



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PERMEABLE PARA LA
EVACUACIÓN DE AGUA PLUVIALES SEGÚN LA NORMA ACI
522R-10**

**PRESENTADA POR
ALESSANDRO JESÚS BAUTISTA PEREDA**

**ASESOR
ALEXIS SAMOHOD ROMERO**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2018



CC BY-NC-SA

Reconocimiento – No comercial – Compartir igual

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

**FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PERMEABLE PARA LA
EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES SEGÚN LA NORMA
ACI 522R-10**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

BAUTISTA PEREDA, ALESSANDRO JESÚS

ASESOR:

ING. ALEXIS SAMOHOD ROMERO

LIMA – PERÚ

2018

Dedico este trabajo a Dios, por brindarme un camino lleno de retos y satisfacciones; a mis padres, Miriam Pereda y Fidel Bautista, por darme siempre su apoyo y amor que sigue siendo mi motor para seguir adelante, a mi hermana Fernanda, por estar siempre a mi lado y sacarme una sonrisa; a mis amigos por su apoyo y consejos y a mis profesores, los ingenieros Oblitas y Samohod, por todas las enseñanzas, conocimientos y experiencias brindadas.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Descripción de la Situación Problemática	2
1.3 Formulación del Problema	3
1.4 Objetivos	4
1.5 Justificación de la Investigación	5
1.6 Viabilidad de la Investigación	5
1.7 Limitaciones de Estudio	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Antecedentes de la Investigación	7
2.2 Bases Teóricas	11
2.3 Marco Conceptual	22
2.4 Hipótesis	24
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	26
3.1 Tipología de la Investigación	26
3.2 Variables	27
3.3 Población y Muestra	29
3.4 Técnicas de Investigación	30
3.5 Instrumentos de Recolección de Datos	31

3.6 Procesamiento de Datos	32
CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL PROYECTO	33
4.1 Ensayos de Materiales	33
4.2 Metodología de Diseño	71
4.3 Ensayos del Concreto en Estado Fresco	77
4.4 Ensayos del Concreto en Estado Endurecido	88
CAPÍTULO V. RESULTADOS	103
5.1 Análisis del Slump	103
5.2 Análisis de la Resistencia a la Compresión	104
5.3 Análisis de la Resistencia a la Flexión	106
5.4 Análisis de la Relación de Vacíos y Densidad	108
5.5 Análisis de la Permeabilidad	109
5.6 Turnitin	111
5.7 Propuesta de Diseño de Pavimento Rígido	113
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN	114
6.1 Contraste de Hipótesis	114
6.2 Comparación con Otras Investigaciones	119
CONCLUSIONES	121
RECOMENDACIONES	123
FUENTES DE INFORMACIÓN	125
ANEXOS	130

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N° 1: Rangos Típicos de la Proporciones de los Materiales del Concreto Permeable	14
Tabla N° 2: Variable Independiente	28
Tabla N° 3: Variable Dependiente	28
Tabla N° 4: Diseños de la Investigación	29
Tabla N° 5: Total de Probetas Cilíndricas y Vigas Elaboradas	30
Tabla N° 6: Ensayos de Agregados con su respectiva NTP y ASTM	34
Tabla N° 7: Cálculo del Contenido de Humedad del Agregado Grueso	42
Tabla N° 8: Cálculo del Contenido de Humedad del Agregado Fino	42
Tabla N° 9: Tamices para Agregado Grueso y Fino	43
Tabla N° 10: Análisis Granulométrico del Agregado Fino	47
Tabla N° 11: Granulometría del Agregado Grueso	49
Tabla N° 12: Granulometría del Agregado Grueso	51
Tabla N° 13: Densidad del Agregado Grueso	56
Tabla N° 14: Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso	56
Tabla N° 15: Densidad Relativa del Agregado Grueso	56
Tabla N° 16: Densidad del Agregado Fino	63
Tabla N° 17: Porcentaje de Absorción del Agregado Fino	63
Tabla N° 18: Densidad Relativa del Agregado Fino	63
Tabla N° 19: Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso	69
Tabla N° 20: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso	70
Tabla N° 21: Peso Unitario Suelto del Agregado Fino	70
Tabla N° 22: Peso Unitario Compactado del Agregado Fino	70

Tabla N° 23: Características y Propiedades de los Agregados	71
Tabla N° 24: Características y Propiedades del Cemento y Agua	72
Tabla N° 25: Relaciones de b/bo respecto al Porcentaje de Agregado Fino y al N° de Huso de Agregado Grueso	73
Tabla N° 26: Ensayos de Concreto en Estado Fresco con su respectiva NTP y ASTM	77
Tabla N° 27: Ensayos de Concreto en Estado Endurecido con su respectiva NTP y ASTM	88
Tabla N° 28: Análisis de Slump del Concreto Permeable	103
Tabla N° 29: Especímenes ensayados con su respectiva resistencia a la compresión	104
Tabla N° 30: Resumen de la Resistencia a la compresión en relación a la edad de ensayo	105
Tabla N° 31: Especímenes ensayados con su respectiva resistencia a la flexión	107
Tabla N° 32: Resumen de la Resistencia a la compresión en relación a la edad de ensayo	107
Tabla N° 33: Densidad y Relación de Vacíos de los especímenes	109
Tabla N° 34: Permeabilidad de los especímenes	110
Tabla N° 35: Permeabilidad Promedio de los especímenes	110
Tabla N° 36: Fechas y Porcentajes de Revisión del Turnitin	111
Tabla N° 37: Contraste de Variables con la Hipótesis General	114
Tabla N° 38: Resultados de Resistencia a la Compresión	115
Tabla N° 39: Resultados de Resistencia a la Flexión	116
Tabla N° 40: Resultados de Porcentaje de Vacíos	117
Tabla N° 41: Resultados de Permeabilidad	118
Tabla N° 42: Resultados de investigaciones pasadas de concreto permeable	119

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N° 1: Permeámetro de Carga Variable	19
Figura N° 2: Agregado Fino	33
Figura N° 3: Agregado Grueso	34
Figura N° 4: Agregado Grueso preparado para el Ensayo	36
Figura N° 5: Expansión del Agregado Grueso con la Bandeja	36
Figura N° 6: Cuarteo del Agregado Grueso	36
Figura N° 7: Agregado Grueso de los Extremos Opuestos	37
Figura N° 8: Agregado Fino preparado para el Ensayo	37
Figura N° 9: Expansión del Agregado Fino con la Bandeja	37
Figura N° 10: Cuarteo del Agregado Fino	38
Figura N° 11: Agregado Fino de los Extremos Opuestos	38
Figura N° 12: Lavado del Agregado Grueso	39
Figura N° 13: Peso del Agregado Grueso (3021 gramos)	40
Figura N° 14: Peso del Agregado Fino (50 gramos)	40
Figura N° 15: Agregados secados en el horno de 110°C	41
Figura N° 16: Tamices para Agregado Grueso	44
Figura N° 17: Tamices para Agregado Fino	44
Figura N° 18: Peso del para Agregado Grueso (3 kg)	45
Figura N° 19: Tamizado de Agregado Grueso Manual	46
Figura N° 20: Diferentes tamaños de Agregado Grueso	46
Figura N° 21: Peso de Agregado Fino (500 gr.)	48
Figura N° 22: Diferentes tamaños de Agregado Fino	48
Figura N° 23: Peso del Agregado Grueso Seco	54

Figura N° 24: Agregado Grueso Sumergido por 24 horas	54
Figura N° 25: Agregado Grueso Saturado Superficialmente Seco al Aire	54
Figura N° 26: Balanza apoyada en los soportes para calcular el Peso del Agregado Grueso Saturado Superficialmente Seco Sumergido	55
Figura N° 27: Molde Metálico en Forma de Cono y Pisón de Metal	57
Figura N° 28: Picnómetro o Viola	58
Figura N° 29: Hornillo	58
Figura N° 30: Agregado Fino saturado durante 24 horas	60
Figura N° 31: Agregado Fino en el hornillo	61
Figura N° 32: Procedimiento de compactación de 25 golpes con el pisón	61
Figura N° 33: Arena Compactada con el Pisón	61
Figura N° 34: Derrumbe de la Arena	62
Figura N° 35: Recipiente para Peso Unitario de Agregado Grueso	64
Figura N° 36: Recipiente para Peso Unitario de Agregado Fino	65
Figura N° 37: Compactación de la primera capa de Agregado Grueso	66
Figura N° 38: Peso de la muestra compactada del Agregado Grueso	66
Figura N° 39: Compactación de la segunda capa de Agregado Fino	67
Figura N° 40: Peso de la muestra compactada del Agregado Fino	67
Figura N° 41: Peso de la muestra suelta del Agregado Grueso	68
Figura N° 42: Peso de la muestra compactada del Agregado Fino	68
Figura N° 43: Relación entre Porcentaje de Vacíos y Porcentaje de Volumen de Pasta de Cemento	74
Figura N° 44: Dimensiones del Cono de Abrams	78
Figura N° 45: Cono de Abrams	79
Figura N° 46: Llenado de Cono de Abrams con Concreto	80
Figura N° 47: Llenado Completo de Cono de Abrams con Concreto	80
Figura N° 48: Cono de Abrams firme durante el llenado	80
Figura N° 49: Slump 0 del Diseño 1 (Sin Finos)	81
Figura N° 50: Slump 1 del Diseño 2 (Con Finos)	81
Figura N° 51: Slump 1 del Diseño 3 (Con Finos)	81
Figura N° 52: Dimensiones de la Probeta Cilíndrica	82
Figura N° 53: Molde Cilíndrico	83
Figura N° 54: Dimensiones de la Viga	83

Figura N° 55: Molde Prismático de Madera	84
Figura N° 56: Moldes Cilíndricos engrasados con petróleo	85
Figura N° 57: Moldes llenados con Concreto Permeable	86
Figura N° 58: Primeros especímenes en la piscina de curado	87
Figura N° 59: Visualización de la Cal en la Piscina de Curado	87
Figura N° 60: Especímenes en la piscina de curado	88
Figura N° 61: Prensa Hidráulica Digital	89
Figura N° 62: Platos de Retención	90
Figura N° 63: Vernier	90
Figura N° 64: Probeta en la Prensa Hidráulica	91
Figura N° 65: Rotura de la Probeta	92
Figura N° 66: Prensa Hidráulica Digital para Flexión	93
Figura N° 67: Viga en Prensa Hidráulica Digital para Flexión	94
Figura N° 68: Rotura de Viga	95
Figura N° 69: Balde utilizado como Baño de Agua, Balanza y Canastilla	96
Figura N° 70: Lectura del Peso Sumergido de una Probeta	98
Figura N° 71: Probeta Sumergida	98
Figura N° 72: Lectura del Peso Seco de una Probeta	99
Figura N° 73: Permeámetro de Carga Variable	100
Figura N° 74: Probeta en Permeámetro de Carga Variable	101
Figura N° 75: Propuesta de Pavimento Rígido Permeable	113

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico N° 1: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los diseños	105
Gráfico N° 2: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los días de curado	106
Gráfico N° 3: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los diseños	108
Gráfico N° 4: Permeabilidad promedio con respecto al diseño de especímenes	110
Gráfico N° 5: Gráfica de Control de los Porcentajes de Turnitin respecto a su fecha	112
Gráfico N° 6: Resultados de Resistencia a la Compresión	115
Gráfico N° 7: Resultados de Resistencia a la Flexión	116
Gráfico N° 8: Resultados de Porcentaje de Vacíos	117
Gráfico N° 9: Resultados de Permeabilidad	118

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo N° 1: Matriz de Consistencia	131
Anexo N° 2: Ficha Técnica del Contenido de Humedad del A. Grueso	132
Anexo N° 3: Ficha Técnica del Contenido de Humedad del A. Fino	133
Anexo N° 4: Ficha Técnica del Análisis Granulométrico del A. Grueso	134
Anexo N° 5: Ficha Técnica del Análisis Granulométrico del A. Fino	135
Anexo N° 6: Ficha Técnica de la Densidad, Densidad Relativa y Absorción del A. Grueso	136
Anexo N° 7: Ficha Técnica de la Densidad, Densidad Relativa y Absorción del A. Fino	137
Anexo N° 8: Ficha Técnica del Peso Unitario del A. Grueso	138
Anexo N° 9: Ficha Técnica del Peso Unitario del A. Fino	139
Anexo N° 10: Clasificación Requerida del Agregado Grueso	140

RESUMEN

La presente investigación se basa en el diseño de un pavimento rígido permeable, según la norma estadounidense del *American Concrete Institute (ACI) 522R-10*, con la finalidad que evacúe aguas pluviales por medio de su estructura.

Para la presente investigación se elaboraron cinco diseños de concreto con diferentes porcentajes de vacíos (10%, 15% y 20%) y porcentajes de agregado fino (0%, 10% y 20%), a fin de obtener el diseño más adecuado para implementarlo en un pavimento rígido. Se moldearon un total de 30 probetas cilíndricas y 24 vigas, para someterlas a los ensayos de concreto endurecido, tales como resistencia a la compresión y resistencia a la flexión, y a diferentes días de curado (7, 14 y 28 días). Realizados dichos ensayos y obtenidos sus resultados, se concluyó que la muestra representativa fue el Diseño 5, que cumplió los parámetros que señala la Norma CE. 010 – Pavimentos Urbanos, como son la resistencia a la compresión de 175 kg/cm² y el módulo de rotura de 37 kg/cm²; así como el coeficiente de permeabilidad que estipula la norma ACI 522R-10, cuyo rango es de 0.2 y 0.54 cm/s. Dicho diseño se puede aplicar para pavimentos rígidos.

Palabras Clave: Pavimento, rígido, vacíos, permeabilidad.

ABSTRACT

The present investigation is based on the design of a permeable rigid pavement, according to the standard of the American Concrete Institute (ACI) 522R-10, with the purpose of evacuating rainwater through its structure.

For the present investigation five concrete designs with different percentages of voids (10%, 15% and 20%) and percentages of fine aggregate (0%, 10% and 20%) were elaborated, in order to obtain the most suitable design for implement it on a rigid pavement. A total of 30 cylindrical test tubes and 24 beams were molded to be subjected to the tests of hardened concrete, such as resistance to compression and resistance to bending, and to different days of curing (7, 14 and 28 days). After carrying out these tests and obtaining their results, it was concluded that the representative sample was Design 5, which fulfilled the parameters indicated by the CE. 010 – Pavimentos Urbanos, such as the compressive strength of 175 kg/cm² and the breaking modulus of 37 kg/cm²; as well as the coefficient of permeability stipulated by the ACI 522R-10 standard, whose range is 0.2 and 0.54 cm/s. This design can be applied to rigid pavements.

Key Words: Pavement, rigid, voids, permeability.

INTRODUCCIÓN

El Perú, un país que posee una gran diversidad climática, nos brinda una serie de hechos naturales tanto positivos como negativos, los hechos positivos ocasionados por la diversidad climática son aprovechados en muchos aspectos de la vida cotidiana; los hechos negativos o también llamados desastres naturales no son beneficiosos para la población porque producen devastaciones para gran parte del país.

El Fenómeno del Niño es uno de los principales fenómenos climáticos en Sudamérica, trae desastres naturales como: deslizamientos, avalanchas, huaicos, entre otros, que son ocasionados por el exceso de aguas pluviales, también llamadas lluvias, que al aumentar producen un descontrol en los caudales de los ríos, ocasionando desbordes y continuamente caos.

En la actualidad se desarrollan muchos proyectos como: muros de contención, diques, etc., que tienen como finalidad controlar los desbordes de los ríos que son ocasionados por las aguas pluviales, pero se cuenta con escasez de proyectos que ayuden a perdurar el tiempo de vida del pavimento. Por tal motivo, el desarrollo de procesos constructivos que nos ayuden a tener un pavimento mucho más resistente al agua es necesario aunque no suficiente, debido a que el agua no ataca externamente, sino interna o estructuralmente, dañando cada material o componente utilizado en el pavimento.

El objeto de la investigación es diseñar un pavimento permeable según la Norma ACI 522R-10 que permita evacuar el agua pluvial que se encuentra en la parte superficial del pavimento rígido.

Es por ello, que esta investigación se ha estructurado en seis capítulos. El primero se refiere al planteamiento del problema, sus antecedentes y los objetivos que se desarrollarán en la investigación. El segundo capítulo describe los antecedentes de la investigación y la hipótesis, así como todos los aspectos teóricos que sirven para tener un claro concepto de todo lo que se desarrollará en la investigación. El tercer capítulo abarca los aspectos metodológicos, tales como tipo, nivel y diseño de la investigación; también incluye las variables y sus respectivos indicadores, la población y sus muestras. El cuarto capítulo se refiere al desarrollo de la investigación mediante los ensayos de laboratorio. El quinto capítulo nos muestra los resultados obtenidos del capítulo anterior. El sexto capítulo se refiere al análisis de los resultados obtenidos y la verificación del cumplimiento de la hipótesis, que conlleva.

Por último, podemos encontrar las conclusiones, recomendaciones, las referencias bibliográficas que dan soporte a la investigación y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El término “concreto permeable” es usado para definir un concreto sin agregado fino o concreto con vacíos de aire graduado (American Concrete Institute 522R-10, 2010) y es uno de los concretos más utilizados en la actualidad en países como Reino Unido, Estados Unidos, Europa, México, El Salvador, entre otros; cuya utilidad es variada, que va desde la construcción de viviendas hasta obras viales.

En 1852 en el Reino Unido, el concreto permeable se aplicó por primera vez en la construcción de dos casas, dicho concreto estaba compuesto solamente de grava gruesa y cemento. También fue empleado en la construcción de edificios a partir de mediados del siglo XIX en países europeos, la cual tuvo diferentes aplicaciones tales como: muros de carga, paneles prefabricados, edificios de gran altura, entre otros (ACI 522R-10, 2010).

Durante 70 años, el concreto permeable no fue aplicado o usado en construcciones después de los antecedentes antes mencionados. En 1923, fue reintroducido en el Reino Unido, originario de Países Bajos, donde se construyeron cerca de cincuenta casas de dos pisos usando concreto permeable en Edimburgo, Escocia; y para el año 1942, cerca de 900 casas

fueron construidas usando dicho concreto. En todas se utilizaron agregados de Clinker (ACI 522R-10, 2010).

Entre 1945 y 1950, el concreto permeable fue utilizado para realizar los primeros experimentos como alternativa de capa de rodadura para la construcción, pero hubo complicaciones en su aplicación debido a los principios de homogeneidad y rigidez que poseen los concretos convencionales. Sin embargo, en los años setentas se utilizó nuevamente el concreto permeable para este tipo de pavimentos, debido a que proporciona una mejor seguridad al conductor y fluidez al tránsito en diferentes situaciones meteorológicas.

En 1974, los primeros usos del concreto permeable en capa de rodadura de los que se tienen antecedentes fueron en Japón, donde el 80% de su superficie es ondulada y montañosa y cuya precipitación media anual es de 1500 mm. Dichas características han obligado a los japoneses a adoptar medidas de reducción de la escorrentía de las zonas urbanas (Cruz-Palafoz, y otros, 2014).

En 2002, el American Concrete Institute (ACI) publicó un reporte llamado ACI 522R-02 (siendo el más reciente el ACI 522R-10, publicado en 2010), que explica sobre las aplicaciones, las propiedades, los ensayos, el diseño, los métodos de inspección y construcción del concreto permeable. “En el 2009, el subcomité ASTM C09.49 publica los procedimientos de los ensayos de compresión, flexión, peso unitario, contenido de vacíos e infiltración del concreto poroso” (Guizado y Curi, 2017: p. 2).

1.2. Descripción de la situación problemática

Durante la ocurrencia del Fenómeno de El Niño de 1997-1998, las ciudades del noroeste como Tumbes, Piura y Chiclayo, quedaron inundadas debido al mal diseño de sistemas de drenaje pluvial o a la inexistencia de estos. Además, los pocos drenajes existentes no funcionaron correctamente debido a la falta de mantenimiento.

En el Perú, la tecnología del concreto permeable no es implementado para resolución de problemas que tienen que ver con la evacuación de aguas pluviales; no como en otros países como Colombia, Chile y México, donde realizan estudios para su inclusión en infraestructura vial (Flores y Pacompia, 2015).

El diseño e instalación del pavimento rígido permeable sigue siendo una incógnita en la ingeniería peruana, ya que no hay una norma donde se especifique los procesos de diseño, construcción y mantenimiento del concreto permeable que pueda ser utilizado en todo el país. Por esto se busca diseñar un pavimento rígido permeable basándose en la norma norteamericana ACI 522R-10 y aplicarlo en el territorio peruano, cumpliendo con las normas peruanas correspondientes tales como las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y la RNE, Norma C.E. 010 – Pavimentos Urbanos.

