclas con w/c menores presentan muy baja resistencia y apreciable desprendimiento superficial de áridos. Mezclas con w/c mayores presentan escurrimiento de la pasta de cemento y disminución notoria del porcentaje de vacíos.

Torres, Anthony; Hu, Jiong y Ramos, Amy (2015) decidieron profundizar en su artículo sobre la influencia del espesor de la pasta de cemento en el rendimiento de concreto permeable. El contenido de cemento tiene un efecto sobre el espesor de la pasta de cemento, tal que más contenido de cemento resultados en pasta más gruesa que rodean el agregado. Existe una relación entre el tamaño de los agregados y el contenido de pasta, de manera que agregado más pequeño con mayor contenido de pasta muestran porosidades similares a la del agregado más grande con menor contenido de pasta. La Fuerza y tracción indirecta resistencia a la compresión de 28 días aumentó con un aumento en el espesor de la pasta de cemento hasta un punto de aproximadamente 3,5 mm (0,14 pulg.) Para ambos agregados de tamaño. Si el espesor de la pasta se vuelve demasiado gruesa, el tamaño de vacío se consume lo que resulta en un concreto con menos huecos, lo que contradice el objetivo del concreto permeable.

Resistencia a esfuerzos:

Las resistencias son importantes para el cálculo estructural de nuestra capa de concreto permeable. Esta información se obtendrá en base a ensayos mecánicos en laboratorios. Cada ensayo posee procedimientos que se detallan en los artículos presentados en este tema. Estos resultados de compresión y flexotracción dependen de la carga aplicada, es decir el peso que resistirá nuestra estructura.

Fernández Arrieta, R. y Navas Carro, A. (2011) generaron mezclas adecuadas de concreto permeable variando las relaciones de agua/cemento y Agregado Grueso/cemento tomando en cuenta los parámetros recomendados para el diseño de mezcla. En estudios donde se han utilizado relaciones AG/c entre 2/1 y 8/1 la tendencia observada es que la permeabilidad aumenta con aumentos en esta relación. Sin embargo, las resistencias a la compresión uniaxial del concreto permeable para relaciones AG/c superiores a 5/1 suelen ser muy bajas y no se recomiendan relaciones superiores a este valor. La resistencia a la compresión uniaxial del concreto permeable en el rango de relaciones w/c estudiado presenta una tendencia similar a la del concreto convencional. Se observa que relaciones w/c entre 0,28 y

0,31 presentaron resistencias adecuadas. La permeabilidad presenta una disminución con el aumento de la relación w/c pero no es importante y se recomienda el uso de este material como parte de sistemas de manejo de la escorrentía superficial.

Chen, Yu et. al (2013) investigaron sobre el estudio de la fuerza, la resistencia a la fractura y fatiga del concreto, organizando la metodología y se inició con la clasificación de materiales y sus propiedades, ASTM Tipo I cemento Portland ordinario (OPC) se utiliza como un aglutinante principal. Por tanto SPC y el PCC, la porosidad afecta significativamente la resistencia a compresión del concreto permeable, pero tiene poco efecto sobre la tasa de desarrollo de la fuerza. Concreto permeable modificada-SMC (SPC) gana rápidamente resistencia a la compresión a edades más tempranas, mientras que sus incrementos de fuerza son más bien baja después de 28 días. Con otras palabras, modificado con polímeros concreto permeable (PPC) se fortalece lentamente a edades más tempranas, pero su desarrollo se acelera a edades más tardías, probablemente debido a la continua hidratación del cemento y de materiales de polímero formador de película.

El PPC tiene tanto mayor resistencia a la flexión y resistencia a la flexión superior a la compresión de SPC en el mismo nivel de porosidad a los 28 días. Las relaciones de fuerza y flexión a la compresión tanto de PCC y SPC disminuyen al aumentar la porosidad, lo que indica que la resistencia a flexión es más sensible a la porosidad de resistencia a la compresión del concreto permeable.

La permeabilidad y porosidad:

Son otros parámetros fundamentales para que nuestra estructura lleve el nombre de concreto permeable. Estos parámetros nos indican la capacidad del concreto para que las aguas fluyan a través de los poros. Para ello se tomaran en cuenta distintas características de los materiales; en el caso de los agregados, tomará en cuenta el tamaño o diámetro. Lo recomendado por algunos autores es no usar agregado fino (arena).

Vélez, Ligia (2010) logró cuantificar la permeabilidad y porosidad en concreto poroso y su variación con la resistencia a la compresión. La principal característica de una mezcla porosa es su capacidad de infiltración. La permeabilidad de estas mezclas se obtiene usando áridos con un volumen significativo de huecos entre las partículas y con ausencia casi total de finos, y una cantidad reducida de pasta de cemento. La resistencia del material se obtiene mediante el efecto combinado de la delgada capa de pasta de cemento y la transmisión de esfuerzos

por contacto entre los áridos o agregados. Se determinó una permeabilidad de 2,342 mm/s, con un porcentaje real de huecos del 11%, cemento en una proporción de 350 kg/m³. Resistencias a flexo tracción y a compresión veintiocho días respectivamente de 3 MPa y 33 MPa utilizando diferentes razones agua/cemento.

Cabello, Sandra et. al (2015) lograron una investigación que empieza definiendo al concreto poroso o permeable como un concreto de desempeño fabricado a partir de cantidades controladas de cemento, agregado grueso, aditivos, agua y poca o nada de finos (arena). Resaltan la relación agua/cemento: se ha reportado que la relación agua/cemento es una co-variable, determinada por la cantidad y tipo de cemento y por la granulometría empleada. Se suele utilizar como criterio para determinar este valor, el encontrar la cantidad de agua con la cual la pasta adquiere un brillo metálico.

Generalmente este valor está en el intervalo de 0,3 a 0,6. Contenido de vacíos: con un elevado contenido de vacíos, aumenta la permeabilidad y disminuye la resistencia. Este porcentaje de vacíos está determinado por la energía de compactación entregada, junto con las variables ya mencionadas. Para que una mezcla sea considerada porosa, debe tener como mínimo un 15% de huecos. Se recomienda además que este contenido no supere el 25% por la poca estabilidad de la mezcla. El porcentaje de espacio vacío es parcialmente dependiente del tamaño de agregado utilizado: agregado de 10 mm produce 15 a 25% de contenido de vacío; roca de 12 mm produce 30 a 40 por ciento de contenido de vacío y una superficie notoriamente más áspera. En el caso de pavimento permeable el máximo tamaño del agregado está restringido a un tercio del grosor especificado del pavimento. Se puede utilizar agregado más grande, pero la textura es tan áspera que no es adecuado para muchas aplicaciones de pavimentación.

2.1.1 Marco Conceptual

- a) Concreto: El concreto es un material caracterizado por ser duradero y de alta resistencia, además de poder adquirir cualquier forma en estado líquido. Estas son las razones por la que es un material popular para su uso en la construcción.
- b) Permeabilidad: Se refiere a la tasa de infiltración de agua a través del concreto cuando esta se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias.

- c) **Contenido De Vacíos:** Masa volumétrica (masa unitaria) y vacíos: La masa unitaria es el peso o masa de agregado que se necesita para llenar un recipiente con un volumen determinado. El volumen referido aquí es el ocupado por los agregados y el volumen de vacíos que ocupan todo el recipiente. La masa volumétrica que ocupa los agregados comúnmente usados varía entre los 1200 a 1750 kg/m³.
- d) **Porosidad:** La porosidad en el concreto permeable, es la capacidad que tiene para absorber líquidos, y esta se obtiene por el tamaño y numero de poros contenidos en la interconexión de partículas que conforman el concreto.
- e) **Componentes Del Concreto:** Son todos los materiales que en conjunto forman la mezcla del concreto. Generalmente son: Agregados (arena y grava), cemento, agua, aditivos y adiciones.
- f) **Agregado Grueso:** (1) Agregados predominantemente retenidos en la malla No.4 (4.75mm); o (2) aquella porción del agregado retenida en la malla No.4.
- g) **Concreto Endurecido:** Es un estado del concreto obtenido posteriormente del fraguado, el cual se encarga de la formación y endurecimiento del tejido producto de las partículas que lo conforman, brindándole resistencia a la masa de concreto.
- h) **Concreto Fresco:** E el primer estado del concreto cuando se encuentra recién elaborada en donde se tiene una masa plástica fácil de moldear. Inicia desde que el concreto está recién mezclado, hasta el principio de la rigidez del mismo. El estado plástico puede estar durante horas mientras se tenga el concreto expuesto a una temperatura normal.
- i) **Curado:** Proceso en el cual se busca mantener al concreto en condiciones adecuadas en niveles de humedad y temperatura, durante un periodo definido posterior a la colocación y acabado del concreto, con el fin de lograr las propiedades deseadas.
- j) **Mezclado:** Es la combinación de los componentes del concreto, hasta que se logre una buena adherencia de sus elementos, esto se puede lograr mediante medios manuales o mecánicos.
- k) **ACI:** Siglas correspondientes a la AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Es una sociedad técnica y educativa dedicada a mejorar el diseño, construcción, mantenimiento y reparación de estructuras de concreto.

- l) Relación Agua-Cemento (a/c): La razón de la cantidad de agua, excluyendo sólo aquella absorbida por los agregados, a la cantidad de cemento en la mezcla de concreto o de mortero; establecida de preferencia como un decimal por peso.
- m) Trabajabilidad: Es la propiedad que determina el esfuerzo necesario para manipular, una cantidad de mezcla fresca de concreto con la mínima pérdida de homogeneidad.
- n) Agua para el concreto: El agua, desempeña un papel importante, hidratar al cemento Portland, por medio de reacciones químicas y por tanto, las impurezas del agua pueden interferir con el fraguado del cemento. La disminución de la relación agua/materiales cementantes es muy importante para obtener la mayor resistencia mecánica posible en todos los ensayos, el agua constituye del 14% al 18% del volumen de la mezcla. (Vélez, Ligia, 2010, p. 181)
- o) Ley de Darcy: Ésta ley estudia las propiedades del flujo del agua a través de un medio poroso.

2.1.2 Concreto Permeable

2.1.2.1 Definición del concreto permeable

El concreto permeable es un tipo especial de concreto con una alta porosidad, usado para aplicaciones en superficies de concreto que permita el paso a través de él de agua proveniente de precipitación y otras fuentes, reduciendo la escorrentía superficial de un sitio y recargando los niveles de agua subterránea. La alta porosidad se obtiene mediante un alto contenido de vacíos interconectados (NRMCA CIP38, 2004)

La ACI (American Concrete Institute por sus siglas en inglés) lo define como una mezcla con revenimiento muy cercano a cero, es decir un concreto de consistencia seca, compuesto de cemento Portland o cementos modificados, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, agua y eventualmente aditivos especiales. Esta combinación produce una mezcla resistente con poros conectados entre sí que permiten el paso del agua. (Report on Pervious Concrete, 2010, pág. 2).

Es fabricado a partir de cantidades controladas de: cemento, agregado grueso, aditivos, agua y poca o nada de finos. La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros interconectados, cuyo tamaño varía de 2 a 8 mm, lo que permite el paso del agua. El contenido de vacíos puede variar de un 18 a un 35 por ciento, con resistencias a compresión típicas de 2,8 a 28 MPa (Vélez, 2010).

2.1.2.2 Ventajas y desventajas

Ventajas:

El concreto permeable es método de construcción innovador el cual trae en si ventajas tanto ambientales, estructurales y económicas de tal manera que su aplicación sea mejor a la del concreto tradicional. A continuación presentamos algunas ventajas:

- Elimina los charcos de agua generada por las lluvias o personas en las calles.
- La reducción de las islas de calor en los medios gracias a su estructura porosa. Las islas de calor urbana es un ejemplo de modificación climática no intencional cuando la urbanización le cambia las características naturales a la superficie (James, 2008).
- Una superficie plana, en comparación de los pavimentos hechos con concreto tradicional que necesitan una pequeña pendiente para derivar las aguas a los sistemas de evacuación de alcantarillado.
- Su ausencia de finos hace que las cargas que son aplicadas sobre este tipo de pavimento se transmitan de forma heterogénea, es decir, la transmisión de cargas se realiza por puntos de contacto, causando que las fuerzas se distribuyan aleatoriamente y se repartan en una mayor superficie. A diferencia de un concreto tradicional, que lo hace en forma homogénea que presenta mayor concentración de cargas en menos superficie.
- La captación de líquidos contaminantes que por el método de derivación de aguas convencional puedan desembocar en los cauces, lagos y océanos.
- El uso de geotextiles en este tipo de concreto ayuda a la retención de líquidos contaminantes, por lo que evita la contaminación de capas inferiores del pavimento.
- Evita perder el ciclo natural del agua, provocando el aumento de los mantos acuíferos.

Desventajas:

- Existen algunas limitaciones con respecto al concreto permeable. Este puede presentar un bajo desempeño en climas de baja temperatura y la durabilidad por efecto de hielo-deshielo. A continuación se hablara más a detalle acerca de sus desventajas:
- Evitar colocar en zonas expuestas a aguas contaminantes, para que alterar las aguas subterráneas.
- Uso limitado a transito ligero, debido a la baja resistencia a la abrasión y desgaste.
- Congelamiento de la salida de infiltración en climas extremos con efectos de hielo y deshielo.

- La pérdida de permeabilidad con el paso del tiempo por el efecto de colmatación, debido a que se tapan los vacíos con material fino.
- La aplicación errónea de productos para el mantenimiento puede dañar el concreto permeable.
- Pérdida de permeabilidad con el paso del tiempo, debido a que se van tapando los espacios vacíos con material fino, por lo que se requiere de un mantenimiento a base de agua a presión.
- No colocar acero de refuerzo, puesto que con la filtración del agua se daría el efecto de corrosión.

2.1.2.3 Usos y/o aplicaciones

El concreto permeable es usado principalmente en zonas donde el tránsito es liviano, pero también hay diseños donde el tránsito es pesado como en carreteras. También en zonas donde se requiera que el agua se infiltre hacia el subsuelo (ver figura 3). Como por ejemplo:

- Veredas
- Ciclovías
- Parques
- Plazas
- Pisos alrededor de piscinas
- Pisos alrededor de piletas
- Locales de lavado de vehículos

Figura 3. Pavimentos con: a) bloque rectangular de concreto, b) bloque irregular de piedra, c) bloque hexagonal de concreto y d) bloque de concreto con hueco.

Adaptado de “Esgurrimiento en pavimentos de bloques de suelo-cemento: un abordaje experimental”, por Zegarra, 2015.

2.2 Propiedades del concreto permeable

Para comprender y conocer mejor el concreto permeable es necesario describir algunas propiedades en estado fresco y endurecido, las cuales serán analizadas en laboratorio.

2.2.1 Propiedades en estado fresco

El concreto en estado fresco es cuando se encuentra recién preparado cuyo estado es plástico y moldeable, donde aún no se inicia el fraguado ni endurecimiento. Aquí se logra adoptar a la forma en la que se busca ser colocado a través del encofrado.

2.2.1.1 Slump

El slump o asentamiento es realizado mediante el método del ASTM C143. Esta tiene como objetivo, medir la consistencia del concreto en estado fresco. Los asentamientos en las mezclas difieren según su humedad, es decir, mientras más húmeda se la mezcla mayor será el asentamiento. El concreto permeable en estado plástico es consistente comparada con un concreto convencional debido a su bajo contenido de agua, por lo que su asentamiento generalmente varío de 0 a 2 pulgadas.

2.2.1.2 Contenido de vacíos

El contenido de vacíos en estado fresco se puede calcular mediante el método del ASTM C1688 y está relacionado directamente con el peso volumétrico. El contenido de vacíos depende en gran medida de varios factores: granulometría del agregado, contenido de material cementante, relación a/c, y la energía de compactación.

2.2.1.3 Peso Volumétrico

El peso volumétrico de las mezclas de concreto permeable en estado fresco se determina de acuerdo a la norma ASTM C1688 y esta relacionado directamente con el contenido de vacíos. El peso volumétrico del concreto permeable normalmente oscila entre 1,600 a 2,000 kg/m³, dependiendo del porcentaje de vacíos que este contenga.

2.2.1.4 Relación contenido de vacíos/peso volumétrico

Pérez Ramos (2009) realizó una serie de pruebas en laboratorio, en donde quedo determinado que una sola mezcla de concreto permeable, compactada con 8 niveles diferente de energía producen valores de peso volumétrico que oscilan entre los 1680 y 1920 kg/m³. El comportamiento de resistencia en el concreto permeable aumenta si la porosidad disminuye, por el contrario, si la porosidad aumenta la resistencia disminuye. Por medio de pruebas de laboratorio y estudios se ha demostrado que el porcentaje de vacíos para concreto

permeable debe estar en un rango de 14% a 31%, pero ya en la práctica, se utiliza un porcentaje de vacíos de 15% a 25%, obteniendo resistencias mayores a 140 kg/cm²

En la figura 4 podemos observar el contenido de aire en función de la relación agua/cemento, con dos valores diferentes de compactación.

Figura 4. Gráfica de la relación agua/cemento vs el contenido de aire para dos valores diferentes de compactación.

Adaptado de “No-Fines Pervious Concrete for Paving”, por Meininger, 1988.

2.2.2 Propiedades en estado endurecido

El concreto en estado endurecido se logra luego de que el concreto haya pasado su estado de hidratación, donde pasa del estado plástico al estado rígido. Es aquí donde el concreto luego de haber fraguado, se endurece y logra ganar resistencia.

2.2.2.1 Resistencia a la compresión

La máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o mortero a carga axial se le conoce como resistencia a la compresión y se determina de acuerdo a la norma ASTM C39 y se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²) a una edad de 28 días y se identifica con la siguiente nomenclatura (f'c). Ahora bien, para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas de especímenes, mortero y/o de concreto.

La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y frecuentemente encontramos su empleo en los cálculos para el diseño de puentes, edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión de este tipo de concreto está determinada por la resistencia, cuando se ve afectada por la proporción de la matriz y por el esfuerzo de

la compactación durante la colocación. (Meininger, 1988) Ilustra la relación entre la resistencia a compresión del concreto permeable y el contenido de los vacíos.

En cuanto a las propiedades de la pasta y de la relación pasta-agregado, es necesario mejorar la resistencia de la pasta alrededor del agregado y la cohesión entre agregado y la pasta, de esta manera mejorará la resistencia del concreto permeable, esta condición se puede lograr variando el tamaño de los agregados u ocupación de aditivos.