1.3. Formulación del Problema

La formulación del problema está comprendida por el problema general y los problemas específicos que lo complementan, los cuales son:

1.3.1. Problema General

¿Cómo diseñar un pavimento rígido permeable que evacúe aguas pluviales según la Norma ACI 522R-10?

1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo determinar la **resistencia a la compresión** de un Pavimento Rígido Permeable según la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.034?

- ¿Cómo determinar la **resistencia a la flexión** de un Pavimento Rígido Permeable según la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.078?

- ¿Cómo determinar el **contenido de vacíos** de un Pavimento Rígido Permeable según el American Society for Testing Materials (ASTM) C1754?

- ¿Cómo determinar la **capacidad de infiltración de agua** de un Pavimento Rígido Permeable según la Norma ACI 522R-10?

1.4. Objetivos

Los objetivos están comprendidos por el objetivo general y los objetivos específicos, los cuales son:

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un Pavimento Rígido Permeable para la evacuación de aguas pluviales según la Norma ACI 522R-10.

1.4.2. Objetivo Específicos

- Determinar la **resistencia a la compresión** de un Pavimento Rígido Permeable según la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.034.

- Determinar la **resistencia a la flexión** de un Pavimento Rígido Permeable según la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.078.

- Determinar el **contenido de vacíos** de un Pavimento Rígido Permeable según el American Society for Testing Materials (ASTM) C1754.

- Determinar la **capacidad de infiltración de agua** de un Pavimento Rígido Permeable según la Norma ACI 522R-10.

1.5. Justificación de la Investigación

Los aspectos puntuales que comprende la investigación están referidos a la implementación de un tipo de pavimento poco conocido en el Perú y permitir un mayor conocimiento sobre su desempeño. Cuando este tipo de pavimento se utiliza en la construcción de vías locales, ayuda en la seguridad vial abarcando el tema de prevención de accidentes y en la salud de la población cercana a la vía, evitando enfermedades ocasionadas por las aguas estancadas ubicadas sobre la superficie y así mejorar la calidad de vida de dicha población.

Esta investigación busca determinar si la capa de rodadura del pavimento de concreto permeable puede ser capaz de cumplir los requisitos de resistencia para ser considerado como vía local y pavimento especial de acuerdo a la RNE, Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos.

1.6. Viabilidad de la Investigación

1.6.1. Viabilidad Técnica

Se contó con la disponibilidad del Laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres, donde se pudo realizar los ensayos de laboratorio mencionados que se requieren para realizar la investigación y así lograr el objetivo principal de la misma.

1.6.2. Viabilidad Operativa

Se contó con la capacidad de realización de los ensayos de laboratorio, así como también de la obtención de los materiales y equipos para la realización de estos.

El diseño representativo infiltra el agua a través de su estructura debido a sus vacíos y puede ser implementado como pavimento especial.

1.6.3. Viabilidad Económica

El tesista tuvo la disponibilidad económica para la realización de la tesis, así como el tiempo para elaborar los ensayos de laboratorio.

Con respecto al proyecto, el pavimento rígido permeable es más económico que el convencional y puede abaratar costos debido a la poca presencia de agregado fino. También se toma en cuenta que el pavimento rígido es más durable que el pavimento flexible.

1.6.4. Viabilidad Social

Al implementar el diseño representativo en una zona con precipitaciones constantes, se evita el estancamiento de agua en las pistas, lo que generaría posibles accidentes automovilísticos y propagación de enfermedades.

1.7. Limitaciones del Estudio

La investigación no presenta limitaciones, debido a eso, se puede implementar en el territorio nacional, sobretodo en zonas que presenten precipitaciones constantemente.

Las autoridades poseen la capacidad económica y técnica para la implementación y construcción de dicho pavimento, y así evitar cualquier tipo de problemas, ya sean inundaciones, enfermedades o accidentes de tránsito.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Investigación

En esta sección revisaremos la literatura científica, referida a investigaciones o tesis que se han realizado acerca del tema, con la finalidad de darle solidez científica al proyecto de investigación.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

a) Cruz, Segovia, González, Lizárraga, Olguín y Rangel (2014).
Tesis: “*Diseño de un Concreto Permeable para la Recuperación de Agua*”.

Esta investigación señala que una de las principales virtudes que tiene el concreto permeable al implementarlo en pavimentos es manejar adecuadamente las aguas pluviales mediante la infiltración, favoreciendo el restablecimiento de acuíferos y la prevención de inundaciones.

En dicha tesis se elaboró un diseño de concreto permeable para implementarlo en estaciones de lavado de automóviles, la cual permitiese recuperar el agua y posteriormente tratarla para su reutilización. Se diseñaron diferentes diseños utilizando una variedad de aditivos tales como cemento, ceniza volante y arena de sílice.

Los resultados que se obtuvieron fueron que el diseño de concreto permeable sin agregado fino y con aditivo humo de sílice al 15%, desarrolló las propiedades mecánicas de resistencia necesaria para su aplicación a los 21 días de edad.

b) Barahona, Martinez y Zelaya (2013). Tesis: “Comportamiento del Concreto Permeable Utilizando Agregado Grueso de Las Canteras, El Carmen, Aramuaca Y La Pedrera, de la Zona Oriental de El Salvador”.

Esta investigación manifiesta que una de las alternativas más factibles e innovadoras en el entorno de la Ingeniería Civil para el restablecimiento y preservación de los suelos y acuíferos es el concreto permeable.

También asegura que el diseño del concreto permeable posee pocas cantidades o ninguna de arena, lo que genera un contenido de vacíos considerable que permite al diseño tener ciertas ventajas como son la permeabilidad y la resistencia.

El objetivo principal de la tesis fue verificar e identificar el comportamiento y la variación de las propiedades del concreto permeable usando diferentes tipos de agregado grueso, originarios de las canteras Aramuaca, La Pedrera, El Carmen y de esta manera elegir el concreto permeable más adecuado y eficiente según la proveniencia del agregado (Barahona, Martinez y Zelaya, 2013).

c) Young (2008). Tesis: “Evaluation and Optimization of Pervious Concrete with respect to Permeability and Clogging”.

La presente investigación asegura que el concreto permeable tiene deficiencias a la hora de implementarlo en pavimento. Estas limitaciones incluyen baja resistencia a la compresión, baja resistencia a la flexión,

atascamiento y problemas de durabilidad. De esta manera tuvo como objetivo principal proporcionar herramientas para el mejoramiento de la resistencia y la durabilidad del concreto permeable empleados en vías urbanas.

Los resultados de la investigación fueron que al reducir la permeabilidad del concreto permeable con el fin de aumentar la resistencia, el riesgo de obstrucción de vacíos incrementa.

En consecuencia, la obstrucción reduce la permeabilidad de materiales con una relación de vacíos inferior al 33%. Otra conclusión fue que las partículas de agregado de un concreto convencional son más pequeñas que las de un concreto permeable.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

a) Azañedo, Chávez y Muñoz (2010). Tesis: “*Diseño de Mezcla de Concreto Poroso con Agregados de la Cantera La Victoria, Cemento Portland Tipo I con Adición de Tiras de Plástico, y su Aplicación en Pavimentos Rígidos, en la ciudad de Cajamarca*”.

Esta investigación asegura la implementación del concreto permeable en el diseño de un pavimento rígido es la mejor forma de evitar que el agua se acumule en la superficie y que permita llevar el agua acumulada a un respetivo sistema de alcantarillado.

En la presente tesis se elaboraron mezclas empleando dos tipos de cemento portland: Tipo I y Tipo ICo, agregados de la cantera La Victoria, tiras de plástico, polipropileno y aditivo reductor de agua, en distintas combinaciones y cantidades. Posteriormente se elaboraron especímenes de prueba, tales como cilindros y vigas para cada diseño y con el fin de lograr resultados al exponerlos a ensayos mecánicos tales como el ensayo de compresión y flexión. (Azañedo, Chávez y Muñoz, 2010).

Dichos resultados fueron analizados estadísticamente y ayudaron a la determinación del diseño con el mejor comportamiento, que cumpla con los requisitos mecánicos (resistencia a la compresión y flexión) para ser empleados en pavimentos.

Finalmente, se diseñó el pavimento rígido de concreto permeable empleando los parámetros necesarios del terreno y los datos estadísticos de tráfico que soportará la estructura de pavimento.

b) Guizado y Curí (2017). Tesis: “Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú”.

La presente investigación afirma que al implementar el concreto permeable en vías locales y pavimentos especiales, ayuda en el control de aguas pluviales procedentes de las anomalías climáticas que ocasionaron El Niño - Oscilación Sur, ocurrido en la costa noroeste del Perú.

En el diseño del pavimento se combinaron aspectos tanto hidráulicos como estructurales con el fin de que su estructura sea idónea para la infiltración de ciertos volúmenes de agua y dar una resistencia estructural adecuada para el tipo de vía a evaluar.

En dicha tesis se obtuvieron resultados de resistencia a la compresión y flexión, para luego analizarlos y compararlos con los requerimientos para la capa de rodadura en vías locales y pavimentos especiales de acuerdo a la Norma CE. 010 - Pavimentos Urbanos y a las normas ACI. También obtuvieron las máximas precipitaciones registradas durante El Niño – Oscilación Sur, ocurrido durante los años 1997-1998 en la costa noroeste del Perú y así establecer requisitos de permeabilidad (Guizado y Curi, 2017).

Los resultados de la investigación fueron que cuatro de sus mezclas cumplen con la resistencia a la compresión y dos de sus mezclas cumplen con la resistencia a tracción por flexión según la norma CE. 010 - Pavimentos Urbanos. ($f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ y $MR = 34 \text{ Kg/cm}^2$). El diseño fue 15% de contenido de vacíos, agregado N°8 anguloso y con 0.1 arena/agregado. También recomiendan diseñar con porcentaje de vacíos menores a 21.5 %.

c) Chaiña y Villanueva (2017). Tesis: “Diseño de Concreto Permeable, para Pavimentos Rígidos, utilizando Piedra Huso 67 y Arena Gruesa de la Cantera La Poderosa, para la Ciudad de Arequipa”.

En dicha investigación se experimentó con diversos diseños de mezcla de concreto permeable, para luego analizar los resultados e implementarlos en pavimentos rígidos. Para el diseño se utilizó agregado de la cantera la Poderosa, cemento portland tipo IP, agua potable, aditivos de las marcas SIKA Viscocrete 1110 y EUCO Neoplast 8500 HP, en distintas combinaciones y dosificaciones (Chaiña y Villanueva, 2017).

Es esta tesis se realizaron ensayos de resistencia a compresión, resistencia a la flexión, tensión indirecta, desgaste y permeabilidad, para así establecer el diseño de mezcla con el mejor comportamiento ante estos esfuerzos para finalmente realizar el diseño de la losa demostrativa.

Los resultados de la investigación fueron que los diseños sin finos y con 10 – 15% de porcentaje de vacíos tuvieron baja resistencia a la compresión. El diseño con el porcentaje mínimo de vacíos (10%) y con agregado fino, tuvo una buena durabilidad y resistencia ($f'c = 290 \text{ Kg/ cm}^2$).

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Concreto Permeable

a) Definición

Según el ACI 522R-10 (2010):

[E]l concreto permeable es un material que se caracteriza por tener Slump Cero y está compuesto por la mezcla de cemento

portland, agregado grueso, poca o ninguna cantidad de agregado fino, aditivos y agua. Dicha mezcla de ingredientes producirá un material resistente con poros interconectados, cuyo rango de tamaño es entre 2 a 8 milímetros (0.08 a 0.32 pulgadas), lo cual ayuda al agua pasar fácilmente a través del concreto. El contenido de vacíos de un concreto permeable debe estar entre el rango de 15 a 35% y la resistencia a la compresión debe oscilar entre 2.8 a 28 MPa (400 a 4000 psi). La capacidad de infiltración de un concreto permeable varía debido al tamaño de agregado y a la densidad del mismo, pero generalmente está en el intervalo de 81 a 730 L/min/m² (2 a 18 gal/min/pies²) (ACI 522R-10, 2010: p. 2).

b) Componentes del Concreto Permeable

b.1) Materiales Cementantes

El cemento portland es usado principalmente como aglutinante en el concreto permeable, pero también se podría adicionar otros materiales, tales como ceniza volante, escoria granulada o humo de sílice.

A mayor adición de materiales cementantes, como el cemento portland, generará que el concreto sea más resistente, pero se corre el riesgo de la disminución del porcentaje de vacíos del diseño y como consecuencia, se pierde la capacidad de infiltración de agua, por eso esl ACI 522R-10 asegura que: “es recomendable diseñar con cantidades que oscilen entre 270 y 415 kg/m³” (ACI 522R-10, 2010: p. 15).

b.2) Agregados

El agregado que generalmente se usa en el diseño del concreto permeable es el grueso, considerando en la mezcla el uso de un solo tamaño o de varios, tomando en cuenta entre ¾ y 3/8 pulg. (19 y 9.5mm). La forma del agregado grueso puede ser angular o redondeado.

El contenido de agregado fino es limitado en la mezcla de concreto permeable, porque compromete a la interconexión de los vacíos dentro del concreto y esto genera la reducción de la infiltración de agua del mismo. La adición de agregado fino también puede incrementar la resistencia a la compresión y la densidad del concreto permeable.

Según el ACI 522R-10 (2010): “la calidad de los agregados en el concreto permeable es igual de importante que en el concreto convencional. Se deben evitar las partículas escamosas o alargadas. El agregado grueso debe ser duro, limpio y libre de recubrimientos” (p. 6).

b.3) Agua Potable

La calidad del agua para el concreto permeable se rige por los mismos requisitos que para el concreto convencional. La relación agua-cemento (a/c) de los concretos permeables son relativamente bajas (generalmente entre 0.26 a 0.40) porque una cantidad excesiva de agua conducirá al drenaje de la pasta y la posterior obstrucción del sistema de poros.

b.4) Aditivos

Los aditivos sirven para mejorar las propiedades y características del concreto permeable y dependiendo de su tipo, influye en el estado fresco y/o endurecido del concreto.

Los aditivos reductores de agua (de alto o mediano rango) se utilizan dependiendo de la relación agua-cemento (a/c) y deben cumplir los requisitos de la norma ASTM C494.

Los aditivos retardantes son utilizados para la estabilización y el control de la hidratación del cemento, debido a esto, son usados comúnmente cuando se trata de mezclas rígidas como el concreto permeable y sobre todo en aplicaciones en climas cálidos. También pueden actuar como lubricantes, esto ayuda a la descarga del concreto desde la mezcladora, así como también mejora el manejo.

Los aditivos aceleradores se pueden utilizar cuando el concreto permeable se implementa en ambientes fríos.

Los aditivos incorporadores de aire no son frecuentemente usados en el diseño de un concreto permeable, pero son utilizados en ambientes susceptibles al hielo y deshielo. También tienen que cumplir los requerimientos de la norma ASTM C260 (ACI 522R-10, 2010).

Para lograr una buena dosificación de concreto permeable, el ACI 522R-10 recomienda las siguientes proporciones:

Tabla N° 1: Rangos Típicos de la Proporciones de los Materiales del Concreto Permeable

Componentes	Proporciones
Materiales Cementantes	270 a 415 kg/m ³ (450 a 700 lb/yd ³)
Agregados	1190 a 1480 kg/m ³ (2000 a 2500 lb/yd ³)
Relación Agua-Cemento	0.27 a 0.34
Relación Agregado-Cemento	4 a 4.5:1
Relación Agregado Fino-Grueso	0 a 1:1

Fuente: ACI 522R-10 (2010), p. 15

c) Aplicaciones

El concreto permeable ha sido usado de diferentes maneras y posee una amplia gama de aplicaciones debido a su capacidad de infiltración, las cuales, según el ACI 522R-10, son las siguientes:

- Pisos, pavimentos y muros en donde se quieran mejores características de absorción acústica.
- Estacionamientos o zonas de lavado de autos hechos de pavimento permeable.
- Capas rígidas con drenaje debajo de áreas de centros comerciales.
- Pisos de invernaderos, para evitar el estancamiento de aguas en los mismos.
- Muros estructurales en donde se requieren características de peso ligero o de mejor aislamiento térmico, o ambos.
- Capas de base para las carreteras, calles urbanas, caminos particulares y aeropuertos.
- Capas de superficie de parques, losas deportivas o losas de

tenis.

- Estructuras de playas y muros marinos.
- Pisos de zoológicos, graneros o establos.
- Pisos de fondo de piscina.
- Andadores, banquetas y ciclovías.
- Lechos de sedimentos en plantas para el tratamiento de aguas

turbias.

- Terraplenes de puentes.
- Sistemas de almacenamiento de energía solar.

d) Propiedades

Según el ACI 522R-10:

[L]as propiedades del concreto permeable dependen principalmente de su porosidad (contenido de vacíos), así como también del contenido de material cementante, relación agua-cemento (a/c), nivel de compactación y de la calidad y gradación del agregado (ACI 522R-10, 2010: p. 7).

d.1) Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión es la capacidad que tiene el concreto en soportar un esfuerzo máximo bajo una carga de aplastamiento, la cual es provocada por las estructuras. Generalmente se mide mediante la exposición de un espécimen de concreto expuesto a una carga y se mide su resistencia hasta provocar su falla.

El ACI 522R-10 (2010) menciona diversos factores que influyen en la resistencia a la compresión del concreto permeable, los cuales fueron determinados y descubiertos mediante diferentes tipos de ensayos de laboratorio realizados por diferentes autores.

La proporción de la mezcla y la compactación durante la colocación son los factores que afectan fuertemente a la resistencia a la compresión del concreto permeable. Otros factores que se pueden tomar en cuenta y que también son importantes son: el contenido de vacíos, el tamaño del agregado grueso, la gradación de los agregados, la relación agua -

cemento (a/c), polímeros y aditivos minerales, el total de material cementante y el uso de agregado fino en la mezcla de concreto permeable.

Es posible que el concreto permeable llegue a soportar resistencias a la compresión relativamente altas, pero solo se consigue con la disminución de contenido de vacíos y como consecuencia, la reducción de la capacidad de infiltración y de percolación. El tamaño de agregado también afecta a la resistencia a la compresión, debido a que si se utiliza tamaños grandes de agregado reduce la resistencia, así como también al adicionar polímeros y aditivos minerales ayuda al incremento del mismo.

La relación agua - cemento (a/c) de la mezcla del concreto permeable también es importante para el desarrollo de la resistencia a la compresión y la estructura de vacíos. Cuando se emplea una alta relación agua-cemento, puede generar que la pasta fluya a través del agregado y tape la estructura de vacíos; caso contrario cuando se utiliza una baja relación de agua-cemento, la cual puede ocasionar una mala adherencia entre las partículas del agregado y problemas de colocación. Ensayos de laboratorio muestran que al diseñar un concreto permeable con relación de agua-cemento entre los valores de 0.26 y 0.45 proporciona un buen recubrimiento al agregado y estabilidad a la pasta.

El contenido de material cementante en la mezcla de concreto permeable es importante en el desarrollo de la resistencia a la compresión y la estructura de vacíos. Cuando se usa un excesivo contenido de pasta en la mezcla puede ocasionar la obstrucción de los vacíos del concreto y como consecuencia reducir su porosidad. Un poco cantidad de contenido de pasta puede reducir el recubrimiento de los agregados y reducir la resistencia a la compresión. Una óptima cantidad de pasta de material cementante está fuertemente relacionada con el tamaño del agregado y de su gradación.

El uso de agregado fino en la mezcla de concreto permeable influye tanto en la porosidad como en la resistencia a la compresión del material.

Debido a que aún no existe un comité o norma que estandarice el ensayo de resistencia a la compresión para un concreto permeable, se utilizará y ensayará bajo los términos de la norma ASTM C39 o NTP 339.034 para el concreto convencional.

d.2) Resistencia a la Flexión

También llamado módulo de ruptura, es la esfuerzo máximo que soporta en concreto cuando es sometido a tracción. Se calcula mediante la exposición de cargas puntuales a una viga con dimensiones conocidas y se registra el peso que soporta la misma hasta su ruptura.

El ACI 522R-10 (2010) menciona que se han realizado diversos ensayos de laboratorio para descubrir la influencia y la relación entre la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

Para esta investigación, se utilizará la norma ASTM C293 o NTP 339.079 para la realización del ensayo de resistencia a la flexión.

d.3) Contenido de Vacíos y Densidad

Según el ACI 522R-10 (2010) afirma que: “el contenido de vacíos es dependiente de diversos factores tales como la gradación del agregado, el contenido de material cementante, la relación agua-cemento (a/c) y el esfuerzo de compactación” (p. 9).

Uno de los factores importante que afectan el contenido de vacíos es el tamaño de los agregados. Cuando se utiliza diferentes tamaños de agregados en la mezcla de concreto permeable, generalmente los agregados con menos tamaño son los que afectan la relación de vacíos por que obstruyen la estructura de vacíos y la porosidad, y como consecuencia reduce la permeabilidad.

Otro de los factores que tiene influencia en el contenido de vacíos, porosidad y densidad de la mezcla de concreto permeable es el esfuerzo de compactación.

d.4) Tamaño de Poros

Según el ACI 522R-10 (2010): “el tamaño de los poros en el concreto permeable es también uno de los mayores factores que influye en sus propiedades, tales como la permeabilidad y la absorción acústica” (p. 9).

Si se desea generar poros de mayor tamaño en el concreto, se recomienda usar tamaños de agregados más grandes y como consecuencia, previene y reduce el atasco de los vacíos.

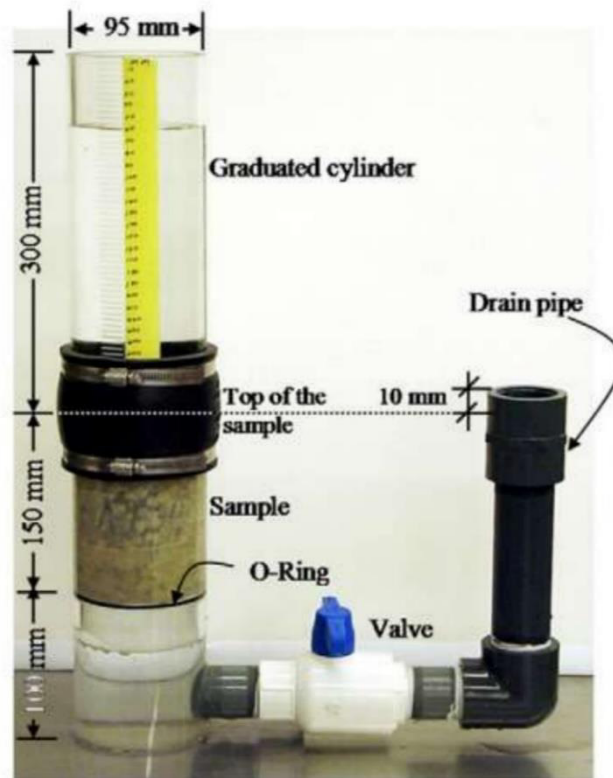
d.5) Infiltración

Según el ACI 522R-10 (2010) “es una de las propiedades más importantes del concreto permeable es la capacidad de infiltrar agua a través de su estructura. La infiltración está directamente relacionada con la porosidad y el tamaño de los vacíos del concreto permeable” (p. 10).

Algunos ensayos han afirmado que para lograr una percolación significativa tiene que tener como mínimo un porcentaje de vacíos de 15%. La capacidad de infiltración incrementa cuando el contenido de vacíos aumenta, por ende, la resistencia a la compresión disminuye. El reto al diseñar un concreto permeable es lograr el balance entre una aceptable percolación y una aceptable resistencia a la compresión. El coeficiente de permeabilidad del concreto permeable habitualmente se encuentra en el rango de 0.2 a 0.54 cm/s.

La permeabilidad del concreto permeable es medible mediante un permeámetro de carga variable dado por el ACI 522R-10 y cuyo autor es Neithalath.

Figura N° 1: Permeámetro de Carga Variable



Fuente: Neithalath et al. (2003), ACI 522R-10 (2010), p. 11

e) Ventajas y Desventajas

Según Flores y Pacompia (2015), las ventajas y desventajas de un concreto permeable son:

e.1) Ventajas

- Restauración de mantos acuíferos.
- Disminución de charcos en los caminos y exceso de agua en los drenajes en épocas lluviosas.
- Disminución de inundaciones.
- Disminución de focos infecciosos por aguas contaminadas.
- Reducción del índice de propagación de insectos portadores de enfermedades.
- Por tener alta porosidad, es autodrenante y autoventilado.
- Aumenta la calidad durante la lluvia de servicios

vehiculares y peatonales para usuarios.

- La aparición de fisuras en el concreto permeable es más baja en comparación con el convencional, debido a la baja retracción por el porcentaje de vacíos contenidos.

e.2) Desventajas

- Desgaste de permeabilidad del concreto permeable con el paso del tiempo, al saturarse los vacíos con material fino (material contaminante), debido a esto, es necesario su mantenimiento a base de agua a presión.
- Debe realizarse de forma periódica el mantenimiento del concreto permeable.
- Tiene una menor resistencia al desgaste comparado con el concreto convencional, por lo que solo debe aplicarse en zonas de tráfico ligero.

2.2.2. Pavimento Rígido

a) Definición

También llamado pavimento de concreto, son aquellos pavimentos que constan de losa de concreto sobre una base, o en otros casos, directamente a una sub base. Debido a que estos pavimentos poseen una losa de concreto en la superficie, les permite soportar cargas pesadas.

Debido a su poco mantenimiento, son bastante económicos a largo plazo y al ser muy resistente, tiene una vida útil más prolongada que los pavimentos flexibles. Debido a sus ventajas y propiedades, son construidos en ciudades o en fábricas de trabajo industrial, debido a que absorbe la mayoría de los esfuerzos que los vehículos ejercen sobre el pavimento.

Existen varios tipos de pavimento rígido tales como simples, reforzados, pre-esforzado, entre otros.

b) Características del Pavimento Rígido

El pavimento rígido posee diversas características que la diferencian del pavimento flexible y ayudan a la toma de decisiones a la hora de diseñar una vía.

Una de las características más importantes del pavimento rígido es la durabilidad, debido a que con el paso del tiempo ganan resistencia y por eso es que poseen una vida útil de aproximadamente 30 años en comparación del flexible.

Otros de sus beneficios es su bajo costo a largo plazo, ya que en lo que respecta a mantenimiento, solo se necesitó un período de 10 años para llevarlo a cabo.

El pavimento rígido no es afectado por el calor en zonas calientes y mantiene su frescura en dichos entornos, también es resistente ante los agentes de intemperismo.

También es resistente a las cargas que provocan los vehículos, debido a su losa de concreto, que absorbe todos los esfuerzos y trasmite poca carga a la subrasante.

c) Composición del Pavimento Rígido

El pavimento rígido está conformado por las siguientes partes:

c.1) Losa de Concreto

Es la capa superior de la estructura de pavimento hecha de concreto, la cual le otorga alta rigidez y alto módulo de elasticidad permitiéndole soportar y absorber grandes cantidades de carga impuestas por el tránsito. También tiene alta resistencia a la flexión y al desgaste.

c.2) Sub base

Es la capa de la estructura de pavimento que soporta, transmite y distribuye las cargas aplicadas a la superficie de rodadura del mismo, de tal manera que la sub rasante pueda resistir dichas cargas absorbiendo sus variaciones y transmitiéndolos al suelo para que no afecte a la sub base.

La sub base también puede controlar las variaciones de volumen y elasticidad, que son nocivos para el pavimento. Esta capa generalmente es constituida por materiales granulares dándole la función de capa de drenaje, protegiendo así a la estructura de pavimento.

c.3) Sub rasante

Es la capa de terreno que sirve como fundación, la cual soporta la estructura de pavimento. Dicha capa es colocada hasta una profundidad en la cual no no afecte la carga de diseño que pertenece al tránsito previsto.

La calidad de la subrasante influye en gran medida del espesor del pavimento, debido a esto, ésta capa debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. American Concrete Institute (ACI)

También conocido como el Instituto Americano del Concreto, es una organización americana sin ánimo de lucro fundada en 1904, la cual tiene como objetivo desarrollar normas, estándares y recomendaciones técnicas sobre el concreto reforzado o variantes. Su sede central se ubica en Farmington Halls, Michigan, Estados Unidos.

2.3.2. American Society for Testing and Materials (ASTM)

También conocido como Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, es una organización que desarrolla normas técnicas internacionales para una gran variedad de materiales, productos, sistemas y

servicios. Su sede central está ubicada en West Conshohocken, Pennsylvania en Estados Unidos.

2.3.3. Aguas Pluviales

Son aguas que provienen de las lluvias, la cual produce escorrentía que fluye superficialmente sobre el terreno o superficie. Las aguas pluviales corren por cualquier superficie y pueden transportar contaminantes, suciedad y sustancias químicas a su paso.

2.3.4. Concreto Permeable

Se define como un concreto de alta porosidad o alto porcentaje de vacíos, cuya función principal es la infiltración de agua. Está compuesto por la mezcla de cemento portland, agregado grueso, poca o ninguna cantidad de agregado fino, aditivos y agua. Dicha mezcla de ingredientes originará un material resistente con poros interconectados, cuyo rango de tamaño es entre 2 a 8 milímetros, contenido de vacíos de 15 a 35 %, resistencia a la compresión de 2.8 a 2.8 MPa y capacidad de infiltración de 81 a 730 L/min/m².

2.3.5. Diseño del Pavimento Permeable

Es el conjunto de estudios y procedimientos para llevar a cabo una estructura de pavimento, teniendo como elemento principal en su superficie el concreto permeable y que a su vez cumplan los parámetros, características y propiedades según las normas técnicas.

2.3.6. Evacuación de Aguas

Es la derivación de agua proveniente de las lluvias o de otra procedencia mediante el drenaje de la estructura de pavimento. El drenaje puede evacuar el agua ya se fuera de la estructura o debajo de ella hacia la capa de suelo natural.

2.3.7. Infiltración

Se denomina a la velocidad máxima con que el agua fluye a través de un suelo o estructura.

2.3.8. Pavimento Permeable

Es un pavimento que se constituye de una losa de concreto permeable en una capa superior, una base como cualquier pavimento (puede ser granular, ya que permite el paso del agua), una geomembrana (opcional), opcionalmente un sistema de drenaje dependiendo de las necesidades y una sub base de afirmado o suelo natural, que pueda infiltrar agua.

2.3.9. Permeabilidad

Es la capacidad que posee un material en la cual permite pasar un cantidad de agua a través de su estructura sin dañarla. Generalmente, el coeficiente de permeabilidad de un concreto permeable es de 0.2 a 0.54 cm/s.

2.3.10. Relación de Vacíos

Es una relación entre el volumen de vacíos y el volumen de las partículas sólidas en una masa de suelo o concreto.

2.4. Hipótesis

La hipótesis está comprendida por la hipótesis general, la hipótesis nula y las hipótesis específicas, las cuales son:

2.4.1. Hipótesis General

Diseñando un Pavimento Rígido Permeable según la Norma ACI 522R-10, se evacúa las aguas pluviales.

2.4.2. Hipótesis Nula

Diseñando un Pavimento Rígido Permeable según la Norma ACI 522R-10, no se evacúa las aguas pluviales.

2.4.3. Hipótesis Específicas

- Determinando la **resistencia a la compresión** según la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.034, se diseña un Pavimento Rígido Permeable.

- Determinando la **resistencia a la flexión** según la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.078, se diseña un Pavimento Rígido Permeable.

- Determinando el **contenido de vacíos** según el American Society for Testing Materials (ASTM) C1754, se diseña un Pavimento Rígido Permeable.

- Determinando la **capacidad de infiltración de agua** según la Norma ACI 522R-10, se diseña un Pavimento Rígido Permeable.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Tipología de la Investigación

3.1.1. Tipo de la Investigación

La orientación de la investigación es Aplicada, porque se tomó como referencia investigaciones previas sobre Pavimento Rígido Permeable y dichos conocimientos se aplicaron para cumplir los objetivos de la investigación.

El enfoque de la investigación es Cuantitativo, debido a que los datos obtenidos en los ensayos usando diferentes porcentajes de vacíos en el diseño, se representaron de forma numérica y porcentual. Dichos datos se cuantifican de forma estadística mediante la elaboración de tablas y gráficos que serán de gran utilidad para la ejecución del proyecto.

El tipo de la investigación es Descriptiva, debido a que especifica el procedimiento y las características de los diferentes ensayos de laboratorio realizados en el proyecto con diferentes porcentajes de vacíos en el diseño de pavimento rígido permeable.

3.1.2. Nivel de la Investigación

El nivel de la investigación es Descriptivo, debido a que se describe los conceptos, variables y características de la investigación, los cuales

servieron de ayuda en el procedimiento de los ensayos de laboratorio con diferentes porcentajes de vacíos y la obtención de los resultados esperados.

3.1.3. Diseño de la Investigación

La investigación es Experimental, debido a que se realizaron pruebas y ensayos de laboratorio para llegar al objetivo principal de la investigación. Dichos ensayos se realizaron usando mezclas de concreto con diferentes porcentajes de vacíos, de los cuales se obtuvieron resultados que fueron analizados y comparados entre sí y luego explicados mediante tablas y gráficos para su entendimiento y así llegar a cumplir los objetivos planteados y probar la hipótesis de la investigación.

La investigación es Longitudinal, debido a que se tuvieron diversas muestras de concreto con diferentes porcentajes de vacíos, que se sometieron a ensayos destructivos (como el de compresión y flexión) a diferentes edades de curado, obteniendo resultados que se analizaron y compararon entre sí; y que posteriormente ayudó a la elección del diseño que cumpla con las normas.

La investigación es Prospectiva, debido a que el diseño de la investigación es Experimental, se realizaron mediciones propias en los ensayos de laboratorio y los resultados obtenidos se evaluaron y analizaron mediante cuadros y gráficos estadísticos.

3.2. Variables

La variable dependiente en la investigación será el Diseño del Pavimento Permeable y la variable independiente será la Norma ACI 522R-10, debido a que el diseño del pavimento puede ser modificado según los parámetros y especificaciones de la Norma ACI 522R-10.

3.2.1. Operacionalización de Variables

a) Variable Independiente

La variable independiente es la Norma ACI 522R-10, la cual posee los siguientes indicadores:

Tabla N° 2: Variable Independiente

VARIABLES	INDICADORES	MEDICIÓN
V. INDEPENDIENTE		
Norma ACI 522R-10	Propiedades y Características el Concreto Permeable	Ensayos Normados

Fuente: Elaboración Propia

b) Variable Dependiente

La variable dependiente es el diseño de pavimento rígido permeable, la cual posee los siguientes indicadores:

Tabla N° 3: Variable Dependiente

V. DEPENDIENTE		
Diseño de Pavimento Rígido Permeable	Resistencia a la Compresión	Ensayo normalizado para la determinación de la Resistencia a la Compresión del concreto, en muestras cilíndricas (NTP 339.034)
	Resistencia a la Flexión	Ensayo para determinar la Resistencia a la Flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo (NTP 339.078)

Diseño de Pavimento Rígido Permeable	Densidad y Contenido de Vacíos	Método de Ensayo Estándar para la Densidad y Contenido de Vacíos para Concreto Permeable Endurecido (ASTM 1754)
	Capacidad de Infiltración	Ensayo de Infiltración mediante el Permeámetro de Carga Variable de Neithalath (ACI 522R-10)

Fuente: Elaboración Propia

3.3. Población y Muestra

La población será finita, debido los especímenes se evaluaron mediante los ensayos de resistencia a la compresión y flexión, aplicando diferentes porcentajes de vacíos y de agregado fino.

Para la presente investigación se elaboraron 5 diseños de mezcla, cuya dosificación contiene porcentajes teóricos de 10%, 15% y 20% de contenido de vacíos, con tipo de agregado grueso anguloso, con tamaño de Huso 67 y contenido de arena de 0%, 10% y 20%.

En la siguiente tabla se presentará una síntesis de los diseños de mezcla realizados en la presente investigación con sus respectivas características:

Tabla N° 4: Diseños de la Investigación

Diseño 1	Contenido de vacíos de 15 %, $a/c = 0.27$, Agregado de Huso 67, 0% de Agregado Fino
Diseño 2	Contenido de vacíos de 15 %, $a/c = 0.27$, Agregado de Huso 67, 20% de Agregado Fino
Diseño 3	Contenido de vacíos de 10 %, $a/c = 0.27$, Agregado de Huso 67, 20% de Agregado Fino

Diseño 4	Contenido de vacíos de 20 %, $a/c = 0.27$, Agregado de Huso 67, 20% de Agregado Fino
Diseño 5	Contenido de vacíos de 10 %, $a/c = 0.27$, Agregado de Huso 67, 10% de Agregado Fino

Elaboración Propia

Se realizaron especímenes de concreto para la realización de los ensayos de destrucción. Los especímenes cilíndricos corresponden al ensayo de resistencia a la compresión y las vigas corresponden al ensayo de resistencia a la flexión, divididas por las diferentes edades de curado (7, 14 y 28 días). En la siguiente tabla se mostrará un resumen de los especímenes elaborados para la investigación:

Tabla N° 5: Total de Probetas Cilíndricas y Vigas Elaboradas

DISEÑO	ESPECÍMENES	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS	TOTAL
Diseño 1 Vacíos = 15% Sin Arena	PROBETA	2	2	2	6
	VIGA	2	2	2	6
Diseño 2 Vacíos = 15% Con Arena = 20%	PROBETA	2	2	2	6
	VIGA	2	2	2	6
Diseño 3 Vacíos = 10% Con Arena = 20%	PROBETA	2	2	2	6
	VIGA	2	2	2	6
Diseño 4 Vacíos = 20% Con Arena = 20%	PROBETA	2	2	2	6
	VIGA			2	2
Diseño 5 Vacíos = 10% Con Arena = 10%	PROBETA	2	2	2	6
	VIGA		2	2	4

Fuente: Elaboración Propia

3.4. Técnicas de Investigación

El desarrollo de la presente investigación consta de la confección de distintos especímenes con diferentes porcentajes de vacíos y agregado fino, los cuales posteriormente se someterá a ensayos destructivos en el

laboratorio; obteniendo así resultados que se describirán y analizarán mediante la construcción de tablas y gráficos, con el fin de poder representar la variación de resistencia en los diferentes tipos de diseños.

3.5. Instrumentos de Recolección de Datos

Se aplica como instrumento de recolección de datos los ensayos de agregados, ensayos del concreto en estado fresco y los ensayos del concreto en estado endurecido. Los ensayos se realizarán en concordancia con los parámetros establecidos en la Norma Técnica Peruana, el ACI 522R-10 y el ASTM, para así obtener resultados óptimos y satisfactorios. Los ensayos que se realizarán son los siguientes:

a) Ensayos De Agregados

- Extracción y Preparación de las Muestras
- Contenido de Humedad
- Análisis Granulométrico
- Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción del Agregado Grueso
 - Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción del Agregado Fino
- Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos del Agregado

b) Ensayos Del Concreto En Estado Fresco

- Asentamiento de Concreto Fresco con el Cono de Abrams
- Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto

c) Ensayos Del Concreto En Estado Endurecido

- Resistencia a la Compresión Simple
- Resistencia a la Flexión del Concreto
- Contenido de Vacíos
- Infiltración

3.6. Procesamiento de Datos

Toda aquella información que resulte de los ensayos se presentará mediante tablas, cuadros y gráficos, los cuales serán organizados de acuerdo al tipo de ensayo.

La información obtenida será ingresada al programa Microsoft Excel para la elaboración de los cuadros y gráficos, así como también la obtención de las fichas técnicas elaboradas de los ensayos de materiales.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1. Ensayos de Materiales

Los agregados son una parte importante y fundamental en el diseño de un concreto permeable, debido a que componen gran parte del volumen del mismo. Es por eso que se determina y analiza las propiedades físicas y mecánicas de dichos agregados mediante ensayos normados, que cuyos resultados ayudarán a realizar un adecuado diseño de concreto.

Es importante que los agregados sean de calidad, estén limpias, duras, libres de químicos y sobre todo resistentes, ya que eso define las propiedades del concreto permeable. Dichos agregados son provenientes de la cantera de Manchay.