Por otra parte, la relación agua-cemento de la mezcla de concreto permeable es vital para el desarrollo y la sustentabilidad de la resistencia a la compresión y la consolidación de la estructura de huecos, la relación entre agua-cemento y la resistencia a la compresión del concreto convencional no es significativa. El contenido de material cementante de una mezcla de concreto permeable es importante para el desarrollo de la resistencia a la compresión y estructura de huecos. Un contenido de material cementante bajo dará como resultado una capa endurecida de pasta envolviendo al agregado y resistencia a la compresión reducida. Las mezclas de concreto permeable ofrecen una resistencia a la compresión entre 35 a 280 kg/cm², ofreciendo una amplia gama de usos.

2.2.2.2 Resistencia a la flexión

La medida de resistencia a la tracción del concreto, se define como resistencia a la flexión del concreto en donde su función principal radica en medir la resistencia de la falla en una viga o losa de concreto no reforzada y se expresa como el módulo de rotura en kg/cm², se determina mediante los métodos de ensayo ASTM C78. El módulo de rotura oscila en los parámetros de 10% al 20% de la resistencia a la compresión, dependiendo del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, sin embargo, la mejor correlación para los materiales específicos es obtenida mediante ensayos de laboratorio para los materiales obtenidos y el diseño de mezclas. El módulo de rotura determinado por la viga cargada en los puntos tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones tanto como en un 15%.

La resistencia a la flexión es una de las características técnicas más importantes que presenta el concreto permeable, debido a que su resistencia a la flexión es mejor que la del concreto hidráulico ordinario, comúnmente es 30% de la resistencia a la compresión, relativamente más alta que en el concreto ordinario. (Pérez, 2009)

2.2.2.3 Permeabilidad

La principal característica del concreto permeable es la capacidad de infiltración de agua a través de su estructura, la cual se calcula según la norma ACI 522R-10. Esta permeabilidad está relacionada directamente con el contenido de vacíos. Estudios y pruebas realizadas por diferentes autores han demostrado que se necesita como mínimo un porcentaje de vacíos del 15% para lograr capacidades significativas de permeabilidad.

Según Cabello, Sandra et al. (2015), para que una mezcla sea considerada porosa, debe tener como mínimo un 15% de huecos. Se recomienda además que este contenido no supere el 25% por la poca estabilidad de la mezcla. El porcentaje de espacio vacío es parcialmente dependiente del tamaño de agregado utilizado: agregado de 10 mm produce 15 a 25% de contenido de vacío; roca de 12 mm produce 30 a 40 por ciento de contenido de vacío y una superficie notoriamente más áspera.

Puesto que la capacidad de filtración se incrementa a medida que se incrementa el contenido de huecos de aire, consecuentemente, disminuye la resistencia a la compresión, por lo que el proporcionamiento de la mezcla debe satisfacer un equilibrio entre una capacidad de filtración y resistencia a la compresión aceptable.

La permeabilidad del concreto poroso, se puede medir a través de permeámetros de carga variable (ver figura 5), el procedimiento más común consiste en obtener la permeabilidad por medio de permeámetros LCS [Leachete Collection System], en primer lugar se mide el tiempo que tarda en descender el nivel de agua entre dos marcas, fluyendo el agua a través de un pequeño orificio. Por su parte el permeámetro LCS obtiene los resultados óptimos de permeabilidad los cuales son comparados contra distintos estados de permeabilidad de un pavimento. En cuanto al permeámetro cabe destacar que no necesita ningún tipo de calibración previa, pues cuenta con las marcas necesarias para realizar la correspondiente medición del tiempo que tarda en infiltrarse el volumen de agua contenido entre ellas. La permeabilidad de las mezclas se considera escasa o deficiente cuando el tiempo medido está por encima de los 200 segundos y satisfactoria cuando es menor de 100 segundos. El resultado para una mezcla bituminosa porosa recién colocada debe ser inferior a 50 segundos, debiendo estas preferiblemente por debajo de los parámetros 25 a 35 segundos. (Pérez, 2009).

Figura 5. Permeámetro de carga variable LCS para medir la cantidad de agua drenada.

Adaptado de “Infiltration Capacity Assessment of Urban Pavements Using the LCS Permeameter and the CP Infiltrometer” por Fernandez, 2008.

2.3 Elementos del concreto

El concreto permeable usa agregado grueso, material cementante, agua y aditivos; sin embargo, el uso de agregado fino está permitido hasta en un 10% de la mezcla. Se podría decir entonces que el concreto permeable usa los mismos materiales que el concreto convencional, con la excepción que el agregado fino se elimina casi por completo (ver figura 6).

Figura 6. Materiales del concreto permeable.

Adaptado de “Concreto Permeable, sus propiedades y aplicaciones” por Aire, 2009.

2.3.1 Cemento

El concreto permeable es elaborado con cemento portland, el cual es un material cementante producido por la mezcla de Clinker y Yeso. Este debe satisfacer las normas ASTM C150, ASTM C595, o ASTM C1157, y tiene como función principal la aglomeración de partículas gruesas. (Pérez, 2009)

El cemento Portland es un cemento hidráulico producido por la pulverización de clinker, este está compuesto de silicatos de calcio hidráulicos, además, uno o más formas de sulfatos de calcio (yeso), como un añadido en la etapa de molienda. La molienda es una operación que permite la reducción del tamaño de la materia hasta tener una granulometría final deseada, mediante los diversos aparatos que trabajan por choques, aplastamiento o desgaste.

Hasta hace pocos años este era el cemento más utilizado en las aplicaciones de concreto: simple y armado, así como en los trabajos de albañilería. El Clinker está formado principalmente por cuatro compuestos mineralógicos y otros componentes secundarios.

Los principales compuestos del cemento son:

- El silicato tricálcico (C_3S)
- El silicato bicálcico (C_2S)
- El aluminato tricálcico (C_3A)
- El ferro-aluminato tetracálcico (C_4AF)

Normalmente el clinker contiene entre 70 y 75% de silicato tricálcico y silicato bicálcico, entre 7 y 15% del Aluminato tricálcico y el resto lo conforma el ferro-aluminato tricálcico y los compuestos secundarios como el óxido de magnesio (MgO) y el trióxido de azufre (SO_3). La proporción en que estos compuestos se presentan en el clinker, depende de la cantidad en que estén presentes en la materia prima, los elementos minerales que los conforman, es decir: CALCIO, SILICIO, ALUMINIO y FIERRO. (Manual Digital Cementos Yura, www.yura.com.pe)

2.3.1.1 Clasificación de los cementos

Según la norma ASTM C-150, los cementos Portland se clasifican en cinco tipos:

- Tipo I – Cemento Portland común, apto para toda obra que no requiera cementos con requisitos especiales.

- Tipo II – Cemento Portland de moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos, con un contenido máximo de 8% de C_3A .
- Tipo III – Cemento Portland de alta resistencia inicial.
- Tipo IV – Cemento Portland de bajo calor de hidratación, con contenidos máximos de 35% de C_3S y 7% de C_3A .
- Tipo V – Cemento Portland resistente a los sulfatos, con un contenido máximo de 5% de C_3A y la suma de $C_4AF + 2C_3A$, menor o igual a 20%.

2.3.1.2 Características físicas de los cementos

Muy a pesar de que la cantidad de cemento en la mezcla de concreto permeable representa entre 6 y 15 %, sus características son muy influyentes en el comportamiento del cemento en términos de trabajabilidad y resistencia. Dos de las propiedades físicas más importantes del cemento son las siguientes:

Finura:

Esta propiedad tiene mucho que ver con el calor de hidratación, en la obtención de resistencia y en la trabajabilidad del concreto. Los cementos más finos reaccionan de manera casi instantánea con el agua, y al mismo tiempo entregan buenas resistencias a edades tempranas.

Hidratación:

Es el fenómeno que se obtiene al momento de la combinación entre el agua y los componentes del cemento. Algunos de los factores importantes en la reacción entre el agua y el cemento son la cantidad de clinker y yeso; así como la finura y temperatura.

2.3.2 Agregados

El agregado grueso de canto rodado o los producidos en plantas chancadoras han sido usados para fabricar concreto permeable. No obstante, estos agregados deben satisfacer los requerimientos del ASTM D448 y C33.

El tamaño de agregado se regirá básicamente en función al grado de acabado que queremos obtener en cualquier superficie. Comúnmente se usan agregados de tamaño 67 (1/2" y 3/8") y los de 89 (3/8" y N° 50), clasificados según la norma ASTM C33.

En la figura 7 se puede observar la diferencia estética que existe en los tamaños de agregados utilizados para la aplicación de concreto permeable

Figura 7. El concreto de la caja es de 1/4" (6.5mm) y el que está debajo de la caja es de tamaño 3/4" (19mm). Adaptado de "Pervious concrete pavements", por Tennis, 2004.

2.3.3 Agua

Relaciones de a/c entre 0.27 a 0.30 se utilizan habitualmente con el uso adecuado de aditivos químicos. La relación entre la resistencia y la relación de a/c no es clara para el concreto permeable porque a diferencia del concreto convencional, el contenido total de la pasta es menor que la cantidad de vacíos entre los agregados.

La cantidad de agua debe ser estrictamente controlada. En la figura 8, se puede apreciar la diferencia del mortero cuando se utiliza diferentes cantidades de agua lo cual hace que la mezcla tenga diferente comportamiento ya sea en estado fresco y endurecido.

Figura 8. Muestras de concreto permeable con diferentes contenidos de agua: (a) falta de agua, (b) cantidad adecuada de agua, y (c) exceso de agua.

Adaptado de "Pervious concrete pavements", por Tennis, 2004.

La calidad del agua se discute en ACI 301. Como regla general, el agua potable es adecuada para su uso en concreto. El agua reciclada de las operaciones de producción de concreto puede ser usada también, si se ajusta a las disposiciones de la norma ASTM C 94 o AASHTO M 157. Si hay una pregunta en cuanto a la idoneidad de una fuente de agua, se recomienda procesamiento por lotes de prueba con los materiales de trabajo. (Tennis et al., 2004)

2.3.4 Aditivos

Los aditivos químicos se usan en el concreto poroso para lograr propiedades mejoradas, así como se logran en el concreto tradicional. Debido al corto tiempo de fraguado del concreto permeable, los aditivos retardadores o súper plastificantes son ideales e incluso de uso común. Se sabe que el concreto permeable no podría ser usado en climas con frío extremo debido a la posible congelación de agua en su interior, sin embargo, los aditivos incorporadores de aire se utilizan para contrarrestar fenómenos de hielo y deshielo. También cabe resaltar que el ASTM clasifica los aditivos, tal cual se presenta en la tabla 3.

Tabla 3
Clasificación de aditivos para el concreto permeable

Aditivo	Descripción
ASTMC 260	Incorporador de aire. Se agregan al concreto durante su elaboración, con el fin de incorporar el aire en él, mejorando su trabajabilidad y disminuyendo la segregación y el sangrado
ASTMC 1017	Fluidificante. Proporcionan incremento en el revenimiento para producir un concreto fluido sin que este pierda su cohesión ni retrase su tiempo de fraguado.
ASTMC 494	<p>TIPO A. Aditivos reductores de agua: Se utilizan para disminuir la cantidad de agua de la mezcla incrementando así la resistencia del concreto, sin afectar su trabajabilidad.</p> <p>TIPO B. Aditivos retardantes: Se utilizan para retardar el fraguado del concreto aumentando así el tiempo de manejo antes de su colocación</p> <p>TIPO C. Aditivos acelerantes: Se utilizan para acelerar el fraguado del concreto obteniendo la resistencia esperada a corta edad.</p> <p>TIPO D. Aditivos reductores de agua y retardantes: Producen los efectos del aditivo TIPO A y TIPO B.</p> <p>TIPO E. Aditivos reductores de agua y acelerantes: Producen los efectos del aditivo TIPO y TIPO C.</p> <p>TIPO F. Aditivos reductores de agua en alto rango: Proporcionan una reducción de agua mayor de la que producen los aditivos reductores de agua.</p> <p>TIPO G. Aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes: Proporcionan una reducción mayor de agua que los aditivos reductores de agua y se combinan con los efectos de los retardantes de fraguado.</p>

Nota: Listado de aditivos de acuerdo a diferentes ASTM. Adaptado de “Desarrollo y uso de bloques de concreto permeable en senderos ecológicos” por Rodas, 2012.

3 DISEÑO DE MEZCLA

En este capítulo se tratan todos los pasos del procedimiento de diseño de mezcla de concreto permeable, desde la selección de marcas y/o procedencias de los agregados, la caracterización de los mismos y el diseño en sí.

3.1 Materiales

Los materiales del concreto permeable son los mismos usados en un concreto tradicional. La única variación es la dosificación en la mezcla. En el caso específico del agregado fino puede variar de 0 a 10% de presencia en la mezcla; sin embargo, para nuestra investigación no se utiliza agregado fino.

3.1.1 Cemento

El proceso de diseño se realiza con los cementos Portland Tipo 1. Se hace uso de distintas marcas y tipos para evaluar posibles mejoras; tales como las marcas SOL y QUISQUEYA (Ver figura 9).

Figura 9. Marcas y tipos de cementos a usar durante la experimentación.

Adaptado de “Anuncio de venta de cemento”, por Sodimac.com.pe, 2019.

3.1.2 Agregado grueso

Los agregados gruesos a utilizar son de HUSO 7 y HUSO 67. Estos proporcionados por UNICON Cantera de Jicamarca, ubicada en Huachipa al este de Lima.

Figura 10. Agregado grueso a utilizar.

Elaboración propia.

3.1.3 Agregado fino

No se hace uso de agregado fino para los diseños. Pero se puede usar hasta en un 10% del volumen total.

3.1.4 Agua

Se utiliza agua potable distribuida en Lima (ver figura 11).

Figura 11. Agua potable distribuida en Lima – Perú.

Elaboración propia

3.1.5 Aditivos

El aditivo considerado para nuestra investigación es el Z Fluidizante SR que sirve para darle mayor trabajabilidad a las mezclas de concreto permeable y de esa forma, tener un mayor intervalo de tiempo para realizar los ensayos en estado fresco.

3.2 Normativa

Para la caracterización de los agregados se usa distintos ASTM, tales como el ASTM C-136 o su similar la Norma Técnica Peruana (NTP en adelante) 400.012 para el análisis granulométrico. También el ASTM C – 127 o su similar la NTP 400.021 para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso. El ASTM C-29 o su similar NTP 400.017 para el peso unitario suelto y compactado del agregado grueso. Finalmente, el ASTM C-566 o su similar la NTP 339.185 para determinar el contenido de humedad.

Para el propio diseño del concreto permeable se siguen los lineamientos según el ACI 211.3R “Guide for selecting proportions for No – Slump concrete”, en español, “Guía para determinar el proporcionamiento para un concreto sin Slump”, específicamente en el Apéndice 6 de la guía en mención. También se hace referencia el ACI 522R-10 “Report on pervious concrete”, cuyo capítulo 6 nos habla sobre el proporcionamiento de materiales para la mezcla de concreto permeable. Estas guías nos brindan los pasos a seguir para poder realizar el diseño de mezcla del concreto permeable en base a parámetros como contenido de vacíos, percolación (permeabilidad) y resistencia a la compresión.

Por otra parte, se toma la Norma CE.010 – Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE en adelante) en donde el apartado 4.4. Pavimentos Especiales brindará los requisitos a cumplir para la construcción de una vereda.

3.3 Caracterización de los materiales

Los ensayos de control de calidad y de propiedades físicas del agregado grueso se realizarán en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), a continuación se describe brevemente cada ensayo.

3.3.1 Análisis granulométrico de los agregados

Los equipos empleados para este ensayo fueron:

- Balanza, con aproximación a 0.1 g.
- Horno, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 +/- 5° C.
- Mallas, un juego normalizado que debe incluir tamices, para el agregado grueso de: 2 1/2”, 2”, 1 1/2”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”, # 4 y el fondo.
- Envases y herramientas varias.

Procedimiento: Si el agregado se encuentra húmedo es necesario secarlo hasta obtener un peso constante. Si el agregado se encuentra aparentemente seco es apto para realizar este ensayo. Escoger la cantidad de muestra mínima de acuerdo al Tamaño máximo nominal (TMN), tomando como guía la siguiente tabla (ver tabla 4).

Tabla 4
Muestra mínima para el ensayo de granulometría

TMN	ASTM
3/8"	1 kg
1/2"	2 kg
3/4"	5 kg
1"	10 kg
1 1/2"	15 kg
2"	20 kg

Nota: Cantidad de muestra mínima para el ensayo de granulometría según ASTM C136. Adaptado de “Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos”, por ASTM, 2017.

Tamiz Nº	Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
3"				
2 1/2"	0			
2"	0			
1 1/2"	0			
1"	0			
3/4"	0			100
1/2"	1746.2	69.83	69.83	30.17
3/8"	458.2	18.32	88.15	11.85
Nº 4	283.7	11.35	99.5	0.5
Nº 8				
FONDO	12.4	0.5	100	0
PESO INICIAL SECO	2500.5	MÓDULO DE FINEZA	4.88	
TMN =	1 1/2"			

Figura 12. Anotación de pesos retenidos y cálculos.

Elaboración propia.

En la figura 14, se observa el proceso de tamizado de los agregados para separarlos por su tamaño nominal. En la figura 15 se observa la balanza a utilizar para pesar las cantidades retenidas de los agregados en cada tamiz.

Finalmente, se procede a tamizar, pesar el agregado retenido en cada malla, anotarlos y realizar los respectivos cálculos. En la figura 12, se muestra las anotaciones y cálculos

realizados en laboratorio. La formula 1 nos ayuda a determinar el modulo de fineza de los agregados ensayados.

$$MF = \frac{\sum \% R. Ac. 3 + 1\frac{1}{2} + \frac{3}{4} + \frac{3}{8} + \#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100}{100}$$

Fórmula 1. Ecuación para el modulo de fineza.

3.3.2 Peso específico y absorción de los agregados

Los equipos empleados para este ensayo fueron:

- Balanza hidrostática, con aproximación a 0.1 g.
- Horno, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 +/- 5° C.Cesta
- Metálica, confeccionada con malla # 10 y un recipiente de almacenaje.
- Franelas y herramientas varias

Procedimiento: Escoger la cantidad de muestra mínima de acuerdo al Tamaño máximo nominal (TMN), tomando como guía la siguiente tabla (ver tabla 5).

Tabla 5

Muestra mínima para el ensayo según ASTM C-127

TMN	PESO MINIMO kg
< 1/2"	2
3/4"	3
1"	4
1 1/2"	5

Nota: Cantidad de muestra mínima para el ensayo de peso específico según ASTM C127. Adaptado de “Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados gruesos”, por ASTM, 2017.

Obtener la cantidad por cuarteo, que retenga la malla # 4 (ver figura 13) y saturarlo por 24 horas (ver figura 16).

Decantar el agua y tomar el peso mínimo del material según el TMN aproximado de agregado saturado con superficie seca (agregado en sss). Esto se obtiene secando el agregado con ayuda de una franela (la superficie de las partículas).

Sumergir la canastilla metálica (ver figura 17) en un recipiente lleno de agua a un determinado nivel y que debe estar acoplado a la balanza hidrostática. Registrar el peso de la canastilla dentro del agua, adicionar la muestra en sss en la canastilla y pesar (ver figura 18).

Figura 13. Tamiz N° 4 para clasificar la muestra.
Elaboración propia.

Figura 14. Tamizado del agregado grueso.
Elaboración propia.

Figura 15. Pesaje de la muestra ya tamizada, se escogió un peso de 2kg aproximadamente.
Elaboración propia.

Figura 16. Saturar la muestra en un recipiente durante 24 horas.
Elaboración propia.

Figura 17. Cesta Metálica, confeccionada con malla # 10 y un recipiente de almacenaje. Elaboración propia.

Figura 18. Poner el agregado cuidadosamente dentro de la cesta metálica y pesar. Elaboración propia.

3.3.3 Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

Los equipos empleados para este ensayo fueron:

- Balanza, con aproximación a 0.1 g.
- Horno, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
- Molde Normalizado, de $1/10 \text{ pie}^3$.
- Varilla compactadora, de acero liso de 60cm de $5/8''$ y con punta de semiesférica.
- Martillo de goma.

Procedimiento: Seleccionar el molde normalizado a usar de acuerdo al TMN del agregado. Para ello se usó la siguiente tabla (ver tabla 6).

Tabla 6

Cantidad de muestra mínima para el ensayo según ASTM C-29

TMN	RECIPIENTE A USAR (pie^3)
3"	1
$1 \frac{1}{2}''$	$\frac{1}{2}$
1"	$\frac{1}{3}$
$\frac{1}{2}''$	$\frac{1}{10}$

Nota: Cantidad de muestra mínima para el ensayo de peso específico según ASTM C127. Adaptado de “Método de ensayo estándar para determinar la densidad en masa (peso unitario) e índice de huecos en los agregados”, por ASTM, 2017.

Para calcular el Peso Unitario Suelto.- El material a ensayar con fines de diseño debe estar seco o aparentemente seco. Tomar una muestra de por lo menos 2 veces mayor del volumen del recipiente a usar. Llenar el molde con el material en exceso (ver figura 19), enrazar (ver figura 20) y luego pesar (ver figura 21).

Para calcular el Peso Unitario Compactada.- La muestra a ensayar debe estar seco o aparentemente seco 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, luego enrazar y pesar.

Método de apisonado o varillado.- Este método se utiliza se tiene agregados menores a TMN de 1 ½” o cuando se utiliza envase máximo el de ½ pie³, consiste en compactar cada capa con 25 penetraciones con una varilla normalizada (figura 22) para luego golpear el exterior del molde con un martillo de goma (figura 23) para que los agujeros dejados por la varilla se cierren. Llenar la segunda capa de tal forma que la varilla penetre 1” aproximadamente a la capa inferior, llenar la tercera capa en exceso y proceder de la misma forma que la segunda capa. Por último, se procede a pesar la muestra compactada (ver figura 24).

Figura 19. Llenado de envase para ensayo en estado suelto.

Elaboración propia.

Figura 20. Enrase tanto para la muestra suelta como para la muestra compactada.

Elaboración propia.

Figura 21. Pesaje de la muestra suelta.

Elaboración propia

Figura 22. Compactado con varilla.

Elaboración propia

Figura 23. Compactado con martillo de goma.

Elaboración propia

Figura 24. Pesaje de la muestra compactada.

Elaboración propia

3.3.4 Contenido de humedad del agregado

Los equipos empleados para este ensayo fueron:

- Balanza, con aproximación a 0.1 g.
- Horno, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
- Envases y herramientas varias.

Procedimiento: Deberá disponerse de una muestra representativa del contenido de humedad de la fuente de abastecimiento que está evaluándose con una masa no menor de la cantidad indicada en la Tabla 7.

Tabla 7

Masa mínima de la muestra de agregado para el ensayo de humedad

Tamaño Máximo Nominal de Agregado milímetros (pulgadas)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal Kg
4.75mm (0.187") (Nº4)	0.5
9.5mm (3/8")	1.5
12.5mm (1/2")	2.0
19.0mm (3/4")	3.0
25.0mm (1")	4.0
37.5mm (1 1/2")	6.0
50.0mm (2")	8.0
63.0mm (2 1/2")	10.0
75.0 mm (3")	13.0
90.0 mm (3")	16.0
100.0mm (4")	25.0
150 mm (6")	50.0

Nota: Cantidad de muestra mínima para el ensayo de peso específico según ASTM C566. Adaptado de “Estándar Método de ensayo para medir el contenido total de humedad en agregados mediante secado”, por ASTM, 2014.

Registrar el peso húmedo del material (ver figura 25), transportar la muestra en un recipiente en el cual pueda ser secado al horno. Usar un horno de temperatura controlada con termostato, graduar la temperatura entre 110+ 5°C y dejarlo secar durante 24 horas (ver figura 26).

Determinar la masa de la muestra seca con una aproximación de 0.1% del peso total de la muestra.

Figura 25. Muestra colocada en el horno.
Elaboración propia

Figura 26. Pesar muestra antes y después del
secado al horno.
Elaboración propia

3.3.5 Resultados agregado grueso HUSO 7

Análisis granulométrico: El módulo de fineza es 6.30 con un tamaño máximo nominal de 3/8" (ver tabla 8 y figura 27).

Tabla 8

Formato de datos del ensayo de granulometría del agregado grueso HUSO 7.

ENSAYO GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO						
MUESTRA:	AGREGADO GRUESO HUSO 7					
PROCEDENCIA:	CANTERA UNICON JICAMARCA					
Tamiz N°	Peso Retenido(g)	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	Requisitos HUSO 7	
4"				100.00%	100.00%	100.00%
3 1/2"				100.00%	100.00%	100.00%
3"				100.00%	100.00%	100.00%
2 1/2"	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
2"	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1 1/2"	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1"	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
3/4"	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1/2"	108.00	1.91%	1.91%	98.09%	90.00%	100.00%
3/8"	1733.00	30.71%	32.62%	67.38%	40.00%	70.00%
N°4	3673.00	65.08%	97.70%	2.30%	0.00%	15.00%
N°8	126.10	2.23%	99.93%	0.07%	0.00%	5.00%
FONDO	3.90	0.07%	100.00%	0.00%	0%	0%
Peso Inicial Seco	5644.00	Modulo de Fineza	6.30	TMN=	3/8"	

Nota: Resultados de ensayo de granulometría del agregado grueso huso 7.

Elaboración propia.

Figura 237. Curva granulométrica del agregado grueso HUSO 7.

Elaboración propia.

Peso específico y absorción de los agregados: El peso específico SSS es 2.94 g/cm³ y el porcentaje de absorción es de 1.21% (ver tabla 9).

Tabla 9

Formato de presentación de datos del ensayo de peso específico y absorción de agregados para agregado grueso HUSO 7

MUESTRA:		AGREGADO GRUESO HUSO 7	
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS			
AGREGADO GRUESO ASTM C-127			
IDENTIFICACIÓN DEL AGREGADO		PROCENDENCIA:	JICAMARCA
		TMN:	3/8"
		FECHA DE ENSAYO:	04/11/2016
ITEM	DESCRIPCION	DATOS	UND
A	Peso saturado superficialmente seco (sin sumergir)	5000,00	g
B	Peso saturado y superficialmente seco (sumergido)	3299,32	g
C	Volumen de la masa + volumen de vacíos (A-B)	1700,68	cm³
D	Peso de material seco al horno	4940,20	g
E	Peso específico de masa (D/C)	2,90	g/cm³
F	Peso específico SSS (base saturada) (A/C)	2,94	g/cm³
G	Peso específico aparente (base seca) (D/(D-B))	3,01	g/cm³
H	Absorción (((A-D)/D)*100)	1.21%	

Nota: Resultados de ensayo de peso específico y absorción de agregados del agregado grueso huso 7.

Elaboración propia.

Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso: El peso unitario seco compactado es de 1624.30 kg/m³ (ver tabla 10).

Tabla 10

Formato de presentación de datos del ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso HUSO 7

MUESTRA:		AGREGADO GRUESO HUSO 7	
PESO UNITARIO SECO SUELTO Y COMPACTO			
PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS ASTM C-29			
IDENTIFICACIÓN DEL AGREGADO		PROCENDENCIA:	JICAMARCA
		TMN:	3/8"
		FECHA DE ENSAYO:	04/11/2016
ITEM	DESCRIPCION	DATOS	UND
A	Peso del molde	5,5800	Kg
B	Volumen del molde	0,009253	m³
C	Peso del molde + peso de la muestra seca	19,4600	Kg
D	Peso de la muestra seca (C-A)	13,8800	Kg
E	Peso unitario seco suelto (D/B)	1500,00	Kg/m³
ITEM	DESCRIPCION	DATOS	UND
A	Peso del molde	5,5800	Kg
B	Volumen del molde	0,009258	m³
C	Peso del molde + peso de la muestra seca	20,6180	Kg
D	Peso de la muestra seca (C-A)	15,0380	Kg
E	Peso unitario seco compactado (D/B)	1624,30	Kg/m³

Nota: Resultados de ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso huso 7.

Elaboración propia.

Contenido de humedad del agregado: El contenido de humedad es 0.18%. (ver tabla 11).

Tabla 11

Formato de presentación de datos del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso HUSO 7

MUESTRA:		AGREGADO GRUESO HUSO 7		
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS				
ASTM C-566				
IDENTIFICACIÓN DEL AGREGADO	PROCENDENCIA:		JICAMARCA	
	TMN:		3/8"	
	FECHA DE ENSAYO:		04/11/2016	
PESO UNITARIO SECO SUELTO				
ITEM	DESCRIPCION		DATOS	UND
A	Peso del recipiente		150,30	g
B	Volumen del recipiente + muestra húmeda		2345,50	g
C	Peso del recipiente + muestra seca		2341,60	g
D	Contenido de humedad ((B-C)/(C-A))		0.18%	

Nota: Resultados de ensayo de contenido de humedad de los agregados huso 7.

Elaboración propia.

3.3.6 Resultados agregado grueso HUSO 67

Análisis granulométrico: El módulo de fineza es de 6.67 con un tamaño máximo nominal de 1/2" (ver tabla 12 y figura 28).

Tabla 12

Formato de presentación de datos del ensayo de granulometría del agregado grueso HUSO 67

ENSAYO GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO						
MUESTRA:	AGREGADO GRUESO HUSO 67					
PROCEDENCIA:	CANTERA UNICON JICAMARCA					
Tamiz N°	Peso Retenido(g)	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa	REQUISITOS HUSO 67	
4"				100.00%	100.00%	100.00%
3 1/2"				100.00%	100.00%	100.00%
3"				100.00%	100.00%	100.00%
2 1/2"	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
2"	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1 1/2"	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1"	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
3/4"	124.70	1.94%	1.94%	98.06%	90.00%	100.00%
1/2"	2584.60	40.22%	42.16%	57.84%	50.00%	73.00%
3/8"	1568.10	24.40%	66.56%	33.44%	20.00%	55.00%
N°4	2025.30	31.51%	98.07%	1.93%	0.00%	10.00%
N°8	95.10	1.48%	99.55%	0.45%	0.00%	5.00%
FONDO	28.70	0.45%	100.00%	0.00%		
Peso Inicial Seco	6426.50	MODULO DE FINEZA	6.67	TMN=	1/2"	

Nota: Resultados de ensayo de granulometría del agregado grueso huso 67.

Elaboración propia.

Figura 248. Curva granulométrica del agregado grueso HUSO 67.

Elaboración propia.

Peso específico y absorción de los agregados: El peso específico SSS es de 2.71 g/cm^3 y un porcentaje de absorción es de 0.99% (ver tabla 13).

Tabla 13

Formato de presentación de datos del ensayo de peso específico y absorción de agregados para agregado grueso HUSO 67

MUESTRA:	AGREGADO GRUESO HUSO 67	
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS		
AGREGADO GRUESO ASTM C-127		
IDENTIFICACIÓN DEL AGREGADO	PROCENDENCIA:	JICAMARCA
	TMN:	1/2"
	FECHA DE ENSAYO:	04/11/2016

ITEM	DESCRIPCION	DATOS	UND
A	Peso saturado superficialmente seco (sin sumergir)	5000,00	g
B	Peso saturado y superficialmente seco (sumergido)	3155,70	g
C	Volumen de la masa + volumen de vacíos (A-B)	1844,30	cm ³
D	Peso de material seco al horno	4951,20	g
E	Peso específico de masa (D/C)	2,68	g/cm ³
F	Peso específico SSS (base saturada) (A/C)	2,71	g/cm ³
G	Peso específico aparente (base seca) (D/(D-B))	2,76	g/cm ³
H	Absorción (((A-D)/D)*100)	0,99%	

Nota: Resultados de ensayo de peso específico y absorción de agregados del agregado grueso huso 67.

Elaboración propia.

Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso: El peso unitario seco compactado es de 1631.00 kg/m^3 (ver tabla 14).

Tabla 14

Formato de presentación de datos del ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso HUSO 67

MUESTRA:	AGREGADO GRUESO HUSO 67	
PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO		
PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS		
ASTM C-29		
IDENTIFICACIÓN DEL AGREGADO	PROCENDENCIA:	JICAMARCA
	TMN:	1/2"
	FECHA DE ENSAYO:	04/11/2016

PESO UNITARIO SECO SUELTO			
ITEM	DESCRIPCION	DATOS	UND
A	Peso del molde	5,5800	Kg
B	Volumen del molde	0,009253	m ³
C	Peso del molde + peso de la muestra seca	19,4600	Kg
D	Peso de la muestra seca (C-A)	13,8800	Kg
E	Peso unitario seco suelto (D/B)	1500,00	Kg/m ³

PESO UNITARIO SECO COMPACTADO			
ITEM	DESCRIPCION	DATOS	UND
A	Peso del molde	5,5800	Kg
B	Volumen del molde	0,009258	m ³
C	Peso del molde + peso de la muestra seca	20,6800	Kg
D	Peso de la muestra seca (C-A)	15,1000	Kg
E	Peso unitario seco compactado (D/B)	1631,00	Kg/m ³

Nota: Resultados de ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso huso 7.

Elaboración propia.

Contenido de humedad del agregado: El contenido de humedad es 0.18% (ver tabla 15).

Tabla 15

Formato de presentación de datos del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso HUSO 67

MUESTRA:	AGREGADO GRUESO HUSO 67	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS		
ASTM C-566		
IDENTIFICACIÓN DEL AGREGADO	PROCENDENCIA:	JICAMARCA
	TMN:	1/2"
	FECHA DE ENSAYO:	04/11/2016

PESO UNITARIO SECO SUELTO			
ITEM	DESCRIPCION	DATOS	UND
A	Peso del recipiente	150,30	g
B	Volumen del recipiente + muestra húmeda	2345,50	g
C	Peso del recipiente + muestra seca	2341,60	g
D	Contenido de humedad ((B-C)/(C-A))	0,18%	

Nota: Resultados de ensayo de contenido de humedad de los agregados huso 7.

Elaboración propia.

3.4 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño son las variables que intervendrán de acuerdo a las características que se deseen obtener en el concreto permeable.

3.4.1 Resistencia

La resistencia de un concreto para veredas está definida en la CE010 Pavimentos Urbanos con un mínimo de 175 kg/cm² de resistencia a la compresión (f'_c). Es por ello que nuestra investigación adoptó dicho valor para proceder con el diseño (ver tabla 16).

Tabla 16

Materiales y sus resistencias para distintos tipo de pavimentos urbanos

Tipo de Pavimento		Aceras o veredas	Pasajes Peatonales	Ciclovías
Material	Asfáltico	Concreto asfáltico		
	Concreto de Cemento Portland	$f'_c \geq 17,5 \text{ MPa (175Kg/cm}^2\text{)}$		
	Adoquines	$f'_c \geq 32 \text{ MPa (320 Kg/cm}^2\text{)}$	N.R.	

Nota: Parámetros de resistencia para diferentes tipos de pavimentos. Adaptado de “CE010 Pavimentos Urbanos”, por NTP, 2010.

3.4.2 Contenido de vacíos

El contenido de vacíos es un parámetro que está estrechamente relacionado con la resistencia a compresión que se desea alcanzar. Esto está explicado en la norma ACI 211.3R, mediante un gráfico en el que se intersecará la resistencia deseada en la curva correspondiente al tamaño de agregado grueso (Ver figura 29).

Figura 29. Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días para tamaño de agregado de 3/4" (rojo) y 3/8" (verde).

Adaptado de “Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete”, por ACI, 2009.

3.4.3 Permeabilidad

La permeabilidad es un valor que está ligado directamente con el contenido de vacíos. Es decir, a mayor porcentaje de vacíos en el concreto permeable, el agua podrá infiltrarse a mayor razón de percolación en unidades de mm/min (ver figura 30).

Figura 30. Mínimo contenido de vacíos para determinada percolación (permeabilidad).

Adaptado de “Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete”, por ACI, 2009.

Es muy importante la tasa de infiltración de las mezclas. Las mismas investigaciones permiten establecer que asociado a un 15% de huecos se encuentra una tasa de infiltración cercana a 0.35 cm/s (Meininger, 1988). Este valor, será considerado en este trabajo como la mínima tasa de infiltración aceptable para considerar como permeable a una mezcla.

3.4.4 Espesor

En cuanto al espesor de la capa de rodadura de la vereda también se tiene un mínimo de 10 centímetros, a continuación se presenta un cuadro de la norma peruana CE010 de Pavimentos Urbanos (ver tabla 17).

Tabla 17

Espesor de la capa de rodadura para distintos tipo de pavimentos urbanos

Tipo de Pavimento		Aceras o veredas	Pasajes Peatonales	Ciclovías
Elemento				
Espesor de la capa rodadura	Asfáltico	$\geq 30\text{mm}$		
	Concreto de Cemento Portland	$\geq 100\text{mm}$		
	Adoquines	$\geq 40\text{ mm}$ (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm)		

Nota: Parámetros de espesor para diferentes tipos de pavimentos. Adaptado de “CE010 Pavimentos Urbanos”, por NTP, 2010.