Figura N° 2: Agregado Fino



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 3: Agregado Grueso



Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presentará la siguiente tabla que contiene un resumen de los ensayos realizados a los agregados con su respectiva Norma Técnica Peruana y su variante ASTM:

Tabla N° 6: Ensayos de Agregados con su respectiva NTP y ASTM

N° de Ensayo	Nombre del Ensayo	Norma	
		NTP	ASTM
1	Extracción y Preparación de las Muestras	400.010	D75
2	Contenido de Humedad	339.185	C566
3	Análisis Granulométrico	400.012	C136
4	Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción del Agregado Grueso	400.021	C127
5	Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción del Agregado Fino	400.022	C128
6	Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos del Agregado	400.017	C29

Fuente: Elaboración Propia

4.1.1. Extracción y Preparación de las Muestras

a) Generalidades

El siguiente ensayo tiene como objeto:

[R]ealizar el muestreo de agregado fino y agregado grueso. El ensayo permite una investigación preliminar y control de la fuente de abastecimiento, también ayuda a la aceptación o rechazo de dichos materiales (INDECOPI – NTP 400.010, 2016: p. 1).

b) Equipos y Herramientas

- Pala
- Cubierta de Plástico
- Regla Metálica
- Bandeja

c) Procedimiento

Se realizó paso a paso lo siguiente:

- Identificar la pila de agregado a analizar, en nuestro caso fue un saco de 25 kilogramos.
 - Colocar el agregado sobre una cubierta de plástico en el piso y formar una pila o pirámide, agarrando las esquinas de la cubierta y sacudiendo para que el agregado se posicione en el centro y dejándolo caer desde unos 20 centímetros de altura, aproximadamente.
 - Formada la pirámide, se aplana la superficie con una bandeja hasta dejar al agregado extendido y con una superficie uniforme.
 - Se divide el agregado en 4 partes iguales con ayuda de la regla metálica o la pala (en forma de cruz) y se escoge 2 partes extremas opuestas.
 - Con dichas partes se realiza otra vez el procedimiento hasta llegar a una cantidad significativa y extraer la muestra representativa de aproximadamente 3 kilogramos.
 - Los residuos de agregado se devuelven a su fuente de abastecimiento.

Figura N° 4: Agregado Grueso preparado para el Ensayo



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5: Expansión del Agregado Grueso con la Bandeja



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 6: Cuarteo del Agregado Grueso



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 7: Agregado Grueso de los Extremos Opuestos



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 8: Agregado Fino preparado para el Ensayo



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 9: Expansión del Agregado Fino con la Bandeja



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 10: Cuarteo del Agregado Fino



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 11: Agregado Fino de los Extremos Opuestos



Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Contenido de Humedad

a) Generalidades

El siguiente ensayo tiene como objeto:

[D]eterminar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino o grueso por secado. En dicha humedad está incluida la humedad superficial y contenida en los poros del agregado, pero no toma en cuenta el agua que se mezcla químicamente con los minerales de los agregados y que es susceptible de evaporación (INDECOPI – NTP 339.185, 2013: p. 1).

b) Equipos y Herramientas

- Balanza para Agregado Fino
- Balanza para Agregado Grueso
- Bandejas y Recipientes de Acero Quirúrgico
- Horno Graduado a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (110°C)

c) Procedimiento

- Con los agregados separados en bandejas debido al muestreo previo, se extrae una cantidad mínima para este ensayo.
 - El peso de la muestra para agregado grueso de $T_M = \frac{3}{4}$ " será aproximadamente de 3000 gramos y para agregado fino será aproximadamente de 50 gramos.
 - Si en caso el agregado fino esté húmedo, no es necesario exponerlo al agua para saturarlo. Pero en el caso del agregado grueso, si es que está seco, se humedece y se lava para realizar este ensayo.
 - Se pesan ambas muestras húmedas y luego se secan en el horno a temperatura $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (110°C) durante 24 horas, hasta obtener una muestra seca y constante.
 - Dejar enfriar ambos agregados en estado seco por unos minutos para posteriormente pesarlos.

Figura N° 12: Lavado del Agregado Grueso



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 13: Peso del Agregado Grueso (3021 gramos)



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 14: Peso del Agregado Fino (50 gramos)



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 15: Agregados secados en el horno de 110°C



Fuente: Elaboración propia

d) Cálculos

Para calcular el contenido de humedad, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% w = \frac{Wh - Ws}{Ws} \times 100\%$$

Donde:

- %w: Porcentaje de Humedad (%)
- W: Peso de la muestra húmeda (gr, kg)
- Ws: Peso de la muestra seca (gr, kg)

e) Resultados

Los resultados del contenido de humedad se representan mediante las siguientes tablas:

Tabla N° 7: Cálculo del Contenido de Humedad del Agregado Grueso

Descripción de la Muestra		
N° de la Tara	:	-
Peso del Suelo húmedo (gr.)	:	3021.00
Peso de la tara (gr.)	:	339.50
Peso de la tara + Suelo húmedo (gr.)	:	3360.50
Peso de la tara + Suelo seco (gr.)	:	3331.00
Peso del agua (gr.)	:	29.50
Peso del suelo seco (gr.)	:	2991.50
Contenido de humedad (%)	:	0.99

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8: Cálculo del Contenido de Humedad del Agregado Fino

Descripción de la Muestra		
N° de la Tara	:	7-B
Peso del Suelo húmedo (gr.)	:	50.00
Peso de la tara (gr.)	:	28.22
Peso de la tara + Suelo húmedo (gr.)	:	78.22
Peso de la tara + Suelo seco (gr.)	:	77.91
Peso del agua (gr.)	:	0.31
Peso del suelo seco (gr.)	:	49.69
Contenido de humedad (%)	:	0.62

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Análisis Granulométrico

a) Generalidades

El siguiente ensayo tiene como objeto:

[D]eterminar el porcentaje pasante de los diferentes tamaños de los agregados (fino y grueso), los cuales ayudan a la construcción de curvas granulométricas de los mismos. También ayuda a establecer los requisitos de calidad de los agregados y determinar si se encuentran dentro de los límites establecidos para su uso en la mezcla (INDECOPI – NTP 400.012, 2013: p. 1).

b) Equipos y Herramientas

– Serie de Tamices para agregados gruesos: 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", ¼" y N° 4. Para agregados finos: N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200.

Tabla N° 9: Tamices para Agregado Grueso y Fino

AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO	
Tamiz (pulg.)	Abertura (mm)	Tamiz (pulg.)	Abertura (mm)
2 1/2"	63.50	N° 4	4.75
2"	50.80	N° 8	2.36
1 1/2"	38.10	N° 16	1.18
1"	25.40	N° 30	0.60
¾"	19.05	N° 50	0.30
½"	12.70	N° 100	0.15
3/8"	9.53	N° 200	0.075
¼"	6.35		
N° 4	4.75		

Fuente: Elaboración propia

- Balanza para Agregado Grueso
- Balanza para Agregado Fino
- Tamizadoras mecánicas
- Bandejas y Recipientes de Acero Quirúrgico
- Horno Graduado a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (110°C)

Figura N° 16: Tamices para Agregado Grueso



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 17: Tamices para Agregado Fino



Fuente: Elaboración propia

c) Procedimiento

Agregado Grueso

- Antes de realizar el ensayo, se tiene que llevar la muestra de agregado grueso al horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 horas debido a que tiene que estar completamente seca.
- Pasado el tiempo de secado, se procede a colocar 3000 gramos de agregado grueso en una bandeja y posteriormente se pesa.
- Luego se procede a colocar los tamices de forma descendente (3", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜" y N° 4) con su respectivo fondo.
- Se coloca el agregado grueso y se tapa, para que no se pierda el material.
- Si se opta utilizar tamizadora mecánica, se coloca los tamices en los ejes y se presiona el botón para que comience a girar. El proceso terminará cuando la máquina se apague automáticamente.
- Si se opta por tamizar manualmente, se tamiza realizando movimientos circulares continuos por un tiempo de 5 minutos.
- Finalizado el paso anterior, se procede a pesar el material retenido en cada malla empezando a partir de la malla superior y determinar el huso del material mediante tabla.

Figura N° 18: Peso del para Agregado Grueso (3 kg)



Fuente: Elaboración propia

Figura Nº 19: Tamizado de Agregado Grueso Manual



Fuente: Elaboración propia

Figura Nº 20: Diferentes tamaños de Agregado Grueso



Fuente: Elaboración propia

Agregado Fino

- Antes de realizar el ensayo, se lleva la muestra de agregado fino al horno, a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas debido a que tiene que estar completamente seca.
- Pasado el tiempo de secado, se procede a colocar 500 gramos de agregado fino en un recipiente y posteriormente se pesa.
- Luego se procede a colocar los tamices de forma descendente (Nº 4, Nº 8, Nº 16, Nº 30, Nº 50, Nº 100 y Nº 200) con su respectivo fondo.
- Se coloca el agregado fino y se tapa, para que no se pierda el material.
- Si se opta utilizar tamizadora mecánica, se coloca los tamices en los ejes y se presiona el botón para que comience a girar. El proceso terminará cuando la máquina se apague automáticamente.
- Si se opta por tamizar manualmente, se tamiza realizando movimientos circulares continuos por un tiempo de 3 minutos.
- Finalizado el paso anterior, se procede a pesar el material retenido en cada malla empezando a partir de la malla superior.

Tabla Nº 10: Análisis Granulométrico del Agregado Fino

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA
3/8" (9.5 mm)	100
Nº 4 (4.75 mm)	95 a 100
Nº 8 (2.36 mm)	80 a 100
Nº 16 (1.18 mm)	50 a 85
Nº 30 (0.60 mm)	25 a 60
Nº 50 (0.30 mm)	5 a 30
Nº 100 (0.075 mm)	0 a 10

Fuente: NTP 400.037 – Especificaciones Normalizadas para Agregados en Concreto (2014), p. 8

Figura N° 21: Peso de Agregado Fino (500 gr.)



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 22: Diferentes tamaños de Agregado Fino



Fuente: Elaboración propia

d) Cálculos

Módulo de Fineza:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenido Acumulado (1 } \frac{1}{2} \text{", 3/4", 3/8", N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50 \text{ y N}^\circ 100)}{100}$$

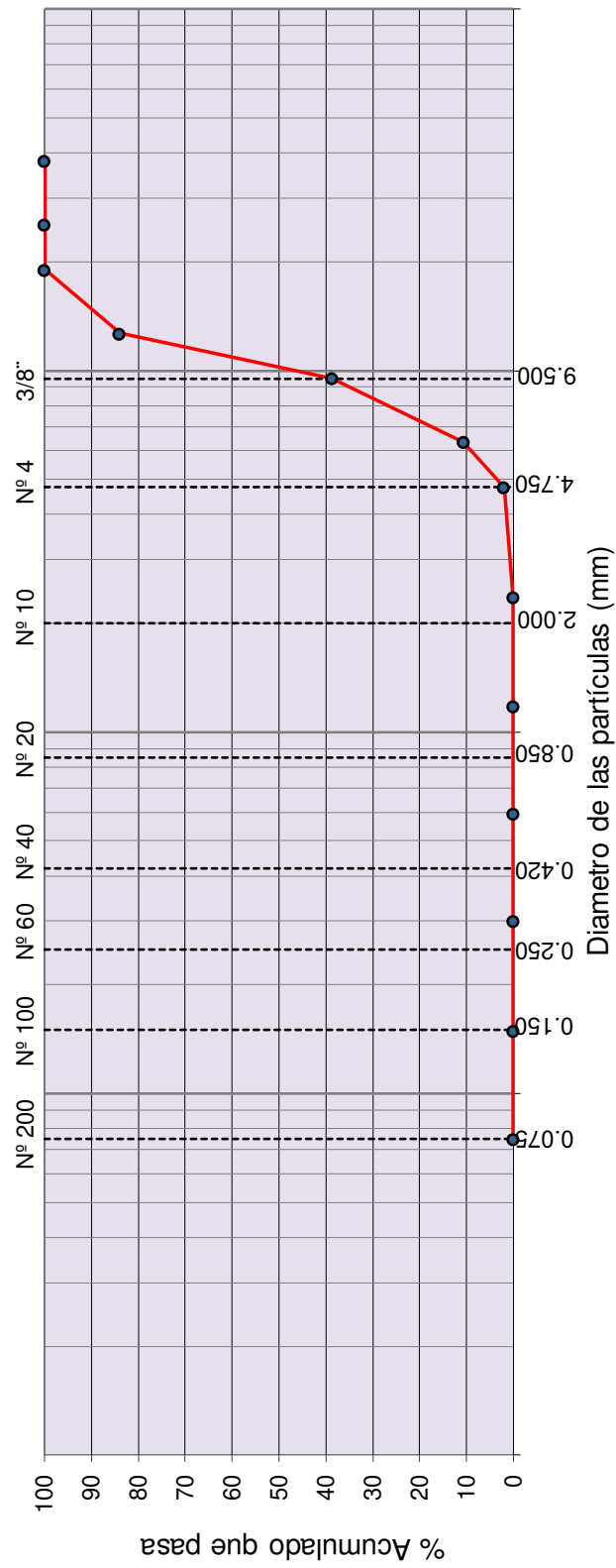
e) Resultados

Tabla N° 11: Granulometría del Agregado Grueso

Tamiz	Abert. (mm)	Peso ret. (g)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q' Pasa	ASTM C-33
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1"	25.40	480.00	16.00	16.00	84.00	90 a 100
3/4"	19.05	1360.00	45.33	61.33	38.67	20 a 55
1/2"	12.70	840.00	28.00	89.33	10.67	0 a 10
3/8"	9.53	260.00	8.67	98.00	2.00	0 a 5
1/4"	6.35	60.00	2.00	100.00	0.00	
N° 4	4.75	0.00	0.00	100.00	0.00	
N° 8	2.36	0.00	0.00	100.00	0.00	
N° 16	1.18	0.00	0.00	100.00	0.00	
N° 30	0.60	0.00	0.00	100.00	0.00	
N° 50	0.30	0.00	0.00	100.00	0.00	
N° 100	0.15	0.00	0.00	100.00	0.00	
N° 200	0.075	0.00	0.00	100.00	0.00	
< N° 200		0.00	0.00	100.00	0.00	
TOTAL		3000.00	100.00			

Clasificación	
S.U.C.S	GP
AASHTO	A-1-a (0)
GP: Grava mal graduada	

Datos generales		
Datos de la Muestra		
Muestra	:	Piedra
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida
Huso	:	5
TMN	:	3/4"
MF	:	7.59
ASTM D 2488		
"Descripción e Identificación de suelos"		
% Grava	=	100.00
% Arena	=	0.00
% Finos	=	0.00
ASTM D 2216		
Húmedad Natural (%)	=	0.99
ASTM D 4318-(05)		
"Limite de Atterberg"		
Limite Liquido (%)	=	N.P
Limite Plástico (%)	=	N.P
Ind. de Plasticidad (%)	=	N.P



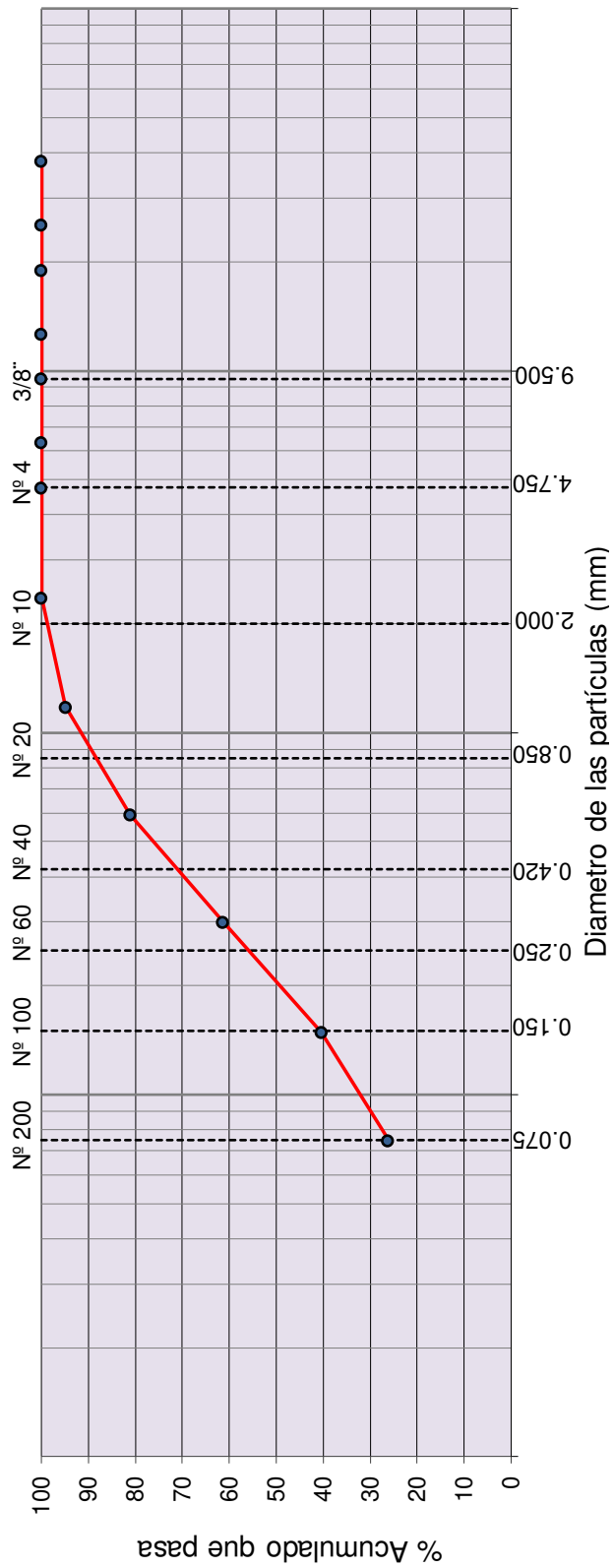
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12: Granulometría del Agregado Grueso

Tamiz	Abert. (mm)	Peso ret. (g)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q' Pasa	ASTM C-33
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
N° 4	4.75	25.62	5.12	5.12	94.88	95 a 100
N° 8	2.36	68.78	13.76	18.88	81.12	80 a 100
N° 16	1.18	99.37	19.87	38.75	61.25	50 a 85
N° 30	0.60	104.53	20.91	59.66	40.34	25 a 60
N° 50	0.30	71.04	14.21	73.87	26.13	5 a 30
N° 100	0.15	73.62	14.72	88.59	11.41	0 a 10
N° 200	0.075	35.64	7.13	95.72	4.28	0 a 5
< N° 200		21.40	4.28	100.00	0.00	
TOTAL		500.00	100.00			

Clasificación	
S.U.C.S	SP
AASHTO	A-3
SP: Arena pobremente graduada	

Datos generales	
Datos de la Muestra	
Muestra	: Arena
Procedencia	: Cantera de Musa
Profundidad	: Desconocida
Huso	: -
TMN	: N° 4
MF	: 2.85
ASTM D 2488	
"Descripción e Identificación de suelos"	
% Grava	= 5.12
% Arena	= 90.60
% Finos	= 4.28
ASTM D 2216	
Húmedad Natural (%)	= 0.62
ASTM D 4318-(05)	
"Limite de Atterberg"	
Limite Liquido (%)	= N.P
Limite Plástico (%)	= N.P
Ind. de Plasticidad (%)	= N.P



Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Densidad, Densidad Relativa y Absorción del A. Grueso

a) Generalidades

El siguiente ensayo tiene como objeto:

[D]eterminar la densidad, densidad relativa y el porcentaje de absorción del agregado grueso, a partir de la saturación de una muestra después de 24 horas (INDECOPI – NTP 400.021, 2013: p. 1).

b) Equipos y Herramientas

- Balanza de Agregado Grueso
- Soporte de madera
- Depósito o Balde de agua
- Cesta de malla de alambre
- Horno Graduado a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (110°C)

c) Procedimiento

- Preparar el material por muestreo y seleccionar una muestra representativa.
- Para este ensayo, se tiene que llevar la muestra de agregado fino al horno, a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas debido a que tiene que estar completamente seca. Luego de pasado el tiempo, se procede a pesar 3000 gr.
- Saturar el agregado grueso por 24 horas. Pasado el tiempo se seca superficialmente con un trapo y se pesa para hallar el peso del agregado grueso saturado superficialmente seco.
- Preparar un depósito o balde para luego llenarlo de agua.
- Se ubica el depósito o balde en el centro y sobre él se coloca un soporte donde se pueda colocar la balanza y el gancho con la cesta.
- Se sumerge la cesta y se tara la balanza para no contar el peso de la cesta y su respectivo gancho.
- Luego se vierte el agregado grueso saturado superficialmente seco en la misma y se obtiene el peso del agregado grueso sumergido.