3.5 Diseños de mezcla

El diseño se realizó empleando los lineamientos del ACI 211.3R, el cual nos ofrece el método de diseño, tablas y consideraciones para la dosificación de materiales. En base a lo mencionado, se detallan los datos de donde partirá el diseño. Para ello se necesita la relación agua-cemento, el porcentaje de vacíos y la resistencia a la compresión. Además, el peso específico del cemento, y para la piedra se necesita el peso unitario SC, el peso específico SSS y el porcentaje de absorción para realizar las correcciones necesarias. Con la resistencia a la compresión que se desea alcanzar, se procede a determinar gráficamente el porcentaje de vacíos (ver figura 31).

Figura 31. Selección del porcentaje de vacíos correspondiente a un $f'_c=175\text{kg/cm}^2$, considerando uso de agregado No. 8 o 3/8”.

Adaptado de “Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete”, por ACI, 2009.

Ahora, se determina el porcentaje de pasta necesario para una mezcla bien compactada. La relación entre el porcentaje de pasta y el contenido de vacíos se representa en la figura 32.

Figura 32. Selección del porcentaje de pasta suficiente para cumplir con el contenido de vacíos.

Adaptado de “Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete”, por ACI, 2009.

- Resumen de datos y dosificaciones de diseño de mezcla de concreto permeable

Se realizó un total de 12 diseños de mezclas con el fin de cumplir con los objetivos establecidos. Las tablas (de la Tabla 18 a la 29) a continuación muestran los datos requeridos y las dosificaciones a utilizar para cada diseño de mezcla realizado. Estas tienen variación tanto en relación a/c, tipo de cemento y piedra.

Tabla 18

Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 1

DATOS		UND	
Relación agua-cemento (a/c)		0.30	
Porcentaje de vacíos		15.00%	
Resistencia a la compresión		175.00	Kg/cm ²
Cemento SOL	Peso específico	3.15	g/cm ³
Piedra HUSO 7	Peso unitario SSS	1,624.30	Kg/m ³
	Absorción	1.21%	
Aditivo	Z Fluidizante SR	0.80%	
Materiales	Peso (kg)	Vol (m ³)	
Cemento (C)	323.9075	0.1173	
A. grueso (Pg)	1914.3972	0.6931	
Agua (a)	106.2632	0.0385	
Z Fluidizante SR	3.0577	0.0011	
Vacíos		0.1500	
TOTAL	2347.6256	1.000	

Nota: Dosificación final del diseño N° 01.

Elaboración propia.

Tabla 19

Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 2

Relación agua-cemento (a/c)		0.35	
Porcentaje de vacíos		15.00%	
Resistencia a la compresión		175.00	kg/cm ²
Cemento SOL	Peso específico	3.15	g/cm ³
Piedra HUSO 7	Peso unitario SC	1,624.30	kg/m ³
	Peso específico SSS	2.94	g/cm ³
	Absorción	1.21%	
ADITIVO	Z Fluidizante SR	0.80%	
Materiales	Peso(kg)	Vol. (m ³)	
Cemento (c)	299.6433	0.1093	
A. grueso (Pg)	1914.3972	0.6981	
Agua (a)	113.9661	0.0416	
Z Fluidizante SR	2.8286	0.0010	
Vacíos		0.1500	
TOTAL	2330.8353	1.000	

Nota: Dosificación final del diseño N° 02.

Elaboración propia.

Tabla 20

Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 3

Relación agua-cemento (a/c)		0.38	
Porcentaje de vacíos		15.00%	
Resistencia a la compresión		175.00	kg/cm ²
Cemento SOL	Peso específico	3.15	g/cm ³
Piedra HUSO 7	Peso unitario SC	1,624.30	kg/m ³
	Peso específico SSS	2.94	g/cm ³
	Absorción	1.21%	
ADITIVO	Z Fluidizante SR	0.80%	
Materiales		Peso(kg)	Vol. (m ³)
Cemento (c)		286.7547	0.1050
A. grueso (Pg)		1914.3972	0.7008
Agua (a)		118.0578	0.0432
Z Fluidizante SR		2.7070	0.0010
Vacíos			0.1500
TOTAL		2321.9166	1.000

Nota: Dosificación final del diseño N° 03.

Elaboración propia.

Tabla 21

Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 4

Relación agua-cemento (a/c)		0.30	
Porcentaje de vacíos		15.00%	
Resistencia a la compresión		175.00	kg/cm ²
Cemento QUISQUEYA	Peso específico	3.15	g/cm ³
Piedra HUSO 7	Peso unitario SC	1,624.30	kg/m ³
	Peso específico SSS	2.94	g/cm ³
	Absorción	1.21%	
ADITIVO	Z Fluidizante SR	0.80%	
Materiales		Peso(kg)	Vol. (m ³)
Cemento (c)		323.9075	0.1173
A. grueso (Pg)		1914.3972	0.6931
Agua (a)		106.2632	0.0385
Z Fluidizante SR		3.0577	0.0011
Vacíos			0.1500
TOTAL		2347.6256	1.000

Nota: Dosificación final del diseño N° 04.

Elaboración propia.

Tabla 22

Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 5

Relación agua-cemento (a/c)		0.35	
Porcentaje de vacíos		15.00%	
Resistencia a la compresión		175.00	kg/cm ²
Cemento QUISQUEYA	Peso específico	3.15	g/cm ³
Piedra HUSO 7	Peso unitario SC	1,624.30	kg/m ³
	Peso específico SSS	2.94	g/cm ³
	Absorción	1.21%	
ADITIVO	Z Fluidizante SR	0.80%	
Materiales		Peso(kg)	Vol. (m ³)
Cemento (c)		299.6433	0.1093
A. grueso (Pg)		1914.3972	0.6981
Agua (a)		113.9661	0.0416
Z Fluidizante SR		2.8286	0.0010
Vacíos			0.1500
TOTAL		2330.8353	1.000

Nota: Dosificación final del diseño N° 05.

Elaboración propia.

Tabla 23

Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 6

Relación agua-cemento (a/c)		0.38	
Porcentaje de vacíos		15.00%	
Resistencia a la compresión		175.00	kg/cm ²
Cemento QUISQUEYA	Peso específico	3.15	g/cm ³
Piedra HUSO 7	Peso unitario SC	1,624.30	kg/m ³
	Peso específico SSS	2.94	g/cm ³
	Absorción	1.21%	
ADITIVO	Z Fluidizante SR	0.80%	
Materiales		Peso(kg)	Vol. (m ³)
Cemento (c)		286.7547	0.1050
A. grueso (Pg)		1914.3972	0.7008
Agua (a)		118.0578	0.0432
Z Fluidizante SR		2.7070	0.0010
Vacíos			0.1500
TOTAL		2321.9166	1.000

Nota: Dosificación final del diseño N° 06.

Elaboración propia.

Tabla 24

Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 7

Relación agua-cemento (a/c)		0.30	
Porcentaje de vacíos		15.00%	
Resistencia a la compresión		175.00	kg/cm ²
Cemento SOL	Peso específico	3.15	g/cm ³
Piedra HUSO 67	Peso unitario SC	1,631.00	kg/m ³
	Peso específico SSS	2.71	g/cm ³
	Absorción	0.99%	
ADITIVO	Z Fluidizante SR	0.80%	
Materiales		Peso(kg)	Vol. (m ³)
Cemento (c)		323.9075	0.1253
A. grueso (Pg)		1765.3225	0.6827
Agua (a)		105.5553	0.0408
Z Fluidizante SR		3.0577	0.0012
Vacíos			0.1500
TOTAL		2197.8429	1.000

Nota: Dosificación final del diseño N° 07.

Elaboración propia.

Tabla 25

Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 8

Relación agua-cemento (a/c)		0.35	
Porcentaje de vacíos		15.00%	
Resistencia a la compresión		175.00	kg/cm ²
Cemento SOL	Peso específico	3.15	g/cm ³
Piedra HUSO 67	Peso unitario SC	1,631.00	kg/m ³
	Peso específico SSS	2.71	g/cm ³
	Absorción	0.99%	
ADITIVO	Z Fluidizante SR	0.80%	
Materiales		Peso(kg)	Vol. (m ³)
Cemento (c)		299.6433	0.1166
A. grueso (Pg)		1765.3225	0.6871
Agua (a)		113.2582	0.0441
Z Fluidizante SR		2.8286	0.0011
Vacíos			0.1500
TOTAL		2183.9891	1.000

Nota: Dosificación final del diseño N° 08.

Elaboración propia.

Tabla 26

Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 9

Relación agua-cemento (a/c)		0.38	
Porcentaje de vacíos		15.00%	
Resistencia a la compresión		175.00	kg/cm ²
Cemento SOL	Peso específico	3.15	g/cm ³
Piedra HUSO 67	Peso unitario SC	1,631.00	kg/m ³
	Peso específico SSS	2.71	g/cm ³
	Absorción	0.99%	
ADITIVO	Z Fluidizante SR	0.80%	
Materiales		Peso(kg)	Vol. (m ³)
Cemento (c)		286.7547	0.1121
A. grueso (Pg)		1765.3225	0.6899
Agua (a)		117.3498	0.0459
Z Fluidizante SR		2.7070	0.0011
Vacíos			0.1500
TOTAL		2174.9441	1.000

Nota: Dosificación final del diseño N° 09.

Elaboración propia.

Tabla 27

Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 10

Relación agua-cemento (a/c)		0.30	
Porcentaje de vacíos		15.00%	
Resistencia a la compresión		175.00	kg/cm ²
Cemento QUISQUEYA	Peso específico	3.15	g/cm ³
Piedra HUSO 67	Peso unitario SC	1,631.00	kg/m ³
	Peso específico SSS	2.71	g/cm ³
	Absorción	0.99%	
ADITIVO	Z Fluidizante SR	0.80%	
Materiales		Peso(kg)	Vol. (m ³)
Cemento (c)		323.9075	0.1253
A. grueso (Pg)		1765.3225	0.6827
Agua (a)		105.5553	0.0408
Z Fluidizante SR		3.0577	0.0012
Vacíos			0.1500
TOTAL		2197.8429	1.000

Nota: Dosificación final del diseño N° 10.

Elaboración propia.

Tabla 28

Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 11

Relación agua-cemento (a/c)		0.35	
Porcentaje de vacíos		15.00%	
Resistencia a la compresión		175.00	kg/cm ²
Cemento QUISQUEYA	Peso específico	3.15	g/cm ³
Piedra HUSO 67	Peso unitario SC	1,631.00	kg/m ³
	Peso específico SSS	2.71	g/cm ³
	Absorción	0.99%	
ADITIVO	Z Fluidizante SR	0.80%	
Materiales		Peso(kg)	Vol. (m ³)
Cemento (c)		299.6433	0.1168
A. grueso (Pg)		1765.3225	0.6880
Agua (a)		113.2582	0.0441
Z Fluidizante SR		2.8286	0.0011
Vacíos			0.1500
TOTAL		2181.0526	1.000

Nota: Dosificación final del diseño N° 11.

Elaboración propia.

Tabla 29

Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 12

Relación agua-cemento (a/c)		0.38	
Porcentaje de vacíos		15.00%	
Resistencia a la compresión		175.00	kg/cm ²
Cemento QUISQUEYA	Peso específico	3.15	g/cm ³
Piedra HUSO 67	Peso unitario SC	1,631.00	kg/m ³
	Peso específico SSS	2.71	g/cm ³
	Absorción	0.99%	
ADITIVO	Z Fluidizante SR	0.80%	
Materiales		Peso(kg)	Vol. (m ³)
Cemento (c)		286.7547	0.1122
A. grueso (Pg)		1765.3225	0.6908
Agua (a)		117.3498	0.0459
Z Fluidizante SR		2.7070	0.0011
Vacíos			0.1500
TOTAL		2172.13	1.00

Nota: Dosificación final del diseño N° 12.

Elaboración propia.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

En el presente capítulo se presenta el procedimiento de elaboración de las muestras, las pruebas en estado fresco así como las pruebas en estado endurecido. Describiendo las metodologías utilizadas y presentando figuras que ayudarán a su entendimiento.

4.1 Fabricación de las muestras

Para la fabricación de muestras se utilizó probetas metálicas de 0.15 m. de diámetro por 0.30 m. de alto. En primer lugar, la parte interna de las probetas deben ser cubiertas por desmoldante, con ayuda de una brocha se esparce tratando de cubrir uniformemente toda el área de contacto. Una vez terminado el proceso de aplicación de desmoldante, dejamos secar (ver figuras 33 y 34).

Figura 33. Materiales en proporción.
Elaboración propia.

Figura 34. Aplicación de desmoldante.
Elaboración propia.

4.1.1 Moldeado

Para fabricar las probetas seguiremos el procedimiento tradicional, de vaciar y compactar en 3 capas. El compactado se realizó con la barra de acero liso con punta boleada, a razón de 20 penetraciones por capa (ver figuras 35 y 36).

Figura 35. Preparación de la mezcla.
Elaboración propia.

Figura 36. Preparación de las probetas.
Elaboración propia.

4.1.2 Curado

Curado inicial

El curado inicial para este concreto especial se realizó dejando reposar al aire libre las probetas durante máximo 4 horas (ver figura 37).

Figura 37. Probetas en curado inicial.

Elaboración propia.

Curado final

Para el curado final se tienen que desmoldar las probetas (ver figura 38). Una vez fuera de los moldes, las probetas fueron sumergidas en una poza con agua reposando durante 7, 14, 21 y 28 días (ver figura 39), de acuerdo al tiempo en el que serán puestas a prueba en estado endurecido.

Figura 38. Desmoldado de probetas.

Elaboración propia.

Figura 39. Probetas en curado final.

Elaboración propia.

4.2 Pruebas en estado fresco

Las pruebas en estado fresco fueron realizadas lo más rápido posible para poder obtener resultados reales, ya que el concreto permeable posee un tiempo de fraguado menor al concreto tradicional. Por ello, para no perder trabajabilidad debido a que la pasta es de puro cemento, se trabajó bajo sombra y cuidando que la mezcla no pierda agua protegiendo el suelo con mantos de plástico.

4.2.1 Slump

El slump o asentamiento se realizó según los pasos y equipos correspondientes a la norma ASTM C143, mediante el método del cono de Abrams (ver figura 40 y 41). El slump esperado para nuestro programa experimental se encontraba en un rango de 0 a 2 pulgadas, sin embargo, se podría tener variabilidad debido a las características de cada diseño de mezcla.

Figura 40. Implementos para realizar prueba de Slump.

Elaboración propia.

Figura 41. Slump 1".

Elaboración propia.

4.2.2 Contenido de vacíos

El contenido de vacíos se calculó mediante el método del ASTM 1688, que usa el peso unitario teórico siendo el del diseño de 15% y el peso unitario del ensayo (ver tabla 32).

4.2.3 Peso volumétrico

El peso volumétrico fue calculado en laboratorio según el ASTM C1688, utilizando un molde de 0.00695m^3 y una balanza calibrada. En el molde se agregó la mezcla de concreto

permeable, compactó en 3 capas y 20 penetraciones de la barra de acero liso. A continuación, se pesó y finalmente se calculó el peso volumétrico de un diseño (ver tabla 30).

Tabla 30

Cálculo del peso volumétrico para diseño de mezcla 5

Ítem	Descripción	Datos	Und
1	Peso del molde	3.53	kg
2	Volumen del molde	0.00695	m ³
3	Peso del molde + concreto	17.07	kg
4	Peso del concreto (3)-(1)	13.54	kg
5	Peso volumétrico (4)/(2)	1948.20	kg/m ³

Nota: Ejemplo de cálculo del peso volumetrico.

Elaboración propia.

4.3 Pruebas en estado endurecido

Las pruebas en estado endurecido serán de importancia para comprobar los parámetros de diseño y también comprobar resistencias con ciertas pruebas de rotura en laboratorio.

4.3.1 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del concreto fue medida en el laboratorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas utilizando los pasos y equipos correspondientes de acuerdo a la norma ASTM C39 (ver figuras 42 y 43). Los diferentes diseños realizados fueron llenados en probetas de dos tamaños 15 cm x 30 cm y 10 cm x 20 cm. Por cada mezcla de concreto se ensayaron 3 muestras. Estas fueron desmoldadas y colocadas a curar hasta el día de ensayo de cada una. Los ensayos de compresión fueron realizados a los 7, 21 y 28 días.

Figura 42. Maquina “FORNEY” para medir compresión en probetas cilíndricas.

Elaboración propia.

Figura 43. Muestra ensayada.

Elaboración propia.

4.3.2 Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión del concreto fue medida en el laboratorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas utilizando los pasos y equipos correspondientes de acuerdo a la norma ASTM C78. La resistencia a la flexión fue realizada rompiendo una pequeña viga de concreto en la máquina de laboratorio (ver figura 44 y 45).

Los diferentes diseños realizados fueron llenados en vigas de dos tamaños 15 cm x 30 cm y 10 cm x 20 cm. Estas fueron desmoldadas y colocadas a curar hasta el día de ensayo de cada una. Los ensayos de flexión fueron realizados a los 7 y 28 días.

Figura 44. Muestra ensayada.

Elaboración propia

Figura 45. Fractura ubicada dentro del tercio central.

Elaboración propia.

4.3.3 Permeabilidad

Para realizar el ensayo de permeabilidad se hace referencia un método definido por el ACI 522R-10 para medir la tasa de infiltración en el concreto permeable, en el cual los cilindros de concreto permeable son sometidos a un volumen de agua en un aparato llamado permeámetro. Para ello, Se elaboró un permeámetro con tuberías de PVC (ver figura 46).

Para calcular el coeficiente de permeabilidad de cada diseño de mezcla se empleó la ecuación de Darcy, presente en la formula N°2.

$$K = \frac{La}{At} \times \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Formula 2. Ecuación para determinar el coeficiente de permeabilidad.

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad

L: Longitud de la muestra.

A: Área de la muestra

a: Área de la tubería de carga

t: Tiempo que tarda la muestra en pasar (h1-h2)

h1: Altura de agua medida del nivel de referencia (parte superior de la muestra)

h2: Altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia

Figura 46. Prueba de permeabilidad.

Elaboración propia.

5 ANALISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se tratan netamente los resultados obtenidos en cada prueba, tanto en estado fresco como endurecido. Los datos fueron procesados, agrupados y/o graficados para un mejor entendimiento. Así como un breve análisis en cada prueba realizada.

5.1 Resultados en estado fresco

El Slump, contenido de vacíos y peso volumétrico son los 3 ensayos que se le realizaron al concreto permeable en estado fresco. A continuación, se presentarán los datos obtenidos de los 12 diseños.

5.1.1 Slump

Como era de esperarse debido a la baja cantidad de agua que desarrolla este concreto, por lo que tiene una consistencia rígida y casi seca, se obtuvo valores de Slump de 0 a 2", estos resultados fueron variando según la relación a/c utilizada en cada diseño de mezcla. En la tabla 31 se muestra los diferentes resultados para el ensayo de revenimiento en los diseños de mezcla 1-12, para diferentes relaciones de a/c, porcentaje de vacíos y cantidad de aditivo.

Tabla 31

Resultados en pruebas de revenimiento (slump) en ensayos de estado fresco de los diferentes diseños realizados

PRUEBA DE SLUMP			
REFERENCIA: ASTM C143			
Descripción (Diseño, a/c, Agreg., Cemento)	% vacíos	Aditivo fluidizante (%)	Slump (pulg)
Diseño 1, 0.30, Huso 7, SOL	15%	0.80	0
Diseño 2, 0.35, Huso 7, SOL	15%	0.80	1
Diseño 3, 0.38, Huso 7, SOL	15%	0.80	4
Diseño 4, 0.30, Huso 7, QUIS	15%	0.80	0
Diseño 5, 0.35, Huso 7, QUIS	15%	0.80	2
Diseño 6, 0.38, Huso 7, QUIS	15%	0.80	3
Diseño 7, 0.30, Huso 67, SOL	15%	0.80	1
Diseño 8, 0.35, Huso 67, SOL	15%	0.80	2
Diseño 9, 0.38, Huso 67, SOL	15%	0.80	6
Diseño 10, 0.30, Huso 67, QUIS	15%	0.80	1
Diseño 11, 0.35, Huso 67, QUIS	15%	0.80	3
Diseño 12, 0.38, Huso 67, QUIS	15%	0.80	5
Promedio			2.33
Desviación			1.92

Nota: Slump de los 12 diseños de mezcla.

Elaboración propia.

Figura 47. Slump ASTM C143 (en pulgadas) versus relación a/c.

Elaboración propia.

En la figura 47 se puede observar que los diseños de mezclas que fueron elaborados con relaciones a/c de 0.30 presentaron un Slump más cercano a 0". Por otro lado, los que tuvieron relación a/c más alto como el de 0.38 tuvieron Slump superiores a 3".

Moujir, Yalil; Castañeda, Luis (2014), en el desarrollo del diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos, obtuvieron un asentamiento en promedio de 8" para los diseños de mezclas sin finos con relaciones a/c 0.50. Estos resultados se debieron a la baja cohesión de las partículas y alta fluidez de la mezcla, además de factores externos como la humedad y temperatura.

5.1.2 Contenido de vacíos

El método realizado para calcular el contenido de vacíos según el ASTM C1688, se realiza con el fin de determinar la densidad de la mezcla en estado fresco, bajo condiciones estandarizadas por medio de la relación entre la densidad teórica del concreto calculado en una base sin aire con la densidad (masa unitaria) del concreto, cabe resaltar que la densidad teórica es una determinación de laboratorio, la cual es asumida como constante a lo largo de todo el diseño de mezcla que utilicen diferentes dosificaciones con la misma composición y proporción (ver tabla 32).

Tabla 32

Resultados de la prueba contenido de vacíos de los ensayos en estado fresco de los diferentes diseños realizados.

PRUEBA DE CONTENIDO DE VACIOS						
REFERENCIA: ASTM C1688						
Descripción (Diseño, a/c, Agreg., Cemento)	U diseño	Md (kg)	Vd (m3)	T (kg/m3)	D (kg/m3)	U=(T-D)/T
Diseño 1, 0.30, Huso 7, SOL	15%	18.861	0.008	2,258.78	1,905.04	15.66%
Diseño 2, 0.35, Huso 7, SOL	15%	18.861	0.008	2,258.78	1,909.35	15.47%
Diseño 3, 0.38, Huso 7, SOL	15%	18.861	0.008	2,258.78	1,935.25	14.32%
Diseño 4, 0.30, Huso 7, QUIS	15%	18.861	0.008	2,258.78	1,929.50	14.58%
Diseño 5, 0.35, Huso 7, QUIS	15%	18.861	0.008	2,258.78	1,948.20	13.75%
Diseño 6, 0.38, Huso 7, QUIS	15%	18.861	0.008	2,258.78	1,965.47	12.99%
Diseño 7, 0.30, Huso 67, SOL	15%	18.861	0.008	2,258.78	1,847.48	18.21%
Diseño 8, 0.35, Huso 67, SOL	15%	18.861	0.008	2,258.78	1,883.45	16.62%
Diseño 9, 0.38, Huso 67, SOL	15%	18.861	0.008	2,258.78	1,922.30	14.90%
Diseño 10, 0.30, Huso 67, QUIS	15%	18.861	0.008	2,258.78	1,838.85	18.59%
Diseño 11, 0.35, Huso 67, QUIS	15%	18.861	0.008	2,258.78	1,873.38	17.06%
Diseño 12, 0.38, Huso 67, QUIS	15%	18.861	0.008	2,258.78	1,930.94	14.51%
Promedio						15.55%
Desviación						1.75%

Nota: Contenido de vacíos de los 12 diseños de mezcla.

Elaboración propia.

Figura 48. Contenido de vacíos ASTM C1688 resultante en cada diseño.

Elaboración propia.

En la figura 48 se puede observar que los diseños de mezclas elaborados con relaciones a/c 0.38 tienen menor % de contenido de vacíos, siendo el mínimo de 12.99% mientras que el mayor fue de 18.59% con relación a/c 0.30.

Moujir, Yalil; Castañeda, Luis (2014), realizaron sus diseños de mezcla con un % de vacíos teórico de 20%, los cuales en la práctica obtuvieron un promedio de porcentaje de vacíos para sus diseños de mezclas sin finos de 18.27%, en comparación de su diseño de mezcla con finos de 15.42%, teniendo una mezcla 16% más porosa.

5.1.3 Peso volumétrico

El peso volumétrico fue calculado para cada diseño de mezcla, tal y como se muestra en la tabla 33. De estos, se aprecia que a mayor contenido de vacíos se obtiene un menor peso por metro cubico. También se logra encontrar que a medida que los agregados tengan un mayor tamaño, no necesariamente se tendrá un mayor peso volumétrico. La explicación para esto es que las piedras grandes no logran acomodarse tan bien como las pequeñas y por ende la cantidad de vacíos es mayor, lo que arroja valores menores de peso volumétrico. En la siguiente tabla, se aprecian los valores obtenidos en laboratorio.

Tabla 33

Resultados de prueba de peso volumétrico en ensayos de estado fresco de los diferentes diseños realizados

PRUEBA DE PESO UNITARIO										
REFERENCIA: ASTM C1688										
Descripción (Diseño, a/c, Agreg., Cemento)	Peso del molde (1)		Volumen del molde (2)		Peso del molde + concreto (3)		Peso del concreto (4) = (3) - (1)		Peso unitario (4) / (2)	
Diseño 1, 0.30, Huso 7, SOL	3.53	kg	0.007	m ³	16.77	kg	13.24	kg	1,905.04	kg/m ³
Diseño 2, 0.35, Huso 7, SOL	3.53	kg	0.007	m ³	16.80	kg	13.27	kg	1,909.35	kg/m ³
Diseño 3, 0.38, Huso 7, SOL	3.53	kg	0.007	m ³	16.98	kg	13.45	kg	1,935.25	kg/m ³
Diseño 4, 0.30, Huso 7, QUIS	3.53	kg	0.007	m ³	16.94	kg	13.41	kg	1,929.50	kg/m ³
Diseño 5, 0.35, Huso 7, QUIS	3.53	kg	0.007	m ³	17.07	kg	13.54	kg	1,948.20	kg/m ³
Diseño 6, 0.38, Huso 7, QUIS	3.53	kg	0.007	m ³	17.19	kg	13.66	kg	1,965.47	kg/m ³
Diseño 7, 0.30, Huso 67, SOL	3.53	kg	0.007	m ³	16.37	kg	12.84	kg	1,847.48	kg/m ³
Diseño 8, 0.35, Huso 67, SOL	3.53	kg	0.007	m ³	16.62	kg	13.09	kg	1,883.45	kg/m ³
Diseño 9, 0.38, Huso 67, SOL	3.53	kg	0.007	m ³	16.89	kg	13.36	kg	1,922.30	kg/m ³
Diseño 10, 0.30, Huso 67, QUIS	3.53	kg	0.007	m ³	16.31	kg	12.78	kg	1,838.85	kg/m ³
Diseño 11, 0.35, Huso 67, QUIS	3.53	kg	0.007	m ³	16.55	kg	13.02	kg	1,873.38	kg/m ³
Diseño 12, 0.38, Huso 67, QUIS	3.53	kg	0.007	m ³	16.95	kg	13.42	kg	1,930.94	kg/m ³

Nota: Peso unitario de los 12 diseños de mezcla.

Elaboración propia.

Figura 49. Peso unitario ASTM 1688 resultante de cada diseño, se indica el mayor el menor y el promedio.
Elaboración propia.

Como se aprecia en la figura 49, los resultados se encuentran dentro del rango esperado para pesos volumétricos de concreto permeable (1,600 a 2,000 kg/m³). Los pesos volumétricos en las mezclas con agregado HUSO 7 son mayores a los de las mezclas con agregado de HUSO 67 debido a la pequeña variación de vacíos que tienen por el TMN de agregados que estos presentan.

Pérez, Daniel (2009) obtuvo un rango de pesos volumétricos desde 1675 a 1970 kg/m³, con un diseño de mezcla de relación a/c 0.35, un porcentaje de vacíos de 15% y sin porcentaje de finos obtuvo un peso volumétrico de 1918 kg/cm².

5.2 Resultados en estado endurecido

El Slump, contenido de vacíos y peso volumétrico son los 3 ensayos que se le realizaron al concreto permeable en estado fresco. A continuación, se presentarán los datos obtenidos de los 12 diseños.

5.2.1 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión fue elaborada para ensayos a los 7, 21 y 28 días, esperando obtener resultados mayores a 175 kg/cm², resistencia requerida de diseño para cumplir con las especificaciones técnicas de la norma CE-010 para pavimentos.

Tabla 34

Resultados de Resistencia a compresión a 7, 21 y 28 días

ENSAYO DE COMPRESION						
REFERENCIA: ASTM C39						
Descripción	a/c	Agregado	Cemento	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
				7	21	28
Diseño de mezcla 1	0.30	Huso 7	Sol T1	97.69	124.83	144.34
Diseño de mezcla 2	0.35	Huso 7	Sol T1	114.27	150.14	172.25
Diseño de mezcla 3	0.38	Huso 7	Sol T1	102.87	131.59	147.73
Diseño de mezcla 4	0.30	Huso 7	Quisqueya T1	109.35	147.64	164.17
Diseño de mezcla 5	0.35	Huso 7	Quisqueya T1	135.14	176.69	196.13
Diseño de mezcla 6	0.38	Huso 7	Quisqueya T1	118.05	156.86	172.07
Diseño de mezcla 7	0.30	Huso 67	Sol T1	93.60	115.06	134.36
Diseño de mezcla 8	0.35	Huso 67	Sol T1	85.83	111.00	125.05
Diseño de mezcla 9	0.38	Huso 67	Sol T1	86.57	111.31	123.67
Diseño de mezcla 10	0.30	Huso 67	Quisqueya T1	92.48	118.91	132.12
Diseño de mezcla 11	0.35	Huso 67	Quisqueya T1	131.91	166.71	188.44
Diseño de mezcla 12	0.38	Huso 67	Quisqueya T1	84.97	109.25	121.38

Nota: Resistencia a la compresión de los 12 diseños de mezcla.

Elaboración propia.

La tabla 34 muestra los resultados a compresión para los diferentes ensayos de mezcla a una edad de 7, 21 y 28 días, así como sus relaciones de a/c, el tipo de agregado y cemento. Además la figura 50 muestra las curvas de resistencia a la compresión de cada ensayo.

Figura 50. Curvas de resistencia a la compresión de cada diseño.

Elaboración propia.

Pérez, Daniel (2009) en su estudio de concreto permeable con agregados andesíticos logro una resistencia de 215 kg/cm² con una relación a/c de 0.35 utilizada en todos sus diseños de mezclas, la resistencia fue variable dependiendo de la cantidad del % de vacíos y % de finos en sus diferentes dosificaciones.

Amorós, Carlos; Bendejú, José (2016) en su análisis de compresión en un diseño de concreto permeable para pavimentos de fc 210 kg/cm², lograron obtener mejores resultados con relación a/c 0.38 con una resistencia de 213.26 kg/cm² a los 28 días, mientras que usando relación a/c 0.35 alcanzaron tan solo 110.30 kg/cm².

5.2.2 Resistencia a la flexión

En los resultados de la resistencia a flexión se esperaban resultados de entre 10% y 25% de la resistencia a la compresión. A continuación, la tabla 35 con los resultados de las muestras ensayadas.

Tabla 35

Resultados de la prueba a flexión de los ensayos en estado endurecido de los diferentes diseños realizados, a los 7 y 28 días

ENSAYO DE FLEXION							
REFERENCIA: ASTM C78							
Descripción	a/c	Agregado	Cemento	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)			
				7		28	
				ACI-522	ASTM-C78	ACI-522	ASTM-C78
Diseño de mezcla 1	0.30	Huso 7	Sol T1	17.95	17.30	23.29	24.71
Diseño de mezcla 2	0.35	Huso 7	Sol T1	19.93	19.84	26.20	28.34
Diseño de mezcla 3	0.38	Huso 7	Sol T1	18.58	18.96	23.65	27.09
Diseño de mezcla 4	0.30	Huso 7	Quisqueya T1	19.35	20.19	25.38	28.84
Diseño de mezcla 5	0.35	Huso 7	Quisqueya T1	22.29	20.85	28.57	29.78
Diseño de mezcla 6	0.38	Huso 7	Quisqueya T1	20.37	20.38	26.18	29.11
Diseño de mezcla 7	0.30	Huso 67	Sol T1	17.45	14.13	22.20	20.19
Diseño de mezcla 8	0.35	Huso 67	Sol T1	16.47	16.61	21.16	23.73
Diseño de mezcla 9	0.38	Huso 67	Sol T1	16.56	15.11	21.01	21.59
Diseño de mezcla 10	0.30	Huso 67	Quisqueya T1	17.31	16.15	21.96	23.07
Diseño de mezcla 11	0.35	Huso 67	Quisqueya T1	21.93	17.37	27.82	24.81
Diseño de mezcla 12	0.38	Huso 67	Quisqueya T1	16.36	16.24	20.75	23.20

Nota: Resistencia a la flexión de los 12 diseños de mezcla.

Elaboración propia.

La resistencia a la flexión en concretos permeables generalmente oscilan en el rango de 10.5 kg/cm² y 40.0 kg/cm². En el estudio realizado se tiene un promedio de 24.69 kg/cm², por lo que nos encontramos dentro del rango.

Figura 51. Curvas de resistencia a la flexión de cada diseño según ACI 522R-10.

Elaboración propia.

El promedio para la resistencia a flexión según el método ACI 522R-10 fue un promedio de 24.01 kg/cm². Por otro lado la resistencia máxima a flexión se encontró en el diseño de mezcla 5 con 28.57 kg/cm², empleado con una relación a/c de 0.35, mientras el que tuvo menos resistencia fue el diseño 9 con 21.01 kg/cm² con relación a/c 0.38. (Ver figura 51).

Figura 52. Curvas de resistencia a la flexión de cada diseño según ASTM – C78.

Elaboración propia.

El promedio para la resistencia a flexión según el método ASTM C78 fue un promedio de 25.37 kg/cm². Además la resistencia máxima se encontró en el diseño de mezcla 5 con 29.78 kg/cm², este el cual fue empleado con una relación a/c de 0.35. Por otro lado el que presento menor resistencia fue el diseño de mezcla 9 con 21.59, el cual se diseñó con una relación a/c de 0.38. (Ver figura 52)

Pérez, Daniel (2009) en su estudio de concreto permeable con agregados andesíticos, logró una resistencia a flexión máxima de 46 kg/cm² con una relación a/c de 0.35 un porcentaje de vacíos de 15% y porcentajes de finos del 10%.

Rodas, Natalia (2012) en su estudio de desarrollo de bloques de concreto permeable en senderos ecológicos, obtuvo mejores resultados de flexión a los 14 y 28 días, en su diseño de mezcla #2 el cual estaba elaborado con relación a/c 0.48 y un porcentaje de finos del 10% 24.27 kg/cm² a los 14 días y 20.39 kg/cm² a los 28 días.

5.2.3 Permeabilidad

Tabla 36

Resultados del ensayo de permeabilidad para los diferentes diseños de mezclas realizados

PRUEBA DE PERMEABILIDAD					
REFERENCIA: ACI 522R-10					
Descripción	a/c	Agregado	Cemento	% vacíos	K (cm/s)
Diseño de mezcla 1	0.30	Huso 7	Sol T1	15%	1.905
Diseño de mezcla 2	0.35	Huso 7	Sol T1	15%	1.887
Diseño de mezcla 3	0.38	Huso 7	Sol T1	15%	1.206
Diseño de mezcla 4	0.30	Huso 7	Quisqueya T1	15%	1.911
Diseño de mezcla 5	0.35	Huso 7	Quisqueya T1	15%	1.842
Diseño de mezcla 6	0.38	Huso 7	Quisqueya T1	15%	1.324
Diseño de mezcla 7	0.30	Huso 67	Sol T1	15%	2.541
Diseño de mezcla 8	0.35	Huso 67	Sol T1	15%	2.423
Diseño de mezcla 9	0.38	Huso 67	Sol T1	15%	2.245
Diseño de mezcla 10	0.30	Huso 67	Quisqueya T1	15%	2.502
Diseño de mezcla 11	0.35	Huso 67	Quisqueya T1	15%	2.401
Diseño de mezcla 12	0.38	Huso 67	Quisqueya T1	15%	2.189

Nota: Permeabilidad de los 12 diseños de mezcla.

Elaboración propia.

Figura 53. Coeficientes de permeabilidad K (cm/s) de cada diseño de mezcla.

Elaboración propia.