Figura N° 23: Peso del Agregado Grueso Seco



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 24: Agregado Grueso Sumergido por 24 horas



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 25: Agregado Grueso Saturado Superficialmente Seco al Aire



Fuente: Elaboración propia

Figura Nº 26: Balanza apoyada en los soportes para calcular el Peso del Agregado Grueso Saturado Superficialmente Seco Sumergido



Fuente: Elaboración propia

d) Cálculos

Densidad:

$$\text{Peso Específico} = \frac{P1}{P2 - P3} \times 1000$$

Absorción:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{P2 - P1}{P1} \times 100$$

Densidad Relativa:

$$\text{Peso Específico} = \frac{P1}{P1 - P3} \times 1000$$

Donde:

- P1: Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr, kg)
- P2: Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr, kg)
- P3: Peso de la Muestra Sumergida (gr, kg)

e) Resultados

Tabla N° 13: Densidad del Agregado Grueso

Descripción de la Muestra - Densidad		
Peso de la tara (gr.)	:	349.00
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	3021.00
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire(gr.)	:	3033.50
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	1927.00
Gravedad Específica	:	2.73
Densidad (kg./m3)	:	2730.23

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 14: Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso

Descripción de la Muestra - Porcentaje de Absorción		
Peso de la tara (gr.)	:	349.00
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	3021.00
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire(gr.)	:	3033.50
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	1927.00
Porcentaje de Absorción	:	0.41%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 15: Densidad Relativa del Agregado Grueso

Descripción de la Muestra - Densidad Relativa		
Peso de la tara (gr.)	:	349.00
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	3021.00
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire(gr.)	:	3033.50
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	1927.00
Gravedad Específica	:	2.76
Densidad Relativa (kg./m3)	:	2761.43

Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Densidad, Densidad Relativa y Absorción del A. Fino

a) Generalidades

El siguiente ensayo tiene como objeto:

[D]eterminar la densidad promedio de partículas de agregado fino, densidad relativa y la absorción del agregado fino. También se utiliza para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado y proporciona un valor promedio que representa la muestra (INDECOPI – NTP 400.022, 2013: p. 1).

b) Equipos y Herramientas

- Balanza de Agregado Fino
- Bandejas de Acero Quirúrgico
- Picnómetro (fiola), con capacidad de 500 ml.
- Molde metálico en forma de cono, de 40 ± 3 mm de diámetro superior, 90 ± 3 mm de diámetro inferior y 75 ± 3 mm de altura.
- Pisón de metal, la cual es una varilla metálica con uno de sus extremos de sección plana y circular, de 25 ± 3 mm de diámetro. Debe tener una masa de 340 ± 15 gr.
- Hornillo

Figura N° 27: Molde Metálico en Forma de Cono y Pisón de Metal



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 28: Picnómetro o Fiola



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 29: Hornillo



Fuente: Elaboración Propia

c) Procedimiento

- Colocar una muestra representativa de 1000 gramos en una bandeja de acero quirúrgico y llenarlo de agua hasta tener un nivel donde cubra todo el agregado para saturarlo. Se deja reposar aproximadamente 24 horas.
- Pasado el tiempo, se retira el agua sobrante teniendo una muestra de agregado fino totalmente saturada. Al retirar el agua se tiene que tener cuidado para que no haya pérdida de finos.

- Colocar la bandeja sobre el hornillo a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ para que la muestra pierda humedad gradualmente y esparcir el material para que se seque uniformemente.
- Mover el material con un cucharón para que el calor se extienda uniformemente sobre el material y cuidando que no se seque más del estado saturado superficialmente seco, que es cuando el agregado no se adhiere entre sí.
- Se coloca el cono en una bandeja donde no se pueda perder material y se sostiene el cono firmemente, con el diámetro menor hacia arriba.
- Tomar una porción de agregado fino con el cucharón y colocarlo cuidadosamente dentro del cono.
- Llenar de agregado fino el cono hasta los dos tercios de su capacidad y se deja caer el pisón 25 veces distribuidas uniformemente en la superficie. Cada caída debe partir tener una altura aproximadamente de 5 mm sobre la superficie.
- Volver a llenar el cono con el material hasta su capacidad máxima y dejar caer el pisón 5 veces más.
- Limpiar el material que se ha esparcido hacia los costados, de la bandeja y del pisón.
- Levantar el cono verticalmente y ver la forma en la está el material.
- Si su forma es cónica, el agregado está muy húmedo como para tomarlo como un material en estado saturado superficialmente seco.
- Si el agregado mantiene su forma, pero tiene un pequeño derrumbe o se desmorona ligeramente, tiene la humedad óptima correspondiente al estado superficialmente seco y se tomará como sujeto de análisis.
- Si el agregado se desmorona por completo, tiene poca humedad como para ser tomado en cuenta como un agregado en estado saturado superficialmente seco. Para volver a saturarlo debidamente, se le puede rociar unos mililitros de agua para humedecer el agregado y se deja reposar durante 1 hora. El recipiente con la muestra debe estar correctamente tapado y se debe ubicar en un lugar seguro para que no haya riesgo de pérdida de

material. Luego se intenta otra vez con el cono hasta que cumpla la condición de saturado superficialmente seco.

- Colocar 500 gramos de agregado en estado saturado superficialmente seco en una fiola con peso conocido y volumen de 500 ml.
- Adicionar agua hasta saturar el agregado por completo (sin llegar a la marca de 500 ml) y si se presentan burbujas de aire de aire contenido de la muestra, se recomienda realizar giros circulares a la fiola.
- Llenar con agua la fiola hasta antes de llegar a la marca de 500 ml y se deja reposando durante 15 minutos o hasta que los finos se asienten.
- Si en caso hubiera espuma en la superficie, retirarlo cuidadosamente con papel absorbente.
- Llenar con agua hasta llegar a la marca de 500 ml y luego pesar la fiola.
- Extraer la muestra de agregado fino y colocarla en un recipiente metálico con peso conocido y llevarlo al horno por 24 horas.

Figura N° 30: Agregado Fino saturado durante 24 horas



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 31: Agregado Fino en el hornillo



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 32: Procedimiento de compactación de 25 golpes con el pisón



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 33: Arena Compactada con el Pisón



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 34: Derrumbe de la Arena



Fuente: Elaboración propia

d) Cálculos

Densidad:

$$\text{Peso Específico} = \frac{P1}{P2 - P3} \times 1000$$

Absorción:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{P2 - P1}{P1} \times 100$$

Densidad Relativa:

$$\text{Peso Específico} = \frac{P1}{P1 - P3} \times 1000$$

Donde:

- P1: Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr, kg)
- P2: Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr, kg)
- P3: Peso de la Muestra Sumergida (gr, kg)

e) Resultados

Tabla N° 16: Densidad del Agregado Fino

Descripción de la Muestra - Densidad		
Peso de Picnómetro (gr.)	:	198.57
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	496.79
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire(gr.)	:	499.42
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	303.64
Gravedad Específica	:	2.54
Densidad (kg./m3)	:	2537.49

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 17: Porcentaje de Absorción del Agregado Fino

Descripción de la Muestra - Porcentaje de Absorción		
Peso de Picnómetro (gr.)	:	198.57
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	496.79
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire(gr.)	:	499.42
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	303.64
Porcentaje de Absorción	:	0.53%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 18: Densidad Relativa del Agregado Fino

Descripción de la Muestra - Densidad Relativa		
Peso de Picnómetro (gr.)	:	198.57
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	496.79
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire(gr.)	:	499.42
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	303.64
Gravedad Específica	:	2.57
Densidad Relativa (kg./m3)	:	2572.04

Fuente: Elaboración propia

4.1.6. Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos

a) Generalidades

El siguiente ensayo tiene como objeto:

[D]eterminar de la densidad de la masa (“Peso Unitario”) del agregado en condición suelto o compactado, y el cálculo de los vacíos entre partículas en agregados finos y gruesos (INDECOPI – NTP 400.017, 2011: p. 1).

b) Equipos y Herramientas

- Olla para Peso Unitario de agregado grueso con volumen de 9358 cm^3 y peso de 7245 gr.
- Olla para Peso Unitario de agregado fino con volumen de 2758 cm^3 y peso de 2726 gr.
- Balanza de Agregado Grueso
- Varilla de Acero Liso, con punta semiesférica ($5/8$ ” de diámetro y 24” de longitud).
- Pala
- Cucharón

Figura N° 35: Recipiente para Peso Unitario de Agregado Grueso



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 36: Recipiente para Peso Unitario de Agregado Fino



Fuente: Elaboración propia

c) Procedimiento

Peso Unitario Compactado

- Antes de realizar el ensayo, se realiza el muestreo de agregados y se tienen que llevar al horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas debido a que tienen que estar completamente secas.
- Se llena con agregado la tercera parte del recipiente y se acomoda la superficie para que sea constante.
- Se compacta dicha capa usando la varilla dando 25 golpes distribuidos idénticamente sobre la superficie en forma circular.
- Terminado el varillado, se procede a dar 12 golpes laterales al recipiente metálico con el martillo de goma para acomodar el agregado.
- Se repite la acción anterior para las dos capas que restan.
- En la última capa, se nivela con la regla metálica o con la misma varilla.
- En la compactación de la primera capa, se procura que la varilla no golpee con fuerza el fondo del recipiente y en el caso de las últimas dos, la varilla debe alcanzar solo la última capa de agregado colocado.
- Se registran los datos del peso del recipiente con el contenido del mismo.

Figura N° 37: Compactación de la primera capa de Agregado Grueso



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 38: Peso de la muestra compactada del Agregado Grueso



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 39: Compactación de la segunda capa de Agregado Fino



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 40: Peso de la muestra compactada del Agregado Fino



Fuente: Elaboración propia

Peso Unitario Suelto

- Antes de realizar el ensayo, se realiza el muestreo de agregados y se tienen que llevar al horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas debido a que tienen que estar completamente secas.
- Se llena el recipiente con una pala hasta rebosar.

- El agregado sobrante se enrasa con sumo cuidado con una regla metálica, evitando que el agregado se compacte.
- Se registra el peso del recipiente con el contenido del mismo.

Figura N° 41: Peso de la muestra suelta del Agregado Grueso



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 42: Peso de la muestra compactada del Agregado Fino



Fuente: Elaboración propia

d) Cálculos

Peso Unitario Compactado

$$PU \text{ Compactado} = \frac{W_{ac+r} - W_r}{V_r}$$

Peso Unitario Suelto

$$PU \text{ Suelto} = \frac{W_{as+r} - W_r}{V_r}$$

Donde:

- W_{ard} : Peso de la Muestra Compactada + Recipiente (gr, kg)
- W_{as+r} : Peso de la Muestra Suelta + Recipiente (gr, kg)
- W_r : Peso del Recipiente (gr, kg)
- V_r : Volumen del Recipiente (cm³, m³)

e) Resultados

Agregado Grueso

Tabla N° 19: Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Suelto		
Peso de la tara (gr.)	:	7245.00
Volumen de la tara (cm3)	:	9358.00
Peso de la tara (kg.)	:	7.245
Volumen de la tara (m3)	:	0.009358
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	21.02
Peso Unitario del Suelo (kg./m3)	:	1472.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 20: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Compactado		
Peso de la tara (gr.)	:	7245.00
Volumen de la tara (cm3)	:	9358.00
Peso de la tara (kg.)	:	7.245
Volumen de la tara (m3)	:	0.009358
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	22.24
Peso Unitario del Suelo (kg./m3)	:	1602.37

Fuente: Elaboración propia

Agregado Fino

Tabla N° 21: Peso Unitario Suelto del Agregado Fino

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Suelto		
Peso de la tara (gr.)	:	2726.00
Volumen de la tara (cm3)	:	2758.00
Peso de la tara (kg.)	:	2.726
Volumen de la tara (m3)	:	0.002758
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	7.48
Peso Unitario del Suelo (kg./m3)	:	1723.71

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 22: Peso Unitario Compactado del Agregado Fino

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Compactado		
Peso de la tara (gr.)	:	2726.00
Volumen de la tara (cm3)	:	2758.00
Peso de la tara (kg.)	:	2.726
Volumen de la tara (m3)	:	0.002758
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	7.82
Peso Unitario del Suelo (kg./m3)	:	1846.99

Fuente: Elaboración propia

4.2. Metodología de Diseño

La dosificación del concreto permeable no está del todo clara, ya que en la actualidad no se cuenta con suficientes fuentes de información para realizar una adecuada mezcla. Como se sabe, el concreto permeable difiere significativamente de un concreto convencional, debido a las funciones que desempeña y a las aplicaciones del mismo.

Para la dosificación del concreto permeable se utilizó los parámetros dados por la Norma ACI 522R-10, los cuales describen los rangos de las propiedades y características que debe cumplir la mezcla de un concreto permeable.

Es recomendable que tener ciertos datos antes de diseñar un concreto permeable, las cuales son los siguientes: contenido de vacíos, relación agua-cemento, peso específico de la grava y arena, peso unitario de la grava y arena, porcentaje de absorción, número de huso del agregado grueso (Huso N° 8 o N° 67) y el contenido de agregado fino (arena).

En la siguiente tabla se mostrará una síntesis de las propiedades y características de los agregados (grueso y fino), agua potable y cemento que se utilizaron para la realización de los diseños:

Tabla N° 23: Características y Propiedades de los Agregados

Agregado	T.M.N	MF	PU Compactado (kg/m ³)	PU Suelto (kg/m ³)	% Absorción	Peso Específico (kg/m ³)	Humedad (%)
Piedra Angulosa	3/4"	7.59	1602.37	1472	0.41%	2730.23	0.99
Arena	N° 4	2.85	1846.99	1723.71	0.53%	2537.49	0.62

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 24: Características y Propiedades del Cemento y Agua

	Marca	Tipo	P.E. (kg/m ³)
Cemento	SOL	ASTM-1	3.15
Agua	-	-	1.00

Fuente: Elaboración Propia

Para el mayor entendimiento, se describirá y explicará paso a paso la metodología descrita por la Norma ACI 522R-10 para la elaboración de mezclas de concreto permeable de la presente investigación:

4.2.1. Determinar el Peso del Agregado Grueso

En la norma ACI 522R-10, existe una tabla elaborada por Meininger (1988) la cual halla la relación entre volumen de agregado grueso y el volumen de concreto permeable mediante tres variables que se deben conocerse previamente, las cuales son: el huso del agregado grueso, el porcentaje del agregado fino que tendrá la mezcla y el grado de compactación que se empleará.

La tabla N° 25 contiene los valores de b/b_o para agregados gruesos de husos N° 8 y N° 67, con contenido de arena de 0%, 10% y 20 % del total de arena con respecto al total de agregado y un nivel de compactación, la cual es el bien compactado (ASTM C31). Donde:

- ✓ b/b_o : Volumen seco de agregado grueso compactado por volumen unitario de concreto
- ✓ b : Volumen sólido de agregado grueso por volumen unitario de concreto
- ✓ b_o : Volumen sólido de agregado grueso por volumen unitario de agregado grueso

Tabla N° 25: Relaciones de b/b_o respecto al Porcentaje de Agregado Fino y al N° de Huso de Agregado Grueso

Porcentaje de Agregado Fino (%)	b/b_o	
	ASTM C33/C33M Size No. 8	ASTM C33/C33M Size No. 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: ACI 522R-10 (2010), p. 13

Luego de obtener la variable b/b_o , se determina el peso del agregado (Waseco) mediante la siguiente fórmula:

$$W_{aseco} = P.U._{grava} * \frac{b}{b_o} * V_{total}$$

Donde:

- ✓ W_{aseco} : Peso del agregado seco (kg, lb)
- ✓ P.U. grava: Peso Unitario de la grava (kg/m³, lb/pie³)
- ✓ b/b_o : Volumen seco de agregado grueso compactado por volumen unitario de concreto
- ✓ V_{total} : Volumen total de diseño (m³, pie³)

4.2.2. Ajuste del Peso del Agregado

Calculado previamente el peso del agregado seco se procede a multiplicarlo por el porcentaje de absorción, hallado previamente en el ensayo de Densidad, Densidad Relativa y Absorción de Agregado Grueso (NTP 400.021), mediante la siguiente fórmula:

$$W_{ahumedo} = W_{aseco} * \%Abs$$

Donde:

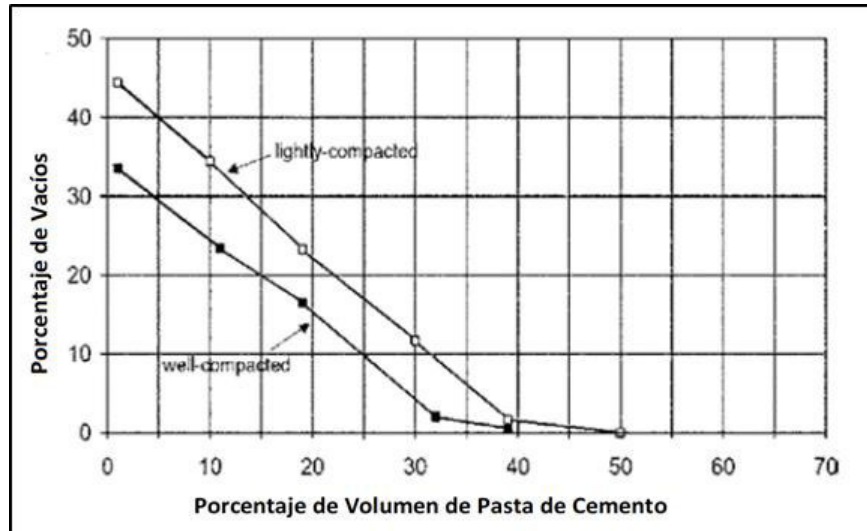
- ✓ $W_{ahumedo}$: Peso del agregado húmedo (kg, lb)
- ✓ W_{aseco} : Peso del agregado seco (kg, lb)
- ✓ %Abs: Porcentaje de absorción (%)

4.2.3. Determinar el Volumen de Pasta

Elegido el porcentaje de vacíos teórico que tendrá la mezcla y el tipo de compactación, se procede a ingresar los datos a la figura y proyectando el

porcentaje de vacíos se obtiene el porcentaje de volumen de pasta de cemento, la cual se multiplica por el volumen total de diseño.

Figura N° 43: Relación entre Porcentaje de Vacíos y Porcentaje de Volumen de Pasta de Cemento



Fuente: ACI 522R-10 (2010), p. 14

$$V_{pasta} = \% \text{ pasta} * V_{total}$$

Donde:

- ✓ V_{pasta} : Volumen de la pasta de cemento (m^3 , pie^3)
- ✓ $\% \text{pasta}$: Porcentaje de volumen de pasta de cemento (%)
- ✓ V_{total} : Volumen total de diseño (m^3 , pie^3)

4.2.4. Determinar el Contenido del Cemento

Obtenido el porcentaje de volumen de pasta de cemento, se sabe que:

$$V_{pasta} = V_c + V_w$$

$$V_{pasta} = \frac{W_c}{\gamma_c} + \frac{W_w}{\gamma_w}$$

$$V_{pasta} = \frac{W_c}{GE_c * \gamma_w} + \frac{W_w}{\gamma_w}$$

Teniendo la relación agua-cemento (a/c) y sabiendo el peso específico del agua y del cemento, se procede a despejar para obtener la fórmula del peso del cemento.

$$W_c = \frac{V_{pasta}}{\left(\frac{1}{GE_c} + \frac{a}{c}\right)} * \gamma_w$$

Donde:

- ✓ V_{pasta} : Volumen de la pasta de cemento (m³, pie³)
- ✓ V_c : Volumen del cemento (m³, pie³)
- ✓ W_c : Peso del cemento (kg, lb)
- ✓ γ_c : Peso Específico del cemento (kg/m³, lb/pie³)
- ✓ GE_c : Gravedad Específica del cemento = 3.15
- ✓ V_w : Volumen del agua (m³, pie³)
- ✓ W_w : Peso del agua (kg, lb)
- ✓ γ_w : Peso Específico del agua (kg/m³, lb/pie³) = 1000 kg/m³, 62.4 lb/pie³
- ✓ a/c: Relación agua-cemento

4.2.5. Determinar el Contenido de Agua

Determinado el peso del cemento y teniendo como dato la relación agua-cemento (a/c), se obtiene la siguiente ecuación:

$$W_w = W_c * a/c$$

Donde:

- ✓ W_w : Peso del agua (kg, lb)
- ✓ W_c : Peso del cemento (kg, lb)
- ✓ a/c: Relación agua-cemento

4.2.6. Determinar el Contenido de Arena

En caso de que el diseño tenga contenido de arena previamente definido, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$W_{arena} = W_{a_{h\u00famedo}} * \%_{Arena}$$

$$W_{grava} = W_{a_{h\u00famedo}} * (100\% - \%_{Arena})$$

Donde:

- ✓ W_{arena} : Peso de la arena (kg, lb)

- ✓ W_{grava} : Peso de la grava (kg, lb)
- ✓ $W_{húmedo}$: Peso del agregado húmedo (kg, lb)
- ✓ $\%_{arena}$: Porcentaje de arena = 0%, 10%, 20%

4.2.7. Determinar Volúmenes de los Materiales y Suma Total

Teniendo calculados los diferentes pesos de la dosificación, procedemos a calcular sus volúmenes mediante sus respectivos pesos específicos.

$$V_{grava} = \frac{W_{grava}}{\gamma_{grava}} = \frac{W_{grava}}{GE_{grava} * \gamma_w}$$

$$V_{arena} = \frac{W_{arena}}{\gamma_{arena}} = \frac{W_{arena}}{GE_{arena} * \gamma_w}$$

$$V_c = \frac{W_c}{\gamma_c} = \frac{W_c}{GE_c * \gamma_w}$$

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w}$$

Teniendo calculados los volúmenes se procede a calcular el volumen total mediante la suma de todos los volúmenes (en caso de que se le adicione al diseño una cantidad de aditivo, se le suma también el volumen de aditivo).