Según el ACI 522R-10, el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable normalmente se encuentra en el rango de 0.001 a 10 cm/s. Los resultados obtenidos en el presente estudio se encuentran dentro del rango anteriormente descrito, por lo cual, se puede afirmar que las muestras de concreto cumplen con los requerimientos de permeabilidad (ver tabla 36). Siendo el diseño de mezcla 1 el que presenta mayor coeficiente de permeabilidad con 1.905 para el agregado de grueso HUSO 7. Por otro lado, el diseño de mezcla 7, con un coeficiente de permeabilidad de 2.541 cm/s con agregado grueso HUSO 67. (Ver figura 53)

Amorós, Carlos; Bendezú, José (2016) obtuvieron una permeabilidad de 1.99 cm/s en el diseño de mezcla con un porcentaje de vacíos de 17%, relación a/c 0.40 y una resistencia de 138.65 kg/cm².

6 ELABORACION DE PROTOTIPO

En este capítulo se presenta el prototipo de la investigación. La descripción del mismo y su procedimiento de construcción. Así como la justificación del porqué realizarla en la ciudad de Lima, entre otros. Al final también se presentará un panel fotográfico de todo el proceso de construcción.

6.1 Justificación y descripción del prototipo

Para la elaboración del prototipo, se hizo un análisis a los diferentes ensayos realizados a los 12 diseños de mezclas tomando en cuenta que cumpla con los requerimientos normativos y los de la zona de aplicación. De esta manera se pudo realizar la elección de materiales y dosificaciones correspondientes del diseño de mezcla que cumpla con estos requisitos para realizar la construcción de la vereda de concreto permeable.

En primer lugar se tuvo en cuenta la resistencia a la compresión, según la norma CE-010 de Pavimentos Urbanos exige como mínimo un $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$. Con respecto a esta propiedad en estado endurecido, no todos los diseños alcanzaron una resistencia de 175 kg/cm^2 a los 28 días, siendo el diseño de mezcla 5 y 11 los que alcanzaron a 196 kg/cm^2 y 188 kg/cm^2 respectivamente.

Por otro lado se tomó en cuenta la permeabilidad, para esto se realizó un análisis de intensidades tomando como zona de aplicación la ciudad de Lima. Tomando en cuenta un evento de duración de 5 minutos y periodo de retorno de 100 años para las estaciones de Sheque, Carampoma, Santa Eulalia y Chosica (ver tabla 37).

Tabla 37

Intensidades de las estaciones de Sheque, Carampoma, Santa Eulalia y Chosica

Estación	Intensidad (mm/hr)		(cm/s)x10 ⁻²
	Sheque	88	0.245
	Carampoma	103	0.286
	Santa Eulalia	591	1.642
	Chosica	1376	3.822

Nota: Datos de lluvia correspondientes a un evento con duración de 5 minutos y un periodo de retorno de 100 años.

Elaboración propia.

La permeabilidad en los diferentes diseños de mezclas realizados fue evaluada con los requerimientos de la zona. Tan solo el valor mínimo de permeabilidad satisface estas eventualidades con un coeficiente de permeabilidad de 1.206 cm/s , el cual está presente en

el diseño de mezcla 3. A continuación se muestra un breve resumen de los valores máximos y mínimos de permeabilidad en nuestra investigación (ver tabla 38).

Tabla 38

Permeabilidad de las muestras de concreto permeable

Permeabilidad de las muestras de concreto permeable (Kcp)	Valor	(cm/s)
	Máximo	2.541
	Mínimo	1.206
	Promedio	2.060

Nota: Permeabilidad del concreto en estudio de los diferentes diseños de mezclas realizados.

Elaboración propia.

6.2 Materiales para la elaboración del prototipo

Los materiales a utilizar serán la piedra chancada, cemento portland tipo 1, agua potable distribuida en Lima y aditivos.

La piedra chancada a utilizar será extraída de la cantera de UNICON (ver figura 54), ubicada en Jicamarca. El huso escogido será el 7, cuyo tamaño máximo es 3/8". Esta piedra también es conocida como Confitillo.

Figura 54. Ingreso a la cantera UNICON – Jicamarca.

Elaboración propia

El cemento portland tipo I será de la marca Quisqueya (ver figura 55). Cabe resaltar que dicha marca provee muchos tipos de cemento, tales como el estructural, para zonas costeras, y adicionales.

Figura 55. Marca de cemento Quisqueya.

Adaptado de “Anuncio de venta de cemento”, por Sodimac.com.pe, 2019.

El aditivo a utilizar fue el Z Fluidizante SR obtenido por la marca Z (ver figura 56). Este es un aditivo súper plastificante que nos brinda un concreto con mayor trabajabilidad, esto es importante ya que hablamos de un concreto con bajas relaciones agua/cemento, es decir un concreto seco.

Figura 56. Almacén de aditivos Z – Chorrillos.

Elaboración propia.

6.3 Dosificación final

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente, el diseño de mezcla 5 es el que mejor se desarrolla en resistencia a compresión, a su vez en flexión y cumple con la permeabilidad deseada. Además cuenta con una trabajabilidad media – alta, lo cual es ideal para su adecuada colocación.

Tal como se muestra en la tabla 39, la relación agua/cemento escogida es de 0.35, un porcentaje de vacíos de 15.00 %, cemento Quisqueya Tipo 1, Piedra huso 7 de la cantera Jicamarca y aditivos Z (Fluidizante SR).

Tabla 39

Datos iniciales y dosificación de materiales para el diseño de mezcla 5

Relación agua-cemento (a/c)		0.35	
Porcentaje de vacíos		15.00%	
Resistencia a la compresión		175.00	kg/cm ²
Cemento QUISQUEYA	Peso específico	3.15	g/cm ³
Piedra HUSO 7	Peso unitario SC	1,624.30	kg/m ³
	Peso específico SSS	2.94	g/cm ³
	Absorción	1.21%	
ADITIVO	Z Fluidizante SR	0.80%	
Materiales		Peso(kg)	Vol. (m ³)
Cemento (c)		299.6433	0.1093
A. grueso (Pg)		1914.3972	0.6981
Agua (a)		113.9661	0.0416
Z Fluidizante SR		2.8286	0.0010
Vacíos			0.1500
TOTAL		2330.8353	1.000

Nota: Dosificación final del diseño N° 05.

Elaboración propia.

6.4 Proceso constructivo

A continuación, el paso a paso del proceso constructivo para el prototipo, y en general cualquier vaciado de concreto permeable del tipo veredas.

- Preparación del terreno

Se debe tener una correcta preparación de la sub-base, para conocer sus propiedades se recomienda realizar pruebas de permeabilidad y de capacidad de carga, y posterior a eso nivelarla quitando todas las irregularidades y brindando la compactación adecuada dependiendo del diseño de la obra (López Palacios, 2010, p. 56). Cuando el suelo bajo la rasante no es de buena calidad, la ACI recomienda usar una sub-base de material granular

por debajo del concreto que brinde la resistencia requerida, de tal forma que permita reducir el espesor de la rasante. Esta sub-base granular debe ser permeable, para que permita el paso del agua (ACI 522R-10, 2010, p. 16). Además, se debe humedecer el suelo para evitar que le quite agua al concreto permeable.

- Colocación

La mezcla deberá ser colocada lo más cerca posible al lugar donde se lo va a usar, de tal forma que no pierda agua por evaporación y se llegue a obtener un concreto defectuoso. Por lo que se recomienda planificar con tiempo el transporte del material al sitio de colocación (ACI 522R-10, 2010, p. 21). Una vez colocado el concreto, se debe arrastrar o palear, cuando está fresco, a su posición final. Se debe procurar no caminar sobre el mismo para evitar incluir materiales dañinos o que no sean parte de la mezcla (López Palacios, 2010, p. 60).

- Vibrado y compactado

En el caso de obras pequeñas, como la vereda que se propone, el vibrado estaría a cargo de la regla vibradora, elemento que se puede encontrar en el mercado. Esta máquina busca consolidar y enrasar la mezcla sin provocar la disminución de los vacíos que debe llegar a tener el concreto. Para obras grandes, se debería usar un rodillo vibratorio de marco, la cual debe apoyarse sobre rieles, para lo cual se puede usar un encofrado metálico que cumpla con ese fin (López Palacios, 2010, p. 61). La compactación se lleva a cabo con rodillos de acero suficientemente pesados para brindar la compactación y resistencia requerida, sin minimizar la permeabilidad que se pueda llegar a obtener. El rodillo promedio para cubrir un ancho de 3,7 m pesa 227 kg, pero esto puede variar dependiendo del ancho de la franja que se desea compactar (ACI 522R-10, 2010, p. 23).

- Acabado y curado

Una vez la mezcla colocada y compactada se procede a realizar el curado y acabado de la vereda. La construcción de juntas se realiza con cortador de juntas cuando el concreto todavía se encuentra fresco, inmediatamente después de haberlo compactado. Las juntas se deben hacer lo más cerca posible y quedan a cargo del diseñador (López Palacios, 2010, p. 64), su implementación es importante debido a la dilatación y expansión del concreto provocados por los cambios de temperatura.

A diferencia del concreto convencional, el concreto permeable no presenta un acabado totalmente liso en su superficie, ya que, al implementar algún tipo de sellado, su función principal de permeabilidad se vería afectada. Debido a la porosidad de la mezcla, la ventilación del concreto y por ende la evaporación del agua que contiene va a ser alta. Una manera recomendable consiste en cubrir la losa con una manta de plástico, lo suficientemente grande para que cubra toda la franja de trabajo, y cumpla la norma ASTM C171. Lo ideal, es no dejar que pase más de 20 minutos desde la colocación del concreto hasta que éste sea cubierto con el plástico, y dejarlo puesto durante al menos 7 días (ACI 522R-10, 2010, p. 25).

- Mantenimiento

Cuando el agua atraviesa la capa de concreto, ésta lleva partículas muy finas de polvo, que al sedimentarse, pueden tapar los poros del concreto. El mantenimiento del concreto permeable consiste principalmente en evitar que los poros se tapen y si eso ocurre, habrá que limpiarlos. Las 2 técnicas usadas para dicho fin, son la del lavado a presión y usar una aspiradora de gran potencia. La primera busca enviar los residuos a través de la mezcla hasta el suelo y la segunda de extraerlos, se debe tener especial cuidado al usar la máquina a presión ya que si la fuerza es excesiva, el concreto podría verse afectado (López Palacios, 2010, p. 70).

6.5 Pruebas al prototipo

Para validar y comprobar ciertas propiedades del prototipo es necesario realizarle ciertas pruebas, tales como permeabilidad y resistencia a la compresión.

6.5.1 Permeabilidad

Luego de haber curado el prototipo durante 7 días, se realizó en primer lugar la prueba de permeabilidad según el ASTM C1701 “Standard test method for infiltration rate of in place Pervious concrete”.

El procedimiento consta de 2 partes, la primera se trata de la pre humectación del concreto. Esto se realizará luego de colocar un anillo, de 300 mm +- 20 mm de diámetro y de 50 mm de altura como mínimo (el material del anillo puede ser de PVC o de metal), en la superficie y asegurarlo con una pasta en toda la circunferencia para evitar el escurrimiento del agua fuera del anillo (ver figura 64). Una vez seca la pasta, se procede a pre humectar la losa vertiendo 3.6 kg de agua dentro del anillo, verificando que la altura del empozamiento no

supere los 20 mm (ver figura 68); se tomará el tiempo desde que el agua entre en contacto con la superficie hasta que el agua se infiltre por completo.

Una vez obtenidos el tiempo de la pre humectación se procede a clasificar el concreto de la siguiente manera; si el registro del tiempo es menor o igual a 30 segundos se utilizará 18 kg de agua y si es mayor a 30 segundos se utilizará 3.6 kg de agua.

Nuestro prototipo registró un tiempo de pre humectación de 3.46 segundos, por lo que las siguientes mediciones se realizaron utilizando 18 kg de agua.

Para el cálculo de la tasa de infiltración del prototipo se utilizo la formula N°3:

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

Formula 3. Ecuación para determinar la tasa de infiltración.

Donde:

I: tasa de infiltración (mm/h)

K: constante 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 que tarda el agua para infiltrarse por completo (s)

A continuación, se presentan los resultados de permeabilidad obtenidos y fotografías del ensayo (ver figuras 57 y 58). Se realizaron 3 ensayos de los cuales se obtuvo el promedio presentado en la tabla 40.

Tabla 40

Resultados de permeabilidad del prototipo

Descripción	Símbolo	Pre humectación	Ensayos (promedio)	Unidades
Masa de agua	M	3.6	18	kg
Diámetro del anillo	D	300	300	mm
Tiempo registrado	t	3.46	16.18	s
K (constante)	K	4583666000	4583666000	-
Tasa de infiltración	I	52990.358	56658.418	mm/h
		1.472	1.574	cm/s

Nota: Resumen de resultados del ensayo de permeabilidad in situ realizado al prototipo.

Elaboración propia.

Figura 57. Ensayo in situ.
Elaboración propia.

Figura 58. Sellado del anillo de PVC.
Elaboración propia.

6.5.2 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es una característica importante en nuestra investigación por lo cual se decidió medir la resistencia a la compresión en el prototipo. Esta medición se realizó mediante una extracción de diamantina, con la cual se extrajo una muestra de 0.10 de diámetro por 0.20 de altura. Dicha muestra tuvo que ser perfilada en sus extremos para que pueda ser colocada en la prensa sin ningún problema. A continuación, se muestran los resultados (ver tabla 41) y fotografías del ensayo (ver figuras 59 y 60).

Tabla 41

Resultados de resistencia a la compresión del prototipo

Descripción	Dato	Unidad
Edad	28	días
Diámetro	100	mm
Área	78.54	cm ²
Máxima presión	32963	lb
Máxima presión	14983.2	kg
Resistencia f'c	190.77	kg/cm ²

Nota: Resumen de resultados del ensayo de Resistencia a la compresión realizado al prototipo.

Elaboración propia.

Figura 59. Extracción diamantina.
Elaboración propia.

Figura 60. Ensayo al testigo.
Elaboración propia.

6.6 Panel fotográfico

A continuación se muestran fotografías del paso a paso en la construcción del prototipo. Primero fue el trazo del paño (ver figura 61), luego la excavación (ver figura 62), después la colocación de la base granular para poder vaciar el concreto sobre esta capa de piedra chancada (ver figuras 63, 64, 65 y 66), finalmente se enraza con una regla de aluminio (ver figura 67) y se tapa con plástico para que cure adecuadamente (ver figuras 68 y 69).

Figura 61. Trazo del paño de 1.00m x1.00m.
Elaboración propia.

Figura 62. Excavación y nivelado del terreno.

Elaboración propia.

Figura 63. Colocación de la base granular y excavación del pozo de absorción.

Elaboración propia.

Figura 64. Materiales pesados y mezcladora tipo trompo.
Elaboración propia.

Figura 65. Mezclado de materiales.
Elaboración propia.

Figura 66. Vaciado del concreto permeable en el área excavada.
Elaboración propia.

Figura 67. Nivelación de la superficie del concreto.
Elaboración propia.

Figura 68. Prototipo cubierto con plástico para su curado.
Elaboración propia.

7 ANALISIS COMPARATIVO

Para tener un mejor entendimiento de las bondades del concreto permeable, en este capítulo se comparará el concreto tradicional y el concreto permeable. Los puntos a comparar son el de proceso constructivo, mantenimiento y precios unitarios.

7.1 Construcción

La elaboración de una vereda está compuesta por una serie de procesos establecidos en las especificaciones técnicas de la construcción de esta, es por eso que partiendo del expediente técnico de la obra: “Proyecto de Habilitación Urbana Camino Real 1 Etapa y 2 Etapa” elaborada en el distrito de la Ica, provincia de Ica y departamento de Ica, Perú, se tomó algunos puntos de las partidas que conforman esta obra.

Para el análisis comparativo en la elaboración de una vereda, ya sea elaborada con concreto tradicional o concreto permeable, se tomó en cuenta las siguientes partidas:

- Movimiento de tierras
 - Corte manual hasta nivel sub-rasante
 - Conformación a nivel sub-rasante
- Concreto simple
 - Encofrado y desencofrado
 - Concreto $f_c=175 \text{ kg/cm}^2$
 - Juntas de dilatación

7.1.1 Concreto tradicional

MOVIMIENTO DE TIERRAS

- Corte manual hasta nivel de sub rasante

Descripción

Consta de realizar el corte y remoción de material en todo el ancho correspondiente a las veredas planteadas, hasta la profundidad señalada. En el caso del concreto tradicional se debe considerar una capa de afirmado de 25 cm de espesor que servirá para mejorar el terreno.

- Conformación a nivel de subrasante para veredas.

Descripción

Se harán los trabajos correspondientes de modo que el área de la subrasante no presente desniveles, desalineamientos o dimensiones erradas, además de un grado de compactación no menor al 90%.

Se le llama subrasante al nivel del terreno que sirve como superficie de soporte de la capa de afirmado, el nivel es inferior y paralelo a la rasante. Cabe resaltar que la compactación se debe realizar con un rodillo vibratorio.

CONCRETO SIMPLE

- Encofrado y desencofrado en veredas.-

Descripción

El encofrado estará constituido por perfiles metálicos o de madera. El encofrado será necesario para darle la forma deseada al concreto de acuerdo a los trazos hechos previamente. Éste debe ser asegurado, de tal modo que no sufra movimientos al momento de colocar el concreto.

- Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ premezclado.-

Descripción

El concreto tradicional será premezclado de $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$, y tendrá un acabado frotachado y bruñado, y lo más homogéneo posible.

El vaciado se efectuará en paños alternados, separados por juntas de dilatación, cada 5.00 m. En los bordes se usará la bruña de canto, también se realizará una bruña paralela al borde distanciada 15 cm. Además de bruñas perpendiculares a las anteriores bruñas, con separaciones de 1 m. entre cada una.

Curado

Las veredas deberán ser curadas mediante agua empozada en las llamadas “arroceras”, o utilizando aditivos curadores. La finalidad es evitar que el concreto pierda humedad.

- Junta de dilatación asfáltica de 1”.-

Descripción

El grosor de las juntas asfálticas será de 1” y con una profundidad de $\frac{3}{4}$ del espesor de la vereda.

Los espacios destinados a la formación de juntas serán llenadas con una preparación de asfalto y arena fina en una relación 1:3.

7.1.2 Concreto permeable

MOVIMIENTO DE TIERRAS

- Corte manual hasta nivel de sub rasante.-

Descripción

Consta de realizar el corte y remoción de material en todo el ancho correspondiente a las veredas planteadas, hasta la profundidad señalada. En el caso del concreto permeable se debe considerar una base granular de piedra chancada $\frac{3}{4}$ ” de 15 cm de espesor que servirá como filtro.

- Conformación a nivel de subrasante para veredas (c/plancha).-

Descripción

Se harán los trabajos correspondientes de modo que el área de la subrasante no presente desniveles, desalineamientos o dimensiones erradas, además de un grado de compactación no menor al 90%.

Se le llama subrasante al nivel del terreno que sirve como superficie de soporte de la capa de afirmado, el nivel es inferior y paralelo a la rasante. Cabe resaltar que la compactación se debe realizar con un rodillo vibratorio.

- Base granular de 0.15 m en vereda.-

Descripción

La presente partida se refiere al suministro, colocación y compactación del material granular que será empleado como base para la construcción de la vereda de concreto. Debe contener

una cantidad de finos que garanticen su trabajabilidad y den estabilidad a la superficie antes de colocar la capa de concreto de la vereda. Se sugiere que ésta base granular sea compactada ligeramente con el fin de evitar grandes vacíos y posteriores fallos del concreto.

CONCRETO PERMEABLE

- Encofrado y desencofrado en veredas.

Descripción

El encofrado estará constituido por perfiles metálicos o de madera. El encofrado será necesario para darle la forma deseada al concreto de acuerdo a los trazos hechos previamente. Éste debe ser asegurado, de tal modo que no sufra movimientos al momento de colocar el concreto. De preferencia se deben usar encofrados metálicos para apoyar sobre estos la regla niveladora vibratoria o rodillo enrasador vibratorio.

- Concreto permeable $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

Descripción

El concreto permeable deberá ser fabricado en obra con las dosificaciones anteriormente mostradas.

El vaciado se efectuará en paños alternados, separados por juntas de dilatación, cada 5.00 m. En los bordes se usará la bruña de canto, también se realizará una bruña paralela al borde distanciada 15 cm. Además de bruñas perpendiculares a las anteriores bruñas, con separaciones de 1 m. entre cada una.

El vaciado del concreto deberá realizarse de modo que requieran el menor manipuleo posible, evitando a la vez la segregación de los agregados.

Nivelación del concreto permeable

En el caso de obras pequeñas, como la vereda que se propone, el vibrado estaría a cargo de la regla vibradora, elemento que se puede encontrar en el mercado. Esta máquina busca consolidar y enrasar la mezcla sin provocar la disminución de los vacíos que debe llegar a tener el concreto.

Curado del concreto permeable

Para el curado se usará una manta plástica que deberá cubrir la totalidad de la superficie del concreto con la finalidad de evitar pérdida de humedad en la vereda. Esta protección se realizara como máximo a los 20 minutos pasado el vaciado de concreto y deberá extenderse por 7 días.

Junta de dilatación

Las juntas serán realizadas mediante corte con disco diamantado a una profundidad igual a $\frac{3}{4}$ veces el espesor de la vereda.

7.2 Mantenimiento

El mantenimiento y cuidado de la vereda es un punto importante a analizar, puesto que a partir de esto dependerá el tiempo de vida útil que tendrá la vereda. Normalmente el mantenimiento de las veredas corresponde a las Municipalidades distritales en donde se encuentren estas, y comprende principalmente en cinco responsabilidades según la norma CE-010 de pavimentos urbanos:

- a) Planeamiento del programa anual, incluyendo la previsión de los recursos y el presupuesto necesarios.
- b) Disponer que los fondos sean asignados adecuadamente en toda la Red Vial y decidir las prioridades.
- c) Programar y autorizar los trabajos.
- d) Responsabilizarse de que las cuadrillas involucradas en el mantenimiento lo hagan de manera adecuada y efectiva.
- e) Monitorear la calidad y efectividad de las actividades de mantenimiento.

Partiendo de estos puntos se realizó el análisis comparativo del cuidado que se le debe dar a una vereda hecha con concreto tradicional o con concreto permeable.

7.2.1 Concreto tradicional

Actividades de mantenimiento

Según el CE010 “Pavimentos urbanos”, existen 4 actividades de mantenimiento que se ordenan en relación a su frecuencia, estos son:

- a) Mantenimiento rutinario, requerido de manera continua en todas las vías, independientemente de sus características o volumen del tráfico. Por ejemplo: barrido, corte de grass.
- b) Mantenimiento recurrente, requerido a intervalos pre establecidos durante el año, con una frecuencia que depende del volumen del tráfico. Por ejemplo: reparación de bordes, sellado de grietas.
- c) Mantenimiento periódico, requerido cada cuantos años. Por ejemplo: sellado de toda la superficie, recapeos, reposición de paños o re-sellado de juntas.
- d) Mantenimiento urgente, necesario para hacer frente a problemas que requieren acción inmediata, cuando se inhabilita un tramo de vereda.

7.2.2 Concreto permeable

A diferencia del concreto tradicional, hay que tener más cuidado con el mantenimiento en este tipo de concreto. Cuando el agua atraviesa la capa de concreto, ésta lleva partículas muy finas de polvo, que al sedimentarse, pueden tapar los poros del concreto. Además de las partículas muy finas de polvo que puedan ir tapando los vacíos causados por la colmatación de suelos, son los residuos que puedan ser expulsados por las propias personas, por lo que se tiene que tener un gran control y concientización por parte de la población. En la tabla 42, se muestra la frecuencia de mantenimiento para pavimentos de concreto permeable según el ACI 522R-10.

El mantenimiento del concreto permeable consiste principalmente en evitar que los poros se tapen y si eso ocurre, habrá que limpiarlos. Las 2 técnicas usadas para dicho fin, son la de lavar a presión y usar una aspiradora de gran poder. La primera busca enviar los contaminantes a través de la mezcla y la segunda de removerlos, se debe tener especial cuidado al usar la máquina a presión ya que si la fuerza es excesiva, el concreto podría verse afectado (López Palacios, 2010, pág. 70).

Tabla 42

Frecuencia de mantenimiento del concreto permeable.

Actividad	Revisión
<ul style="list-style-type: none"> • Asegurarse de que no haya tierra en el pavimento. • Asegurarse que el área esté libre de sedimentos 	Mensualmente
<ul style="list-style-type: none"> • Siembre vegetación en el área aguas arriba • Limpieza con aspiradora 	Cuando sea necesario
<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccione la superficie en búsqueda de deterioros 	anualmente

Nota: Frecuencia de mantenimiento del concreto permeable.

Adaptado de “Report on Pervious Concrete Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete”, por ACI, 2010.

7.3 Precios Unitarios

El presupuesto en un proyecto de construcción es uno de los factores determinantes para su factibilidad y por tanto su elaboración. Es por eso que se realizó un análisis de los precios unitarios comparando los precios por partida netamente de concreto tradicional y concreto permeable.

Colocándonos en un escenario real, se planteó la comparación de precios que puedan darse al proyecto de habilitación urbana “Camino Real I Etapa”, ubicado en Ica con un área de 15,010.62 m² y con un área destinada netamente a veredas de 2090.30 m² de 10cm de espesor.

A continuación presentaremos 2 análisis de precios unitarios, uno considerando el concreto tradicional premezclado de $f'c=175\text{kg/cm}^2$ (ver tabla 43) y otro para el concreto permeable hecho en obra (ver tabla 44).

Tabla 43

Análisis de precios unitarios de Concreto Tradicional Premezclado $f'c=175\text{kg/cm}^2$ en Veredas

Partida	VEREDA DE CONCRETO PREMEZCLADO = 175 Kg/cm ²				
	e= 0.10m, inc. BASE				Precio unitario:
	Rendimiento	MO/EQ. 40.00	m ² /DIA		74.07
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
CAPATAZ	hh	0.1000	0.0200	18.17	0.36
OPERARIO	hh	2.0000	0.4000	15.12	6.05
PEÓN	hh	5.0000	1.0000	11.84	11.84
					18.25
Materiales					
AFIRMADO	m ³		0.2500	39.00	9.75
AGUA PUESTA EN OBRA	m ³		0.0500	5.60	0.28
CONCRETO PREMEZCLADO F'C=175Kg/cm ²	m ³		0.1050	280.00	29.40
MADERA TORNILLO PARA ENCOFRADOS	p2		2.1000	3.8	7.98
					47.41
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	18.25	0.91
RODILLO LISO VIBRATORIO MANUAL	hm	1.0000	0.2000	37.50	7.50
					8.41

Nota: Analisis de precios unitarios para un metro cuadrado de vereda de concreto tradicional.

Elaboración propia.

Tabla 44

Análisis de precios unitarios de Concreto Permeable $f'c=175\text{kg/cm}^2$ en Veredas

Partida	VEREDA DE CONCRETO PERMEABLE = 175 Kg/cm ²				
	e= 0.10m, inc. Filtro				Precio unitario:
	Rendimiento	MO/EQ. 40.00	m ² /DIA		61.14
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
CAPATAZ	hh	0.1000	0.0200	18.17	0.36
OPERARIO	hh	2.0000	0.4000	15.12	6.05
PEÓN	hh	5.0000	1.0000	11.84	11.84
					18.25
Materiales					
RELLENO DE PIEDRA ¾ PARA FILTRO	m ³		0.0150	42.60	0.64
AGUA PUESTA EN OBRA	m ³		0.0044	5.60	0.02
CEMENTO PORTLAND TIPO 1	bls		1.4100	18.50	26.09
PIEDRA CHANCADA 3/8	m ³		0.0698	48.50	3.39
MADERA TORNILLO PARA ENCOFRADOS	p2		2.1000	3.80	7.98
ADITIVO FLUIDIZANTE SR	gln		0.0030	39.00	0.12
					38.23
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	18.25	0.91
MEZCLADORA TIPO TROMPO	hm	1.0000	0.2000	18.75	3.75
					4.66

Nota: Analisis de precios unitarios para un metro cuadrado de vereda de concreto permeable.

Elaboración propia.

Utilizando el concreto tradicional premezclado de $f'c=175\text{kg/cm}^2$ con un P.U. de S/ 74.07 resultaría S/ 154,836.82 y utilizando nuestro concreto permeable resultaría S/ 127,800.94, obteniendo un ahorro de S/ 27,035.88 (ver tabla 45). Siendo el presupuesto total del proyecto 2'452,200.00 Soles, la disminución de precios que se lograría con el uso de concreto permeable se traduciría en un ahorro del 1.10%.

Tabla 45

Comparación de precios de los concretos analizados en precios unitarios

Presupuesto	URBANIZACION CAMINO REAL				
Subpresupuesto	PAVIMENTACION I ETAPA				
Descripción	Und	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.	
VEREDAS					
VEREDA DE CONCRETO CONVENCIONAL f'c=175Kg/cm²	m²	2090.30	74.07	154,836.82	
VEREDA DE CONCRETO PERMEABLE f'c=175Kg/cm²	m²	2090.30	61.14	127,800.94	
	Ahorro del proyecto			27,035.88	
	Ahorro por m²			12.93	

Nota: Cuadro resumen de comparación de precios unitarios aplicados al presupuesto de una obra real.

Elaboración propia.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como parte de toda investigación, las conclusiones y recomendaciones son importantes para futuras investigaciones. En este capítulo se presentaran distintas conclusiones extraídas de cada capítulo realizado en esta tesis, así como recomendaciones

8.1 Conclusiones

Las conclusiones aquí vertidas forman parte de un análisis en cada capítulo de la investigación, varias de ellas fueron fácilmente encontradas debido al arduo trabajo en laboratorio y gabinete.

Objetivo específico N° 01:

- Los agregados de HUSO 7 y 67 no garantizan un Slump de entre 0 y 2 pulgadas, depende más de la relación agua cemento que se utilice.
- Los diseños de mezcla N° 3, 6, 9 y 12; con relación de agua cemento de 0.38 nos dieron un Slump mayor a 3 pulgadas. Mientras que la relación agua cemento de 0.30 nos dio un Slump entre 0 y 1 pulgada.
- Las dosificaciones que nos dieron mayor resistencia en la prueba de compresión fueron las elaboradas con un porcentaje de vacíos del 15%, una relación de a/c de 0.35, con agregado HUSO 7; y cemento Quisqueya tipo 1.
- Los resultados obtenidos mediante los ensayos elaborados en la presente tesis de concreto permeable diseñadas con un porcentaje de vacío del 15% permiten concluir que no todos los diseños cumplen con las propiedades mecánicas requeridas según la norma CE-010 de pavimentos urbanos, pero si cumplen con la permeabilidad necesaria para las intensidades de lluvias máximas planteadas en la zona del prototipo.

Objetivo específico N° 02:

- Las propiedades en estado endurecido de algunas mezclas de concreto permeable resultaron dentro de los valores encontrados en las referencias bibliográficas.
- El peso volumétrico de las mezclas con 15% de vacíos resultó con un promedio de 1907.43 kg/cm³ con un rango de 1838.83 a 1965.47 kg/m³, quedando dentro del rango esperado para pesos volumétricos de concreto permeable (1600 a 2000 kg/m³)

- Las mezclas de concreto permeable en estado fresco resultaron en su mayoría con una consistencia rígida y con poca trabajabilidad. Las realizadas con relación a/c de 0.30 presentaron un revenimiento de 0 a 1”, mientras los de 0.35 y 0.38 con un Slump hasta de 6”.

Objetivo específico N° 03:

- La permeabilidad del prototipo fue evaluada mediante el anillo de PVC y se obtuvo un resultado promedio de 1.574 cm/s. Siendo superior a los valores de precipitación mostradas en la tabla 26.
- Se extrajo una muestra con diamantina del prototipo que fue sometida a la prueba de compresión otorgándonos una resistencia de 190.77 kg/cm² a los 28 días.

Objetivo específico N° 04:

- La aplicación de concreto permeable en veredas resulta más económico que la de un concreto tradicional, teniendo un ahorro de hasta S/.12.65 por m².
- El concreto permeable sufre un deterioro más rápido en comparación con la del concreto tradicional si no se realiza un correcto mantenimiento periódicamente.

8.2 Recomendaciones

Las recomendaciones que se presentan a continuación fueron halladas gracias a la teoría encontrada en todas las partes de la investigación, así como las lecciones aprendidas del amplio proceso experimental. A continuación las más importantes.

Objetivo específico N° 01:

- Si bien es cierto el concreto permeable se caracteriza por estar compuesto de agua, agregado grueso y cemento. Se permite el uso de agregado fino de hasta el 10%, por lo que se recomienda la utilización de finos para obtener mejores propiedades mecánicas que son útiles en pavimentos con alto tránsito.
- Se recomienda profundizar la investigación tomando en cuenta relaciones agua cemento diferentes a las ensayadas.
- Se recomienda ensayar nuevos diseños utilizando cementos adicionados o aditivos solidos, con el fin de obtener mejores propiedades en estado endurecido.

Objetivo específico N° 02:

- El uso de probetas cilíndricas metálicas para los ensayos, puesto que los de PVC no logran ser expulsados con la compresora de aire debido a la alta cantidad de vacíos de este tipo de concreto.
- Se recomienda mantener limpio el agregado grueso, puesto que la presencia de finos en este tipo de concreto altera la cantidad de agua a utilizar.

Objetivo específico N° 03:

- Usar agregados de menor tamaño, con la finalidad de brindarle un mejor acabado a este tipo de pavimento.
- Se debe tener cuidado al momento de realizar la compactación del concreto permeable, puesto a que puede afectar la permeabilidad. Es por eso que debe realizarse con equipos adecuados como la regla vibratoria o rodillo vibratorio. Esto dependerá del tamaño de la vereda a compactar.
- Se recomienda someter un prototipo a otras pruebas, tales como la absorción acústica y la resistencia a la abrasión (durabilidad).

Objetivo específico N° 04:

- La colocación del concreto permeable debe ser realizada cuidadosamente con el fin de no manipular en exceso la mezcla, puesto que se puede alterar la distribución de la pasta generando obstrucciones de vacíos y una baja permeabilidad.
- El curado del concreto permeable debe realizarse lo más rápido posible debido a las bajas cantidades de agua que tiene, y de esta manera no se vean afectadas sus propiedades mecánicas.
- Se recomienda el uso de concreto permeable para su aplicación en veredas en zonas con altas intensidades de lluvias que provocan el exceso de charcos en las aceras diseñadas con concreto convencional.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- American Concrete Institute (ACI). (2002). ACI 211.3R-02. Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete.
- American Concrete Institute (ACI). (2010). ACI 522R-10. Report on Pervious Concrete.
- American Society for Testing Materials (2009). ASTM C 1701/C1701M-17a. Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete.
- American Society for Testing Materials (2009). ASTM C 1701/C1701M-17a. Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete.
- Aire, C., Calderón, Y., Charca, J., Yanqui, C. (2013). Estudio del comportamiento frente a la colmatación de concreto poroso fabricado con áridos naturales y reciclados. *Concreto Sustentable*, (20), 45-58.
- Cabello, S., Zapata, P., Pardo, A., Campuzano, L., Espinoza, J., y Sánchez, C., (2015) Concreto poroso: Constitución, Variables influyentes y Protocolos para su caracterización. *CUMBRES, Revista Científica. 1* (1), 64 – 69.
- Castro, J., De Solminihac, H., Videla, C. y Fernández, B. (2009). Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón. *Revista Ingeniería de Construcción*, (25), 271-284.
- Castañeda, L. F., Moujir, Y. F. (2014). *Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos*. (Tesis de bachiller, Pontificia Universidad Javeriana de Cali, Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia).
- Carranza Freddy Yan (2017). Incidencias de as catástrofes en el Perú, www.indeci.gob.pe.
- Deo, O., Neithalath, N. (2010). Compressive behavior of pervious concretes and a quantification of the influence of random pore structure features. *Materials Science and Engineering*, (528), 402-412
- Fernández, R., Navas, A. (2011). Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. *Infraestructura Vial*, (24), 40-49.
- Garrido, J. (01 de marzo de 2016). Piura y Tumbes: proyectos para drenaje pluvial no avanzan. *El comercio*, pp. 1.