Sin agregado fino:

$$V_S = V_{grava} + V_c + V_w$$

Con agregado fino:

$$V_S = V_{grava} + V_{arena} + V_c + V_w$$

Donde:

- ✓ V_{grava} : Volumen de la grava (m^3 , pie^3)
- ✓ W_{grava} : Peso de la grava (kg, lb)
- ✓ GE_{grava} : Gravedad Específica de la grava
- ✓ V_{arena} : Volumen de la arena (m^3 , pie^3)
- ✓ W_{arena} : Peso de la arena (kg, lb)

- ✓ GE_{arena} : Gravedad Específica de la arena
- ✓ V_c : Volumen del cemento (m^3 , pie^3)
- ✓ W_c : Peso del cemento (kg, lb)
- ✓ γ_c : Peso Específico del cemento (kg/m^3 , lb/pie^3)
- ✓ GE_c : Gravedad Específica del cemento = 3.15
- ✓ V_w : Volumen del agua (m^3 , pie^3)
- ✓ W_w : Peso del agua (kg, lb)
- ✓ γ_w : Peso Específico del agua (kg/m^3 , lb/pie^3) = $1000 kg/m^3$, $62.4 lb/pie^3$

4.2.8. Comprobación del Porcentaje de Vacíos

Calculado la suma total de volúmenes de los materiales y el volumen total de diseño, se procede a corroborar si el porcentaje de vacíos se asemeja al teórico, mediante la siguiente fórmula:

$$\%vacíos = \frac{V_{total} - V_s}{V_{total}}$$

Donde:

- ✓ V_{total} : Volumen total de diseño (m^3 , pie^3)
- ✓ V_s : Volumen de sólidos (m^3 , pie^3)
- ✓ %vacíos: Porcentaje de vacíos (%)

4.3. Ensayos del Concreto en Estado Fresco

A continuación, se presentará la siguiente tabla que contiene un resumen de los ensayos del Concreto en Estado Fresco realizados con su respectiva Norma Técnica Peruana y su variante ASTM:

Tabla N° 26: Ensayos de Concreto en Estado Fresco con su respectiva NTP y ASTM

N° de Ensayo	Nombre del Ensayo	Norma	
		NTP	ASTM
1	Medición del Asentamiento del Concreto Fresco con Cono de Abrams	339.035	C143
2	Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto	339.033	C31

Fuente: Elaboración Propia

4.3.1. Medición de Asentamiento de Concreto Fresco con Cono de Abrams

a) Generalidades

El siguiente ensayo tiene como objeto:

[E]stablecer el método para la determinación del asentamiento de la mezcla de concreto en estado fresco (INDECOPI – NTP 339.035, 2015: p. 1).

También se busca corroborar el asentamiento cero para un concreto permeable en estado fresco.

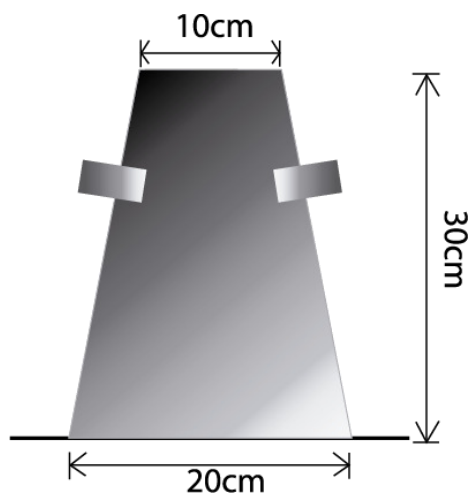
b) Equipos y Herramientas

– Molde de metal no atacable por pasta de cemento, llamado también Cono de Abrams, la cual debe tener un espesor mínimo de 1.5 mm. El molde debe tener la forma de un tronco de cono, con un diámetro en la base inferior de 20 cm (8 pulgadas), un diámetro superior de 10 cm (4 pulgadas) y una altura de 30 cm (12 pulgadas). La tolerancia de diámetros y alturas debe estar entre ± 3 cm y el interior debe ser relativamente liso y libre de protuberancias.

– Varilla de Acero Liso, con punta semiesférica (5/8" de diámetro y 24" de longitud) y Cucharón.

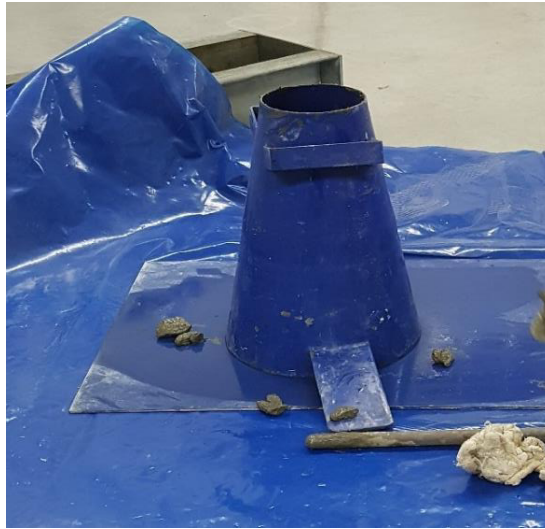
– Flexómetro, cuya longitud ser por lo menos de 3 metros.

Figura Nº 44: Dimensiones del Cono de Abrams



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 45: Cono de Abrams



Fuente: Elaboración Propia

c) Procedimiento

- Engrasar con petróleo la superficie interior del Cono de Abrams para evitar que el concreto se adhiera al mismo y humedecer la varilla para que su penetración sea más fácil.
- Poner de base una superficie plana de metal o un plástico no absorbente.
- Mantener firmemente el cono sobre la base o superficie, poniendo los dos pies sobre las aletas para que no se mueva durante el llenado.
- Llenar la tercera parte del cono con concreto y compactar la capa mediante 25 golpes con la varilla. La compactación se hace de forma helicoidal y mantener la intensidad en cada varillado.
- Repetir el paso anterior para las dos capas restantes.
- Para un mejor compactado, realizar golpes con el martillo de caucho.
- Levantar el cono de forma vertical en 5 a 7 segundos.
- Medir la distancia entre la altura del molde y el centro de la cara superior del concreto, con una aproximación de $\frac{1}{4}$ " o ($\frac{1}{2}$ cm).
- El tiempo máximo del ensayo debe durar 2 minutos y medio.

Figura N° 46: Llenado de Cono de Abrams con Concreto



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 47: Llenado Completo de Cono de Abrams con Concreto



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 48: Cono de Abrams firme durante el llenado



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 49: Slump 0 del Diseño 1 (Sin Finos)



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 50: Slump 1 del Diseño 2 (Con Finos)



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 51: Slump 1 del Diseño 3 (Con Finos)



Fuente: Elaboración Propia

4.3.2. Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto

a) Generalidades

El siguiente ensayo tiene como objeto:

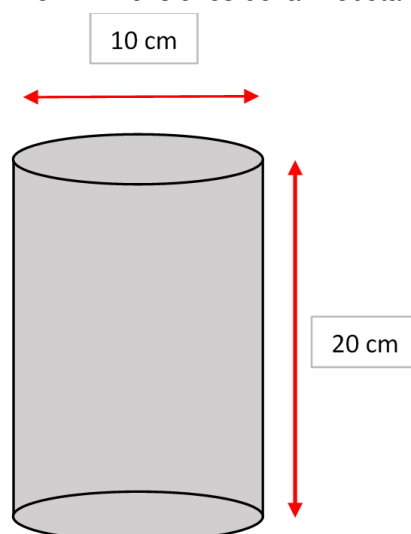
[E]stablecer los procedimientos para preparar y curar especímenes de forma cilíndrica y de viga, de muestras representativas de concreto (INDECOPI – NTP 339.033, 2015: p. 1).

Se elaboraron especímenes con moldes cilíndricos de 10 cm de diámetro y 20 cm de alto; y con moldes prismáticos de 15 cm de alto, 15 cm de ancho y 45 cm de largo, para la determinación de la resistencia a la compresión y de flexión, respectivamente.

b) Equipos y Herramientas

- Moldes cilíndricos, cuyas dimensiones son 10 cm de diámetro x 20 cm de alto. Dichos moldes pueden ser de plástico o acero.
- Moldes prismáticos, cuyas dimensiones son 15 cm de alto x 15 cm de ancho x 45 cm de largo. Dichos moldes pueden ser madera o acero.
- Bandeja de Acero Quirúrgico.
- Varilla de Acero Liso, con punta semiesférica (5/8" de diámetro y 24" de longitud). Pala y Cucharón.
- Mazo con cabeza de caucho cuya masa puede ser de 0.6 ± 0.2 kg.

Figura N° 52: Dimensiones de la Probeta Cilíndrica



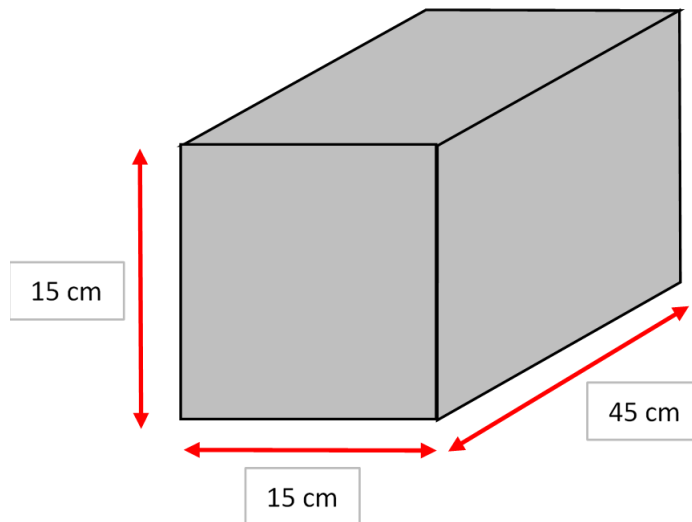
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 53: Molde Cilíndrico



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 54: Dimensiones de la Viga



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 55: Molde Prismático de Madera



Fuente: Elaboración Propia

c) Procedimiento

Elaboración de los Especímenes

- Antes del engrasado, procurar que los moldes y sus bases estén limpios y no tengan protuberancias.
- Engrasar con petróleo o desmoldante la superficie interior de los moldes para evitar que el concreto se adhiera al mismo y sea más fácil desencofrar el espécimen.
- Colocar los moldes en una superficie horizontal, lisa, rígida y libre de cualquier vibración.
- En el caso de las probetas cilíndricas, se llena con concreto hasta $\frac{1}{3}$ del molde y se varilla la capa dando 25 golpes distribuidos en toda el área de forma helicoidal y manteniendo la misma intensidad en cada golpe.
- Al finalizar la varillada de la capa, se golpea con el martillo de goma las paredes del molde aproximadamente de 10 a 15 veces.
- Repetir los pasos anteriores con las 2 capas restantes hasta el llenado de la probeta.
- Si existe concreto sobrante en la superficie superior de la probeta, enrasar con una regla metálica o la misma varilla para un mejor acabado.

- En el caso de las vigas, se llenará con concreto hasta la mitad del molde y se procederá a varillar dando 30 golpes distribuidos en toda la superficie de la viga.
- Al finalizar la varillada de la capa, se golpea con el martillo de goma las paredes del molde aproximadamente de 10 a 15 veces.
- Repetir los pasos anteriores para la capa restante hasta el llenado de la viga.
- Si existe concreto sobrante en la superficie superior del molde, enrasar con una regla metálica o la misma varilla para un mejor acabado.
- Las probetas y vigas elaboradas deben estar cuidadas por 24 horas antes de ser desencofradas.

Figura N° 56: Moldes Cilíndricos engrasados con petróleo



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 57: Moldes llenados con Concreto Permeable



Fuente: Elaboración Propia

Curado de los Especímenes

- Los especímenes deben ser desencofrados aproximadamente 24 horas después de su elaboración. También es permitido desencofrar de 18 a 20 horas después del vaciado.
- Posterior al desmolde, es recomendable identificarlas según la fecha, el diseño y/o algún otro tipo de dato.
- Se colocarán en una poza o piscina de curado con una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Es recomendable adicionarle cal al agua para que mantenga la temperatura.
- Antes de realizar un ensayo de concreto endurecido, sacar el espécimen del agua y dejarlo secar de 8 a 24 horas.

Figura N° 58: Primeros especímenes en la piscina de curado



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 59: Visualización de la Cal en la Piscina de Curado



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 60: Especímenes en la piscina de curado



Fuente: Elaboración Propia

4.4. Ensayos del Concreto en Estado Endurecido

A continuación, se presentará la siguiente tabla que contiene un resumen de los ensayos del Concreto en Estado Endurecido realizados con su respectiva Norma Técnica Peruana y su variante ASTM:

Tabla N° 27: Ensayos de Concreto en Estado Endurecido con su respectiva NTP y ASTM

N° de Ensayo	Nombre del Ensayo	Norma	
		NTP	ASTM
1	Determinación de la Resistencia a la Compresión del Concreto en Probetas Cilíndricas	339.034	C39
2	Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto en Vigas simplemente apoyadas	339.078	C78
3	Determinación de la Densidad y Contenido de Vacíos para Concreto Permeable Endurecido	-	C1754
4	Ensayo de Infiltración	ACI 522R-10	

Fuente: Elaboración Propia

4.4.1. Resistencia a la Compresión del Concreto

a) Generalidades

El siguiente ensayo tiene como objeto:

[D]eterminar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto (INDECOPI – NTP 339.034, 2015: p. 1).

b) Equipos y Herramientas

- Prensa Hidráulica Digital, Marca “Orion” y respectivamente calibrada.
- Platos de Retención, con almohadillas de neopreno.
- Vernier, para la medición exacta en milímetros de los diámetros de las probetas cilíndricas.

Figura N° 61: Prensa Hidráulica Digital



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 62: Platos de Retención



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 63: Vernier



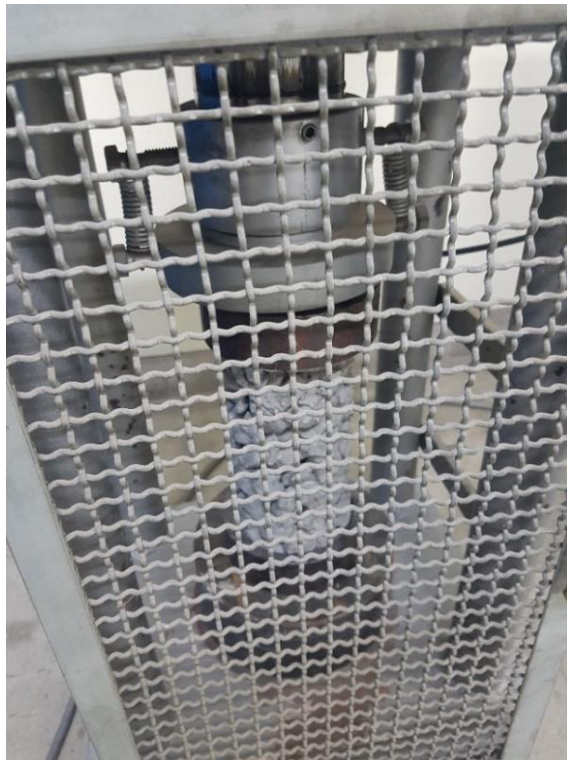
Fuente: Elaboración Propia

c) Procedimiento

- Antes de la realización del ensayo, las probetas tienen que ser removidas del lugar donde se están curando (poza o piscina) dependiendo el día de ensayo (7, 14 o 28 días).
 - Dejar secar las probetas de 5 a 24 horas aproximadamente.
 - Procurar que las superficies de contacto estén limpias.
 - Medir con el vernier los diámetros de las probetas de concreto.
- Se promedia los dos diámetros medidos en ángulos rectos uno del otro cerca de la mitad de la probeta.
- Colocar los platos de retención en los extremos de la probeta.
 - Colocar la probeta debajo de la prensa hidráulica y procurar que esté bien colocada.

- Verificar si la lectura inicial comienza desde cero y luego accionar la palanca de la prensa hidráulica para el comienzo del ensayo.
- Aplicar carga continua y uniformemente, cumpliendo que la rotura tiene que lograr un tiempo igual o superior a 100 segundos y la velocidad de aplicación de carga no debe exceder a $3,5 \text{ kg/cm}^2/\text{seg}$.
- Registrar la carga máxima (P) en kilogramos.
- Dividiendo la carga entre el área da como resultado la resistencia en kg/cm^2 .

Figura N° 64: Probeta en la Prensa Hidráulica



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 65: Rotura de la Probeta



Fuente: Elaboración Propia

4.4.2. Resistencia a la Flexión del Concreto en Vigas

a) Generalidades

El siguiente ensayo tiene como objeto:

[E]stablecer el procedimiento para la determinación de la resistencia a la flexión de vigas simplemente apoyadas, moldeadas con concreto ensayadas a los tercios de la luz (INDECOPI – NTP 339.078, 2012: p. 1).

b) Equipos y Herramientas

- Prensa Hidráulica Digital para Flexión de vigas de Concreto, Marca “Orion” y respectivamente calibrada.
- Flexómetro o Cinta Métrica o Wincha, cuya longitud ser por lo menos de 3 metros.

Figura N° 66: Prensa Hidráulica Digital para Flexión



Fuente: Elaboración Propia

c) Procedimiento

- Antes de la realización del ensayo, las vigas tienen que ser removidas del lugar donde se están curando (poza o piscina) dependiendo el día de ensayo (7, 14 o 28 días).
 - Dejar secar las vigas de 5 a 24 horas aproximadamente.
 - Procurar que las superficies de contacto estén limpias.
 - Antes de la colocación, medir 15 cm del extremo de la viga hacia el centro y marcar una línea recta paralela al ancho de la viga, esto se marca debido a que la línea tiene que concordar con la sección de carga. Repetir lo mismo para el otro extremo.
- Colocar la viga dentro de la prensa hidráulica y procurar que los extremos de la viga descansen sobre los apoyos a una distancia de 2.5 cm o mayor con respecto a las líneas de apoyo. También alinear las líneas rectas con las secciones de carga.

- Aplicar carga uniforme y continuamente, cumpliendo que la rotura logre llegar a un tiempo igual o superior a 300 segundos.
- Registrar la carga máxima (P) expresada en kg.
- Después de la rotura, medir el ancho y alto de las dos partes de la viga y sacar un promedio de ambas para aplicarla en la fórmula.

d) Cálculos

$$MR = \frac{\text{Carga} \times \text{Long. de Separación en Apoyos}}{\text{Ancho} \times \text{Alto}^2}$$

Donde:

- MR: Módulo de Rotura (kg/cm²)
- Carga en kg
- Longitud de Separación en Apoyos en cm
- Ancho: Promedio de los anchos de las dos partes de la viga (cm)
- Alto: Promedio de los altos de las dos partes de la viga (cm)

Figura N° 67: Viga en Prensa Hidráulica Digital para Flexión



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 68: Rotura de Viga



Fuente: Elaboración Propia

4.4.3. Densidad y Contenido de Vacíos para Concreto Permeable Endurecido

a) Generalidades

El siguiente ensayo tiene como objeto:

[E]stablece el procedimiento para determinar la densidad y el contenido de vacíos de especímenes de concreto permeable en estado endurecido (ASTM C1754, 2012: p. 1).

La norma ASTM C1754 (2012) presenta las siguientes consideraciones que se tienen que cumplir antes de realizar el ensayo, las cuales son:

Este ensayo solo se aplica para mezclas de concreto permeable que contienen un agregado grueso con un máximo tamaño nominal de 25 mm (1 pulg.) o menor.

Este método de ensayo aplica ya sea para núcleos de especímenes (testigos) o para cilindros moldeados.

La densidad y contenido de vacíos determinado por otros métodos de ensayo pueden producir diferentes valores numéricos, los cuales no pueden ser comparables.

Este método de ensayo permite escoger uno de los dos diferentes métodos de secado. Se debe tomar en consideración lo siguiente para escoger el Método de Secado A o B.

Método de secado A utiliza una temperatura baja para determinar la masa constante en seco del espécimen permeable, utilizar una masa constante en seco puede tomar hasta una semana o más. El método de secado B utiliza una temperatura mucho más alta y por lo tanto la masa constante en seco se alcanza a una velocidad mucho más rápida.

Los especímenes ensayados utilizando el Método de Ensayo B no deben ser utilizados para determinar otras propiedades del

concreto permeable. Si se determinarán otras propiedades físicas del espécimen, tales como la resistencia o la infiltración, se debe utilizar el Método de Secado A para el ensayo.

El método de ensayo B puede producir densidades menores y por lo tanto un correspondiente aumento de contenido de vacíos que en el método de secado A. Los resultados de los dos métodos de ensayo deben ser tratados por separado y no deben combinarse. Al repetir los ensayos del mismo espécimen utilizando el método de secado A, se ha demostrado que se producen resultados no similares. Únicamente el primer conjunto de resultados debe ser considerado (ASTM C1754, 2012: p. 1).

b) Equipos y Herramientas

- Flexómetro o Cinta Métrica o Wincha, cuya longitud ser por lo menos de 3 metros y Vernier.
- Balanza y Cesta de enmallado.
- Baño de agua, con dimensiones suficientemente grandes como para permitir que un espécimen pueda ser saturado y posteriormente ser colocado dentro de un contenedor suspendido debajo de la balanza sin ser removido del agua.
- Horno, con suficiente tamaño capaz de mantener una temperatura uniforme de $38 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ($100 \pm 5 \text{ }^\circ\text{F}$) para el método de secado A o $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230 \pm 10 \text{ }^\circ\text{F}$) para el método de secado B.
- Mazo de caucho cuya masa puede ser de $0.6 \pm 0.2 \text{ kg}$.

Figura N° 69: Balde utilizado como Baño de Agua, Balanza y Canastilla



Fuente: Elaboración Propia

c) Procedimiento

- Determinar la longitud promedio de la probeta cilíndrica utilizando la cinta métrica y registrarla con una aproximación de 0.25 mm.
- Determinar el diámetro promedio de la probeta cilíndrica con una aproximación de 0.25 mm por medio del promedio de dos diámetros medidos en ángulos rectos uno del otro cerca de la mitad del espécimen utilizando el vernier.
- Determinar la masa constante en seco de la probeta. Secar el espécimen utilizando uno de los dos métodos siguientes:
 - Método de secado A: se seca la probeta en el horno a una temperatura de 38 ± 3 °C por 24 ± 1 h. Posteriormente, se retira del horno y se determina la masa. Regresar el espécimen al horno por 24 ± 1 h y nuevamente determinar la masa. Repetir este procedimiento en incrementos de 24 h hasta que la diferencia entre cualquiera de dos determinaciones de masa subsecuentes sea menor que 0.5 %. Registrar esta masa en seco como A.
 - Método de secado B: se seca la probeta en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C por 24 ± 1 h. Permitir que el espécimen se enfríe con el aire a una temperatura ambiente durante 1 a 3 h, o hasta que el espécimen se haya enfriado a una temperatura cómoda para manejarse (aproximadamente 50 °C) y determinar su masa. Regresar el espécimen al horno por dos horas, y nuevamente determinar la masa después del periodo de enfriamiento. Repetir este procedimiento en incrementos de dos horas hasta que la diferencia entre dos determinaciones de masas sea menor que 0.5%. Registrar esta masa en seco como A.
- Antes de sumergir la probeta se prepara la cesta de enmallado, la cual tiene que estar colocado a un gancho de acero que conecta con la balanza. La balanza tiene que estar en una superficie plana y rígida.
- Sumergir la cesta y estabilizarla para que no afecte el peso de la muestra. Tarar el peso de la cesta y el gancho.
- Sumergir completamente la probeta junto con la cesta en el baño o balde de agua y dejarlo reposar verticalmente durante 30 ± 5 min.

- Golpear levemente con el mazo 10 veces a la probeta mientras esté bajo el agua, sumergiendo completamente el mazo por debajo del agua para la liberación de burbujas. Rotar la probeta ligeramente luego de cada golpe para que los golpes sean distribuidos uniformemente.
- Manteniendo a la probeta sumergida, determinar la masa sumergida B, con una aproximación de 0.5 g.

Figura N° 70: Lectura del Peso Sumergido de una Probeta



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 71: Probeta Sumergida



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 72: Lectura del Peso Seco de una Probeta



Fuente: Elaboración Propia

d) Cálculos

Densidad

$$Densidad (kg/m^3) = \frac{K \times A}{D^2 \times L}$$

Donde:

- K: En unidades SI equivale a 1'274,240 (mm³kg/m³g)
- A: Masa en Seco del Probeta (gr)
- D: Diámetro Promedio de la Probeta (mm)
- L: Longitud Promedio de la Probeta (mm)

Contenido de Vacíos

$$Contenido de Vacíos (\%) = \left[1 - \left(\frac{K \times (A - B)}{\rho_w \times D^2 \times L} \right) \right] \times 100$$

Donde:

- B: Masa Sumergida de la Probeta (gr)
- ρ_w : Densidad del agua a la temperatura del baño de agua (kg/m³)

4.4.4. Ensayo de Infiltración

a) Generalidades

El siguiente ensayo tiene como objeto:

[D]eterminar la infiltración de las probetas cilíndricas de concreto permeable a través del permeámetro de Neithalath y verificar si cumple con los parámetros descritos por el ACI 522R-10 (ACI 522R-10, 2010: p. 10).

b) Equipos y Herramientas

- Permeámetro de carga variable.
- Cronómetro.

Figura N° 73: Permeámetro de Carga Variable



Fuente: Elaboración Propia

c) Procedimiento

- Para dicho ensayo, se procederá a reducir la altura de la probeta cortándolo 5 cm, para sí conseguir probetas de 15 cm de altura y 10 cm de diámetro.
- Para preparar la muestra a ensayar, se envuelve con una membrana de látex o cualquier material que evite la fuga de agua. En este caso se usó plástico de botella para envolver la muestra.

- Colocar la muestra a ensayar en la parte inferior del permeámetro de carga variable. Se puede ajustar y unir la muestra con el permeámetro con la ayuda de teflón y/o abrazaderas, así también cumplen la función de evitar fugas.
- Colocar la parte superior del permeámetro (Tubo de 4" o 95 mm) y unirlo con la probeta mediante teflón y/o abrazaderas.
- Verificar que el permeámetro no tenga fugas y proceder al llenado de la misma.
- Se deja rebalsar el tubo o niple de la parte donde no se encuentra la muestra y cerrar la válvula tipo bola.
- Saturar la muestra hasta llegar a la altura h_1 , en este caso es de 30 cm.
- Abrir la válvula tipo bolar y comienza la descarga, en ese momento se inicia el conteo del tiempo,
- Cuando termine de rebalsar el tubo, finaliza el conteo del tiempo y se mide la altura h_2 .

Figura N° 74: Probeta en Permeámetro de Carga Variable



Fuente: Elaboración Propia

d) Cálculos

Coeficiente de Permeabilidad

$$K = \frac{L \times a}{t \times A} \times \ln\left(\frac{h1}{h2}\right)$$

Donde:

- K: Coeficiente de Permeabilidad (cm/s)
- t: Tiempo de transición de h1 a h2 (s)
- L: Longitud de la probeta (cm)
- a: Área de tubería de carga (cm²)
- A: Área de la muestra (cm²)
- h1: Altura de Carga Superior antes del drenaje (cm)
- h2: Altura de Carga Superior después del drenaje (cm)

CAPÍTULO V RESULTADOS

5.1. Análisis del Slump

Se realizó el ensayo de medición del asentamiento del concreto permeable en estado fresco con Cono de Abrams y se obtuvieron diferentes asentamientos las cuales se resumen mediante la siguiente tabla:

Tabla N° 28: Análisis de Slump del Concreto Permeable

Diseño	Slump < 1/2"
DISEÑO N° 1 - %vacíos = 15% - SIN FINOS	SI
DISEÑO N° 2 - %vacíos = 15% - CON FINOS = 20%	NO
DISEÑO N° 3 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 20%	NO
DISEÑO N° 4 - %vacíos = 20% - CON FINOS = 20%	NO
DISEÑO N° 5 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 10%	SI

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla N° 27 se puede observar que los diseños con poca o nula presencia de agregado fino se mantienen menores a 1/2" por qué conservan su propiedad de "Cero Slump". Los diseños que contienen arena suelen asentarse más de 1/2", debido a que la presencia de la misma causa que el agregado grueso, al ser un material granular y de mayor tamaño, se asiente con mayor rapidez.

5.2. Análisis de la Resistencia a la Compresión

Se realizó el ensayo de la determinación de la Resistencia a la Compresión de un concreto permeable en estado endurecido, donde se obtuvieron las cargas máximas que los especímenes (un total de 30 probetas) soportaron al ensayarlos en la Prensa Hidráulica Digital. En la siguiente tabla se mostrará un resumen de las resistencias de compresión de cada uno de los especímenes ensayados.

Tabla N° 29: Especímenes ensayados con su respectiva resistencia a la compresión

DISEÑO	DÍAS	ESPECÍMENES	R	R prom
DISEÑO N° 1 %vacíos = 15% SIN FINOS	7 DÍAS	P1-A	23.91	24.13
		P1-B	24.35	
	14 DÍAS	P1-C	25.05	27.06
		P1-D	29.07	
	28 DÍAS	P1-E	41.37	51.30
		P1-F	61.23	
DISEÑO N° 2 %vacíos = 15% CON FINOS = 20%	7 DÍAS	P2-A	64.12	65.56
		P2-C	67.00	
	14 DÍAS	P2-E	62.42	70.96
		P2-F	79.50	
	28 DÍAS	P2-G	103.86	103.26
		P2-H	102.67	
DISEÑO N° 3 %vacíos = 10% CON FINOS = 20%	7 DÍAS	P3-A	59.87	65.17
		P3-C	70.47	
	14 DÍAS	P3-D	107.16	113.17
		P3-E	119.19	
	28 DÍAS	P3-F	107.65	120.72
		P3-G	133.79	
DISEÑO N° 4 %vacíos = 20% CON FINOS = 20%	7 DÍAS	P4-A	38.22	34.18
		P4-B	30.14	
	14 DÍAS	P4-C	38.02	40.55
		P4-D	43.08	
	28 DÍAS	P4-E	53.60	57.75
		P4-F	61.89	
DISEÑO N° 5 %vacíos = 10% CON FINOS = 10%	7 DÍAS	P5-A	111.44	107.22
		P5-B	103.00	
	14 DÍAS	P5-C	141.54	134.76
		P5-D	127.97	
	28 DÍAS	P5-E	175.25	177.98
		P5-F	180.72	

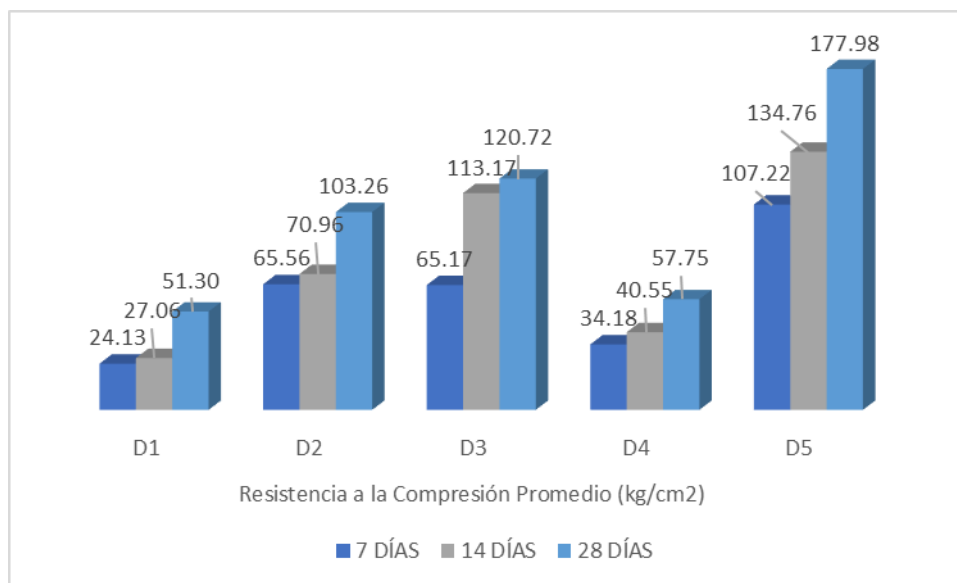
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 30: Resumen de la Resistencia a la compresión en relación a la edad de ensayo

Edad de Ensayo	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm ²)				
	D1	D2	D3	D4	D5
7 DÍAS	24.13	65.56	65.17	34.18	107.22
14 DÍAS	27.06	70.96	113.17	40.55	134.76
28 DÍAS	51.30	103.26	120.72	57.75	177.98

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 1: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los diseños

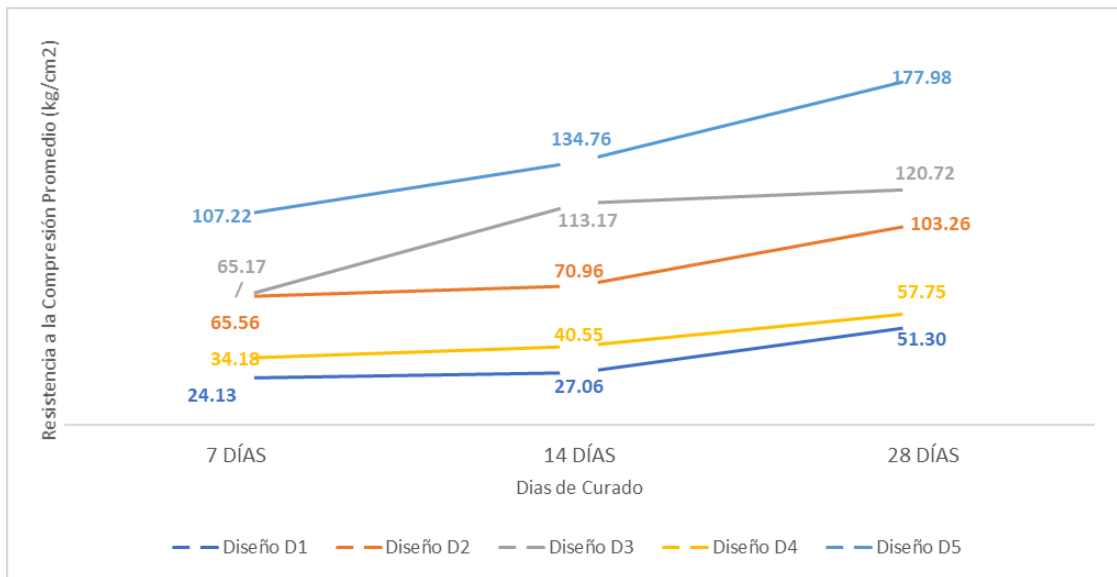


Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla N° 30 y el Gráfico N° 1, la resistencia a la compresión aumenta progresivamente al pasar de los días de curado. Para los 7 días de curado, se observa que la más baja resistencia le corresponde al Diseño 1, esto es debido a que dicho diseño no posee agregado fino y por ende tiene poca resistencia. También se observa que la mayor resistencia a la compresión le corresponde al Diseño 5, la cual tiene 10% de agregado fino y por ende, tiene más agregado grueso y cemento la cual le brinda dicha resistencia. En los 14 días se observa que el mayor aumento de resistencia lo obtuvo el Diseño 3, casi el doble de su predecesora. En 28 días se logró una resistencia a la compresión de 177.98 kg/cm² por parte del Diseño 5, la cual es la máxima resistencia lograda de los diseños.

En el siguiente gráfico se mostrarán las resistencias promedio obtenidas con respecto a los días de curado.

Gráfico N° 2: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los días de curado



Fuente: Elaboración Propia

5.3. Análisis de la Resistencia a la Flexión

Se realizó el ensayo de la determinación de la Resistencia a la Flexión de un concreto permeable en estado endurecido, donde se obtuvieron las cargas máximas que los especímenes (un total de 24 vigas) soportaron al ensayarlos en la Prensa Hidráulica Digital. En la siguiente tabla se mostrará un resumen de las resistencias de flexión de cada uno de los especímenes ensayados.

Tabla N° 31: Especímenes ensayados con su respectiva resistencia a la flexión

DISEÑO	DÍAS	ESPECÍMENES	MR (Kg/cm2)	MR prom
DISEÑO N° 1 %vacíos = 15% SIN FINOS	7 DÍAS	V1-A	9.36	9.85
		V1-B	10.35	
	14 DÍAS	V1-C	15.20	15.38
		V1-D	15.55	
	28 DÍAS	V1-E	22.02	22.35
		V1-F	22.68	
DISEÑO N° 2 %vacíos = 15% CON FINOS = 20%	7 DÍAS	V2-A	21.56	19.89
		V2-B	18.22	
	14 DÍAS	V2-C	23.49	21.54
		V2-D	19.59	
	28 DÍAS	V2-E	31.87	30.29
		V2-F	28.71	
DISEÑO N° 3 %vacíos = 10% CON FINOS = 20%	7 DÍAS	V3-A	21.33	22.73
		V3-B	24.13	
	14 DÍAS	V3-C	28.97	31.48
		V3-D	33.98	
	28 DÍAS	V3-E	26.56	32.50
		V3-F	38.44	
DISEÑO N° 4 %vacíos = 20% CON FINOS = 20%	28 DÍAS	V4-A	11.45	17.08
		V4-B	22.72	
DISEÑO N° 5 %vacíos = 10% CON FINOS = 10%	14 DÍAS	V5-A	30.12	29.94
		V5-B	29.76	
	28 DÍAS	V5-C	38.69	45.07
		V5-D	51.46	

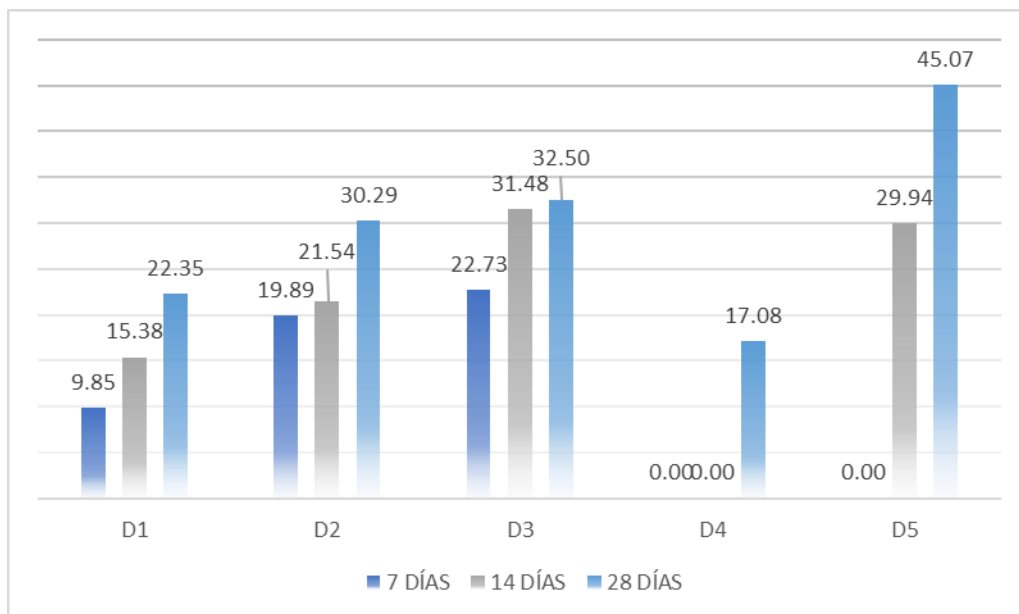
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 32: Resumen de la Resistencia a la compresión en relación a la edad de ensayo

Edad de Ensayo	Resistencia a la Flexión Promedio (kg/cm2)				
	D1	D2	D3	D4	D5
7 DÍAS	9.85	19.89	22.73	-	-
14 DÍAS	15.38	21.54	31.48	-	29.94
28 DÍAS	22.35	30.29	32.50	17.08	45.07

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 3: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los diseños



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla N° 32 y el Gráfico N° 3, la resistencia a la flexión aumenta progresivamente al pasar de los días de curado. Para los 7 días de curado, se observa que la más baja resistencia le corresponde al Diseño 1, esto es debido a que dicho diseño no posee agregado fino y por ende tiene poca resistencia. En los 14 días se observa que la mayor resistencia a la flexión o Módulo de Rotura pertenece al Diseño 3 que es 31.48 kg/cm², cerca le sigue el Diseño 5 con 29.94 kg/cm². En 28 días se logró una resistencia a la flexión de 45.07 kg/cm² por parte del Diseño 5, la cual es la máxima resistencia lograda de los diseños.