- McFadden Melissa (2015). Traditional versus Pervious Concrete Sidewalks Construction and Maintenance Cost. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 74(2), 11-17.
- Pérez, D. (2009). *Estudio experimental de concretos permeables con agregados andesíticos*. (Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. México D.F., México).
- Quintero, L. A., Herrera, J., Corzo, L., García, J. (2011). Relación entre la resistencia a la compresión y la porosidad del concreto evaluada a partir de parámetros ultrasónicos. *Revista ION*, (24), 69-76.
- Reyes, F., Torres, A. (2002). Efecto de las fibras plásticas en la flexión de estructuras de pavimentos drenantes. *Revista Ingeniería de Construcción*, (17), 93-102.
- Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma Técnica de Edificación CE.010 “Pavimientos Urbanos” 2010.
- Solminihaç, H., Videla C., Fernández, B. y Castro, J. (2007). Desarrollo de mezclas de hormigón poroso para pavimentos urbanos permeables. *Revista Materiales de Construcción*, (287), 23-36.
- Vélez, L. (2010). Permeabilidad y Porosidad en Concreto. *Tecno Lógicas*, (25), 169-187.
- Zegarra, J., Santos, J., De Fátima, M. (2015). Esguerrimiento en pavimentos de bloques de suelo-cemento: un abordaje experimental. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, (16), 35-47.

10 ANEXOS

Anexo 1. Detalle y procedimiento de diseño de mezcla 5.

Primero se detalla la relación agua-cemento, el porcentaje de vacíos y la resistencia a la compresión. Además, el peso específico del cemento, y para la piedra se necesita el peso unitario SC, el peso específico SSS y el % de absorción para realizar las correcciones.

Tabla. Datos iniciales de diseño 5

Datos		UND
Relación agua-cemento (a/c)	0.35	
Porcentaje de vacíos	15.00%	
Resistencia a la compresión	175.00	kg/cm ²
Cemento		
- Peso específico	3.15	g/cm ³
Piedra		
- Peso unitario SC	1,624.30	kg/m ³
- Peso específico SSS	2.94	g/cm ³
- Absorción	1.21%	

Elaboración propia.

De la figura A6.2 se determina el porcentaje de vacíos para un f'c deseado (No. 8)

f'c deseado 175 kg/cm² => 15.00%

De la figura A6.3 se determina el volumen de pasta para 15% de vacíos => 20.00%

Entonces:

Volumen de pasta (Vp)	=	20.00%	=>	0.200
Volumen de vacíos (Vv)	=	15.00%	=>	0.150
		Σ	=	0.350

Por lo tanto:

Peso (Pg) y Volumen (Vg) del agregado grueso

$$\text{Volumen de grava (Vg)} = 1 - 0.350 = \mathbf{0.650 \quad m^3}$$

Ahora hallar el peso del agregado grueso (grava):

$$0.650 = \frac{Pg}{2.94 \times 1000} ; \text{ Donde: } Pg \text{ es el peso del agregado grueso en kg}$$

$$\mathbf{Pg = 1910.9961 \quad kg}$$

Por otro lado:

$$\text{Volumen de pasta (Vp)} = \text{Volumen de cemento (Vc)} + \text{Volumen de agua (Va)}$$

Peso (c) y Volumen (Vc) del cemento

$$0.200 = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) \times c}{1000} ;$$

Donde:

c = peso del cemento en kg

a/c = relación agua cemento

Reemplazando a/c de dato:

$$0.200 = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{0.35 \times c}{1000}$$

$$\mathbf{c = 299.64 \quad kg}$$

Ahora hallar el volumen de cemento (Vc):

$$Vc = \frac{c}{3.15 \times 1000} = \frac{299.64}{3.15 \times 1000}$$

$$\mathbf{Vc = 0.095 \quad m^3}$$

Peso (a) y Volumen (Va) del agua

Para el peso del agua (a), se tiene:

$$a = (a/c) \times c \quad ; \quad \text{Donde: } \begin{array}{l} a = \text{peso del agua en kg} \\ a/c = \text{relación agua - cemento} \\ c = \text{peso del cemento en kg} \end{array}$$

Reemplazando:

$$a = 0.35 \times 299.64$$

$$a = 104.88 \text{ kg}$$

Para el volumen del agua (Va), se tiene:

$$V_a = \frac{a}{1000} \quad ; \quad \text{Donde: } \begin{array}{l} V_a = \text{Volumen del agua en m}^3 \\ a = \text{peso del agua en kg} \end{array}$$

Reemplazando:

$$V_a = \frac{104.88}{1000}$$

$$V_a = 0.105 \text{ m}^3$$

Finalmente;

Los pesos por m³ son:

Cemento (c)	=	299.64 kg
A. grueso (Pg)	=	1910.996 kg
Agua (a)	=	104.88 kg
Σ	=	2315.51 kg

Los volúmenes por m³ son:

Cemento (Vc)	=	0.095 m ³
A. grueso (Vg)	=	0.650 m ³
Agua (Va)	=	0.105 m ³
Σ	=	0.850 m ³

Corrección por humedad de los agregados

Humedad del agregado grueso (Hg)	0.18%
Peso del agregado grueso (Pg)	1911.00 kg
Peso del agregado grueso corregido ($P_{gc} = P_g \times (1 + H_g)$)	1914.40 kg

Corrección por absorción o aporte de agua a la mezcla

Absorción del agregado grueso (Ag)	0.65%
Humedad del agregado grueso (Hg)	0.18%
Resta de humedad y absorción (Hg-Ag)	-0.47%
Cantidad de agua (a)	104.88 kg
Aporte agua del agregado grueso ($A_p = P_{gc} \times (H_g - A_g)$)	-9.09
Cantidad de agua efectiva (a-Ap)	113.97 kg

Cantidades corregidas

Cemento (c)	=	299.64 kg
A. grueso (Pg)	=	1914.40 kg
Agua (a)	=	113.97 kg
Σ	=	2328.01 kg

Para el cálculo de aditivo, es necesario conocer las densidad con el fin de poder determinar el peso en proporción de la cantidad de cemento utilizada en el diseño. La densidad del aditivo se muestran a continuación:

Tabla. Densidades aditivos de muestra.

Aditivo	Densidad	
Z Fluidizante SR	1.18	kg/l

Fuente: Elaboración propia.

Una vez conocida la densidad del aditivo, se procede a determinar la cantidad de aditivo a utilizar, esta es un porcentaje del peso del cemento. En el caso del aditivo Z Fluidizante SR, la dosificación recomendada es de 0.8%.

Entonces tomando estas proporciones se tuvo como resultado las siguiente cantidad de aditivo:

Tabla. Dosificacion a utilizar en diseño de mezcla 5.

Aditivo	Cantidad por m ³			
Z Fluidizante SR	3.058	kg	3.608	lt

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra el resumen de los datos iniciales y la dosificación de materiales a utilizar para el diseño de mezcla 5.

DATOS			UND
Relación agua-cemento (a/c)		0.35	
Porcentaje de vacíos		15.00%	
Resistencia a la compresión		175.00	Kg/cm ²
Cemento SOL	Peso especifico	3.15	g/cm ³
Piedra HUSO 7	Peso unitario SSS	1,624.30	Kg/m ³
	Absorción	1.21%	
Aditivo	Z Fluidizante SR	0.80%	

Materiales	Peso (kg)	Vol (m ³)
Cemento (C)	299.640	0.1285
A. grueso (Pg)	1914.400	0.8215
Agua (a)	113.970	0.0489
Z Fluidizante SR	2.397	0.0010
Vacíos	0.000	0.1500
TOTAL	2330.407	1.000

EL MEJOR AMIGO DEL CONCRETO

Lima: Av. Los faisanes N° 675 Urb. La Campiña - Chorrillos.
Telf: 2523058 Cel: 998 128 514 / 996 330 130

Hoja Técnica – Edición 18 – Versión 0816

Plastificantes/ Super plastificantes, Reductores de Agua

Z Fluidizante SR

Descripción: Aditivo súper plastificante para hormigón y reductor de agua de alto rango, economizador de cemento, cumple con las especificaciones ASTM C 494, Tipo A y F no contiene cloruro, no es tóxico, no es inflamable.

Ventajas:

- Mayor trabajabilidad del concreto.
- No necesita aumentar el contenido del cemento y agua por m³.
- Evita la formación de cangrejeras.
- Mayor facilidad de enviar el hormigón a alturas con bomba de concreto.
- Se acomoda mejor el concreto al fierro corrugado.
- No altera el tiempo de fragua inicial del concreto.
- Reduce el drenaje del agua al ser más hermético.
- Resistente a ácidos, álcalis, sulfatos.
- Aumenta el asentamiento (slump) 6" – 8"

Usos:

- En concreto armado.
- En concretos con alta densidad de acero.
- En concretos pre-mezclados.
- En concretos caravista.

Aplicación

- Como súper plastificante agregar al concreto o mortero ya listo para ser vaciado y remezclar por espacio de 5 minutos hasta que la mezcla quede fluida.
- Como reductor de agua o cemento agregar disuelto en la última parte del agua de amasado durante el mezclado.

E-mail: ventas@corporacion.com.pe / cotizacion@corporacion.com.pe / web site: www.zaditivos.com.pe
ZETITA: Av. San Luis 3051 - San Borja - 7155744 / 998 288 454 | Av. Faucett 1631 - Callao: 715-5770 / 998128493
Piura: Av. Bolognesi 311 Int. 3 Telf.: (073) 321480 / 972001351 - Sullana: (073) 609408 | Chiclayo: Jr. Los Tumbos 505 Telf.: (074) 223 718 / 994 278 778
Cuzco: Av. Tomasa Tito Condemayta 1032 - Wanchaq Telf.: (084) 257 111 / 994 086 746 | Pucallpa: Jr. Coronel Portillo 744 Telf.: (061) 573 591 / 998128495
Arequipa: Calle Paucarpata 323-A - Cercado Telf.: (054) 203 388 / 994044894 | Trujillo: Av. América Sur 820 Urb. Palermo Telf.: (044) 425 548 / 998127657

EL MEJOR AMIGO DEL CONCRETO

Lima: Av. Los faisanes N° 675 Urb. La Campiña - Chorrillos.
Telf.: 2523058 Cel.: 998128 514/ 996 330 130

Hoja Técnica - Edición 18 - Versión 0816

Cuidados

- Utilizar buenos agregados y un diseño adecuado.
- En ciertas condiciones climatológicas varía la dosificación
- En caso de ser necesario usar entrapador de aire de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ de onza de lo normal.
- Para determinar el slump deseado hacer pruebas en el campo.
- Utilizar guantes, lentes, respiradores.
- En caso el producto cayera a la vista o a la piel lavar con abundante agua o consultar al médico.

Densidad

- $1.18 \pm 0.02 \text{ Kg./L}$

Dosificación:

- Como súper plastificante usar de 6 onzas a 12 onzas X BC
- Como reductor de agua y cemento, 18 onzas X BC
- $0.4 \% = 6 \text{ Onzas.}$
- $0.8 \% = 12 \text{ Onzas.}$
- $1.07 \% = 18 \text{ Onzas.}$

Envases

- 1 Galón, 5 Galones, 55 Galones
- Peso x Galón $4.466 \text{ Kg/gal.} = 3.785 \text{ Ltrs.}$

Tiempo de almacenamiento: 1 año.

E-mail: ventas@zcorporacion.com.pe / cotizacion@zcorporacion.com.pe / web site: www.zaditivos.com.pe

ZETITA: Av. San Luis 3051 - San Borja - 7155744/ 998 288 456 | Av. Faucett 1531 - Callao: 715-5770/ 998128493

Piura: Av. Bolognesi 311 Int. 3 Telf.: (073) 321480/ 972001351 - Sullana: (073) 509408 | Chiclayo: Jr. Los Tumbos 505 Telf.: (074) 223 718/ 994 278 778

Cuzco: Av. Tomasa Titto Condemayta 1032 - Wanchaq Telf.: (084) 257 111/ 994 086 746 | Pucallpa: Jr. Coronel Portillo 744 Telf.: (061) 573 591/ 998128495

Arequipa: Calle Paucarpata 323- A - Cercado Telf.: (054) 203 388/ 994044894 | Trujillo: Av. América Sur 820 Urb Palermo Telf.: (044) 425 548/ 998127657

Anexo 3. Documentación agregados Cantera Jicamarca – UNICON

UNION DE CONCRETERAS S.A.
 OFICINA PRINCIPAL
 CARR. PANAMERICANA SUR KM. 11-400 Z.I. FUNDO EL CHILCAL
 SAN JUAN DE MIRAFLORES - LIMA - LIMA
 TELEFONO: 215-4600 FAX: 215-4609
 CENTRAL DE PROGRAMACION Y PEDIDOS
 PLANTA JICAMARCA
 N° S/N C. CAMPOS JICAMARCA - SAN ANTONIO - HUARACHIRI - LIMA
 Telf.: 215-4600 - Anexo: 4785 - 4786 - Fax: 215-4786

UNICON
 Profesionales en concreto®

R.U.C. N° 20297543653
GUIA DE REMISION - REMITENTE
 N° C 7-00 5
 Guía: JS

FECHA INICIO DE TRASLADO: 21/04/2017
 DOMICILIO DE PARTIDA: CARRETERA CENTRAL JICAMARCA
 DOMICILIO DE DESTINO: LURIGANCHI
 UNIVERSIDAD UPC

DESTINATARIO
 NOMBRE Y/O RAZON SOCIAL: UNIVERSIDAD UPC
 R.U.C. N°:
 UNIDAD DE TRANSPORTE / CONDUCTOR: DNI: MIGUEL PORTILLO
 PLACA VEHICULO N°:
 LICENCIA DE CONDUCIR N°:
 CERTIFICADO DE INSCRIPCION N°:
 TRANSPORTISTA
 NOMBRE:
 R.U.C. N°:
 COMPROBANTE DE PAGO: DNI: N°:

MOTIVO DE TRASLADO
☐ 1. VENTA
☐ 2. VENTA SUJETA A CONFIRMACION DEL COMPRADOR
☐ 3. COMPRA
☐ 4. CONSIGNACION
☒ 5. TRASLADO ENTRE ESTABLECIMIENTOS DE UNA MISMA EMPRESA
☐ 6. TRASLADO DE BIENES PARA TRANSFORMACION
☐ 7. RECOJO DE BIENES TRANSFORMADOS
☐ 8. TRASLADO POR EMISOR ITINERANTE DE COMPROBANTES DE PAGO
☐ 9. OTROS: MUESTRA

COSTO MINIMO DEL TRANSPORTE:

CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD MEDIDA	PESO
001	HUSO 67			80.00 KLS
001	HUSO 7			80.00 KLS

UNION DE CONCRETERAS S.A.
 ALMACEN CANTERA JICAMARCA
 21 ABR. 2017
UNICON
 Despacho

SEGURIDAD
 CANTERA JICAMARCA
 21 ABR. 2017
SALIDA

HORA DE SALIDA:
 TOMA DE MUESTRAS:
 PROBETAS A LABORATORIO:
 CODIGO DE ADITIVO:

HORA DE LLEGADA:
 TOTAL DE PROBETAS:
 TIPO ESTRUCTURA:
 VOLUMEN ADITIVO:

RECIBIDO POR:
 FIRMA:
 NOMBRE:
 DNI:
 FECHA:

DESTINATARIO

Anexo 4. Plano detalles del prototipo de vereda de concreto permeable

CEMENTO SOL / PÓRTLAND TIPO I

CARACTERÍSTICAS:

- Cemento Pórtland Tipo I.
- Cumple con la Norma Técnica Peruana (NTP) 334, 009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.
- Producto obtenido de la molienda conjunta de clínker y yeso. Cuenta con la fecha y hora de envasado impresa en la bolsa en beneficio de los consumidores, ya que permite una mayor precisión en la trazabilidad.

VENTAJAS:

- Es usado en concretos de muchas aplicaciones y preferido por el buen desarrollo de resistencias a la comprensión a temprana edad.
- Desarrolla un adecuado tiempo de fraguado, requerido por los maestros constructores en las diferentes aplicaciones requeridas del cemento.
- El acelerado desarrollo de resistencias iniciales permite un menor tiempo en el desencofrado.

USOS Y APLICACIONES:

- Para las construcciones en general y de gran envergadura cuando no se requieren características especiales o no especifique otro tipo de cemento.
- Utilizado ampliamente para fabricar concretos de mediana y alta resistencia a la compresión (superiores a 300 Kg/cm²).
- Preparación de concretos para cimientos, sobrecimientos, zapatas, vigas, columnas y techado.
- Producción de prefabricados de concreto.
- Fabricación de bloques, tubos para acueducto y alcantarillado, terrazos y adoquines.

- Fabricación de morteros para el desarrollo de ladrillos, tarrajes, enchapes de mayólicas y otros materiales.
- Producción de concretos pre-tensado y post-tensado.
- Fabricación de concretos permeables.
- Compatible con todos los aditivos empleados en el concreto, presentes en el mercado nacional.

RECOMENDACIONES:

- Como en todo cemento, se debe respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- Es importante utilizar agregados de buena calidad. Si estos están húmedos es recomendable dosificar menor cantidad de agua para mantener las proporciones correctas.
- Como todo concreto es recomendable siempre realizar el curado con agua a fin de lograr un buen desarrollo de resistencia y acabado final. Para asegurar una conservación del cemento se recomienda almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes o pisos y protegidas del aire húmedo.
- Evitar almacenar en pilas de más de 10 bolsas para evitar la compactación.

PRESENTACIÓN:

Bolsas de 42.5 kg (4 pliegos - 3 de papel + 1 film plástico) y a granel (a despacharse en camiones bombonas y en Big Bags).

Anexo 6. Ficha técnica del Cemento Quisqueya Uso General

USO GENERAL

Denominación Técnica

Cemento Portland CEM II 42,5 R

Norma Técnica: EN 197-1:2011 / CEM II 42,5 R

Características

- Contiene adiciones que favorecen la durabilidad del concreto.
- Excelente desarrollo de resistencias a los 28 días.
- Permite reducir tiempo de ejecución en obra.
- Trabajabilidad y plasticidad favorable.
- Estabilidad y uniformidad en sus características.

Usos y Aplicaciones

- Permite construir todo tipo de obras que no tengan requerimientos especiales de cemento.
- Elaboración de concretos para elementos estructurales donde no se requiera desarrollo de altas resistencias a temprana edad.
- Uso en tarrajes de paredes interiores y exteriores con acabados finos y normales.

- Preparación de morteros para mampostería y relleno, pegados de mayólicas, cerámicos, ladrillos y blocks.
- Elaboración de morteros para pisos y nivelaciones.

Presentación

Granel

Big bags

Sacos de 42.5 Kg.

Precauciones

Use protección adecuada. Ventile el área de uso.

Puede producir irritación o quemaduras en ojos, piel y vías respiratorias.

Primeros Auxilios

Contacto con los ojos, lave con agua por 15 minutos.

Ingestión, tome agua. Irritación de piel, problemas respiratorios o en caso necesario, consulte al médico.