5.4. Análisis de la Relación de Vacíos y Densidad

Se realizó el ensayo de la determinación de la Densidad y Relación de Vacíos de un concreto permeable en estado endurecido, donde se aplicó el procedimiento normado. En la siguiente tabla se mostrará un resumen de lo calculado:

Tabla Nº 33: Densidad y Relación de Vacíos de los especímenes

DISEÑO	ESPECÍMENES	CONTENIDO DE VACÍOS TEÓRICO	DENSIDAD (kg/m ³)		CONTENIDO DE VACÍOS	
			DENSIDAD	PROM	% VACÍOS	PROM
DISEÑO Nº 1 %vacíos = 15% SIN FINOS	P1-A	15.00%	1804.00	1800.42	29.55%	29.43%
	P1-B	15.00%	1796.84		29.31%	
	P1-C	15.00%	1789.05	1815.14	32.21%	31.64%
	P1-D	15.00%	1841.24		31.07%	
	P1-E	15.00%	1754.90	1934.74	33.45%	25.92%
	P1-F	15.00%	2114.59		18.39%	
DISEÑO Nº 2 %vacíos = 15% CON FINOS = 20%	P2-A	15.00%	1965.23	1911.16	21.13%	25.15%
	P2-C	15.00%	1857.09		29.18%	
	P2-E	15.00%	1989.05	2046.50	21.13%	18.87%
	P2-F	15.00%	2103.95		16.61%	
	P2-G	15.00%	2201.49	2183.40	15.67%	15.26%
	P2-H	15.00%	2165.30		14.85%	
DISEÑO Nº 3 %vacíos = 10% CON FINOS = 20%	P3-A	10.00%	1935.30	1991.41	23.80%	21.75%
	P3-C	10.00%	2047.52		19.69%	
	P3-D	10.00%	2079.85	2056.73	15.85%	17.61%
	P3-E	10.00%	2033.60		19.37%	
	P3-F	10.00%	2150.61	2095.10	12.02%	15.28%
	P3-G	10.00%	2039.59		18.54%	
DISEÑO Nº 4 %vacíos = 20% CON FINOS = 20%	P4-A	20.00%	2011.11	1989.50	22.28%	23.25%
	P4-B	20.00%	1967.90		24.23%	
	P4-C	20.00%	2128.80	2059.93	16.62%	21.36%
	P4-D	20.00%	1991.06		26.11%	
	P4-E	20.00%	1916.61	2012.04	28.64%	25.54%
	P4-F	20.00%	2107.47		22.44%	
DISEÑO Nº 5 %vacíos = 10% CON FINOS = 10%	P5-A	10.00%	2121.95	2114.07	15.44%	15.22%
	P5-B	10.00%	2106.19		14.99%	
	P5-C	10.00%	2233.12	2191.18	14.46%	16.04%
	P5-D	10.00%	2149.24		17.61%	
	P5-E	10.00%	2192.22	2143.24	16.21%	19.04%
	P5-F	10.00%	2094.26		21.87%	

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar, los porcentajes de vacíos no coinciden con el teórico y es porque cada espécimen es diferente y fue elaborado de diferente manera que los otros, algunas razones podrían ser el varillado, el diámetro del agregado grueso, contenido de finos, etc.

5.5. Análisis de la Permeabilidad

Se realizó el ensayo de Permeabilidad o Infiltración de Agua mediante el Permeámetro de Carga Variable de Neithalath para concreto permeable en estado endurecido a 28 días de curado, donde se aplicó el procedimiento según el ACI 522R-10. En la siguiente tabla se mostrará un resumen de lo calculado:

Tabla N° 34: Permeabilidad de los especímenes

DISEÑO	ESPECÍMENES	K (cm/s)	K prom(cm/s)
DISEÑO N° 1 %vacíos = 15% SIN FINOS	P1-E	1.18	0.91
	P1-F	0.64	
DISEÑO N° 2 %vacíos = 15% CON FINOS = 20%	P2-G	0.30	0.23
	P2-H	0.15	
DISEÑO N° 3 %vacíos = 10% CON FINOS = 20%	P3-F	0.28	0.27
	P3-G	0.26	
DISEÑO N° 4 %vacíos = 20% CON FINOS = 20%	P4-E	0.60	0.54
	P4-F	0.47	
DISEÑO N° 5 %vacíos = 10% CON FINOS = 10%	P5-E	0.14	0.20
	P5-F	0.26	

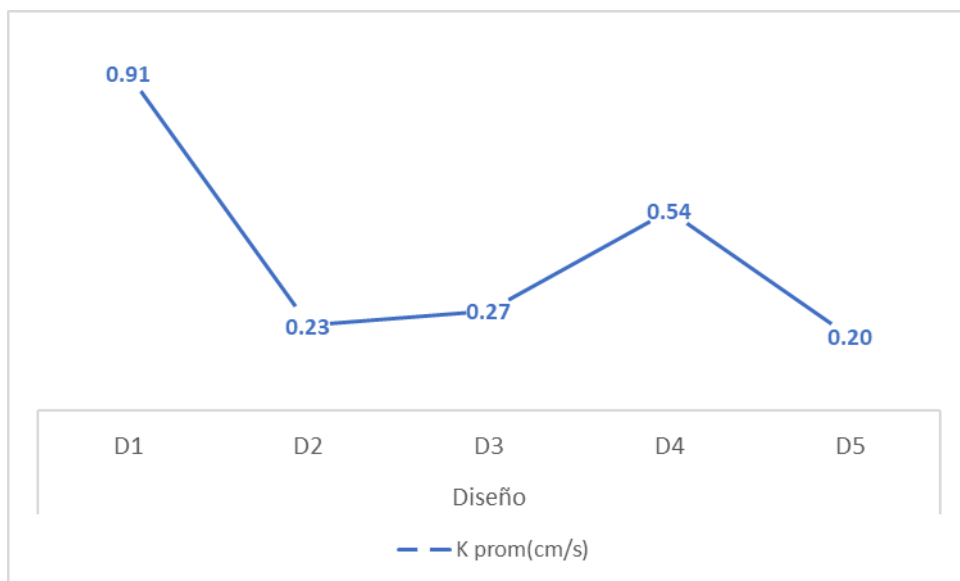
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 35: Permeabilidad Promedio de los especímenes

K prom (cm/s)				
D1	D2	D3	D4	D5
0.91	0.23	0.27	0.54	0.20

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 4: Permeabilidad promedio con respecto al diseño de especímenes



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla N° 35 y el Gráfico N° 4, la permeabilidad en el Diseño 1 es la más alta que las demás debido a que solo posee agregado grueso y por ende tiene más volumen de vacíos, lo cual drena el agua a través de su estructura. El que tiene menor permeabilidad es el Diseño 5, la cual posee finos y más cemento que los otros diseños, por ende, su volumen de vacíos es inferior a los demás y no permite que se drene el agua con facilidad.

5.6. Turnitin

El programa Turnitin es una herramienta que ayuda a verificar si la tesis o investigación a analizar ha sido una copia de otra y muestra un porcentaje de similitud con otras. También ayuda al estudiante a ver sus errores de citación así como corregir las palabras, frases o párrafos que son extraídas de otras fuentes.

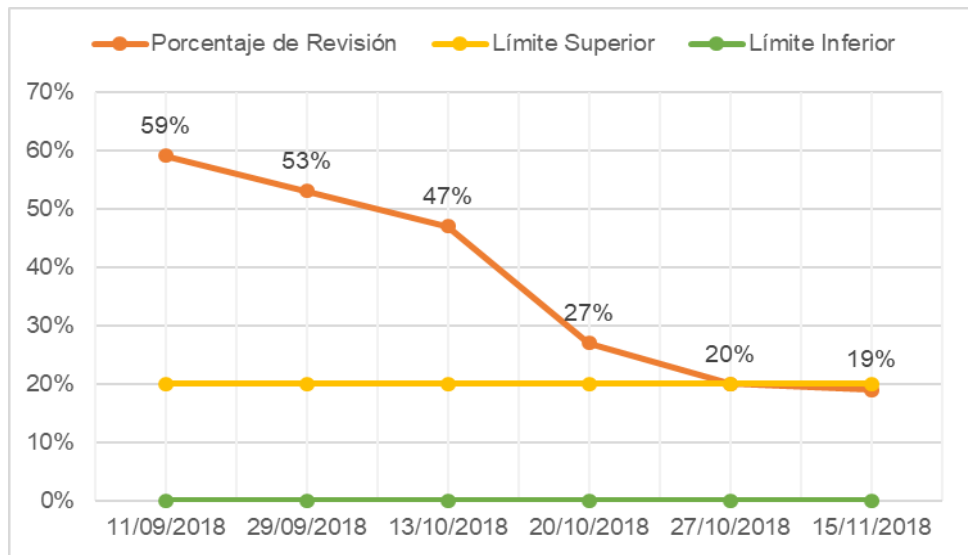
A lo largo del desarrollo de la tesis se ha usado dicho programa para ver el porcentaje de similitud que hay con otras tesis, la cual se resume mediante la siguiente tabla:

Tabla N° 36: Fechas y Porcentajes de Revisión del Turnitin

Fechas de Revisión TURNITIN					
11/09/2018	29/09/2018	13/10/2018	20/10/2018	27/10/2018	15/11/2018
59%	53%	47%	27%	20%	19%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5: Gráfica de Control de los Porcentajes de Turnitin respecto a su fecha



Fuente: Elaboración Propia

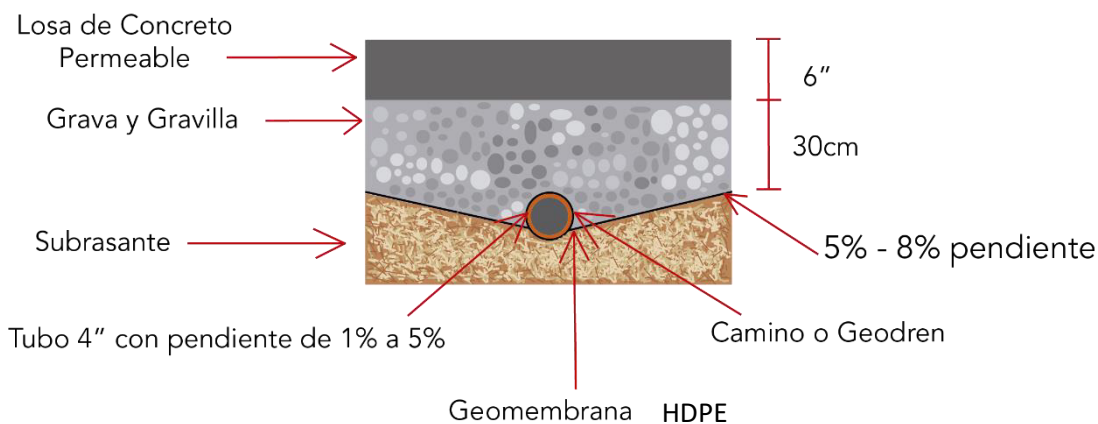
Se elaboró una Gráfica de Control (Gráfico N° 5) con los resultados de la Tabla N° 36, la cual permite observar si los resultados están bajo control y detectar las anomalías para posteriormente corregirlas. Por ejemplo, en el Gráfico N° 5 se encuentran seis fechas (Ver Anexo 11, 12, 13, 14, 15 y 16) en las que se usó Turnitin, teniendo las cuatro primeras fuera del límite superior, la penúltima en el límite y la última debajo de la misma.

También se puede ver una disminución de porcentaje progresivamente con el pasar de los días y teniendo como último resultado el 20%, la cual pertenece a la fecha del 15 de noviembre del 2018. Dicho resultado cumple con los requisitos para la presentación de la investigación.

5.7. Propuesta de Diseño de Pavimento Rígido

Se propone un diseño de Pavimento Rígido Permeable, la cual es presentada mediante la siguiente figura:

Figura N° 75: Propuesta de Pavimento Rígido Permeable



Fuente: Elaboración Propia

Donde:

- Losa de Concreto Permeable, de 6 pulgadas de espesor o de 15 centímetros.
- Base de Grava o gravilla, que son materiales granulares que permiten la infiltración de agua a través de ellos. Dicha base tendrá de espesor 30 centímetros y con una pendiente con respecto a la sub base de 5 a 8%.
- Geomembrana HDPE, es un geosintético para la contención de desechos líquidos o sólidos. Está hecho de polímeros como el polietileno de alta intensidad (HDPE). Colocado debajo de la base a una pendiente de entre 5 a 8%, la cual permite que el agua corra hasta el tubo de drenaje sin desechos.
- Tubo de 4" con una línea de pequeñas aberturas en su superficie. Colocado con una pendiente de 1 a 5% para que fluya el agua.
- Camino o Geodren, es la abertura donde está colocado el tubo de 4".
- Subrasante, la cual puede ser un suelo natural o afirmado.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

6.1. Contraste de Hipótesis

Los resultados de la investigación fueron contrastados con la hipótesis de la misma, las cuales se pueden resumir de la siguiente manera:

6.1.1. Hipótesis General

Diseñando un Pavimento Rígido Permeable según la Norma ACI 522R-10, se evacúa las aguas pluviales.

Tabla N° 37: Contraste de Variables con la Hipótesis General

Variables	Contraste con la Hipótesis General
Resistencia a la Compresión	Si cumple
Resistencia a la Flexión	Si cumple
Contenido de Vacíos	Si cumple
Infiltración de Agua	Si cumple

Elaboración Propia

Como se puede observar en la Tabla N° 37, las variables se cumplen y se explicarán cada una en la contrastación de las hipótesis específicas.

6.1.2. Hipótesis Específicas

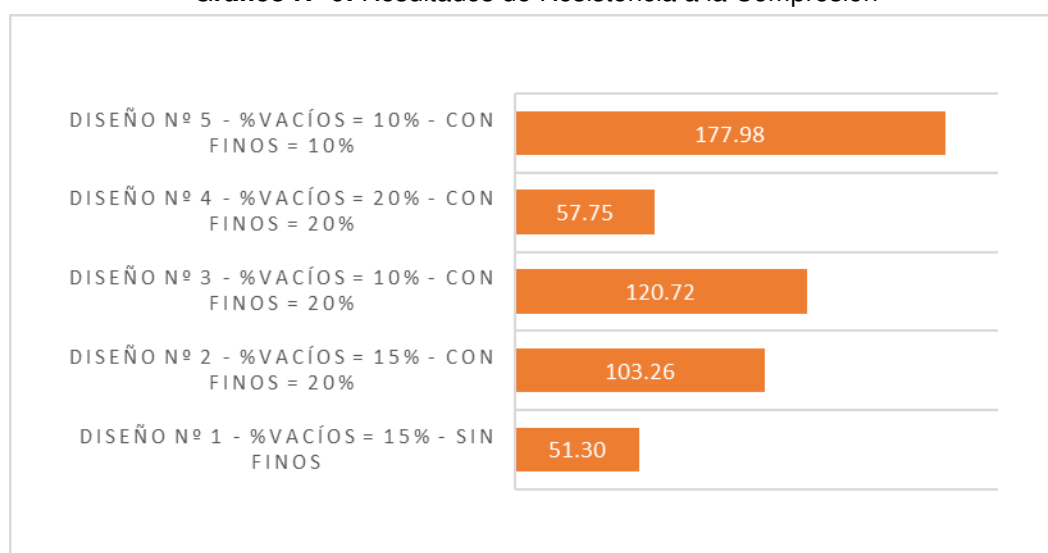
- Determinando **la resistencia a la compresión** según la Norma NTP 339.034, se diseña un Pavimento Rígido Permeable.

Tabla N° 38: Resultados de Resistencia a la Compresión

Diseño	f'c (kg/cm ²)
DISEÑO N° 1 - %vacíos = 15% - SIN FINOS	51.30
DISEÑO N° 2 - %vacíos = 15% - CON FINOS = 20%	103.26
DISEÑO N° 3 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 20%	120.72
DISEÑO N° 4 - %vacíos = 20% - CON FINOS = 20%	57.75
DISEÑO N° 5 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 10%	177.98

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6: Resultados de Resistencia a la Compresión



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la Tabla N° 38 y el Gráfico N° 6, el diseño óptimo para la elaboración de un pavimento rígido permeable es el Diseño N° 5, debido que al determinar la resistencia a la compresión de dicho diseño a 28 días de curado tuvo como resultado 177.98 kg/cm², cumpliendo la resistencia mínima para un pavimento especial (175 kg/cm²) y por lo tanto, cumpliendo la hipótesis específica.

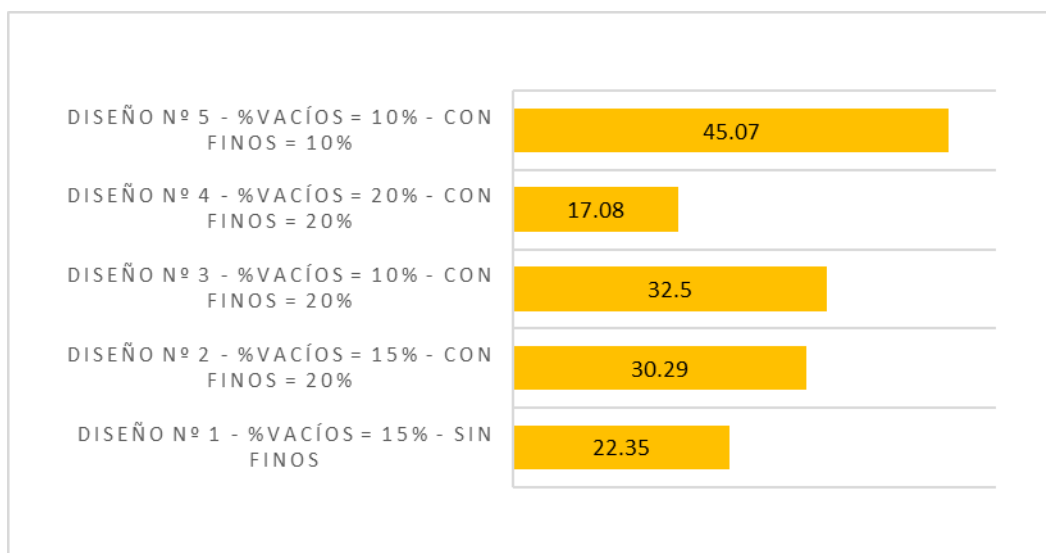
- Determinando **la resistencia a la flexión** según la Norma NTP 339.078, se diseña un Pavimento Rígido Permeable.

Tabla N° 39: Resultados de Resistencia a la Flexión

Diseño	MR (kg/cm ²)
DISEÑO N° 1 - %vacíos = 15% - SIN FINOS	22.35
DISEÑO N° 2 - %vacíos = 15% - CON FINOS = 20%	30.29
DISEÑO N° 3 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 20%	32.5
DISEÑO N° 4 - %vacíos = 20% - CON FINOS = 20%	17.08
DISEÑO N° 5 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 10%	45.07

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7: Resultados de Resistencia a la Flexión



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la Tabla N° 39 y el Gráfico N° 7, el diseño óptimo para la elaboración de un pavimento rígido permeable es el Diseño N° 5, debido que al determinar la resistencia a la flexión de dicho diseño a 28 días de curado tuvo como resultado un módulo de rotura de 45.07 kg/cm², cumpliendo la resistencia mínima para un pavimento en vías locales (34 kg/cm²) y por lo tanto, cumpliendo la hipótesis específica.

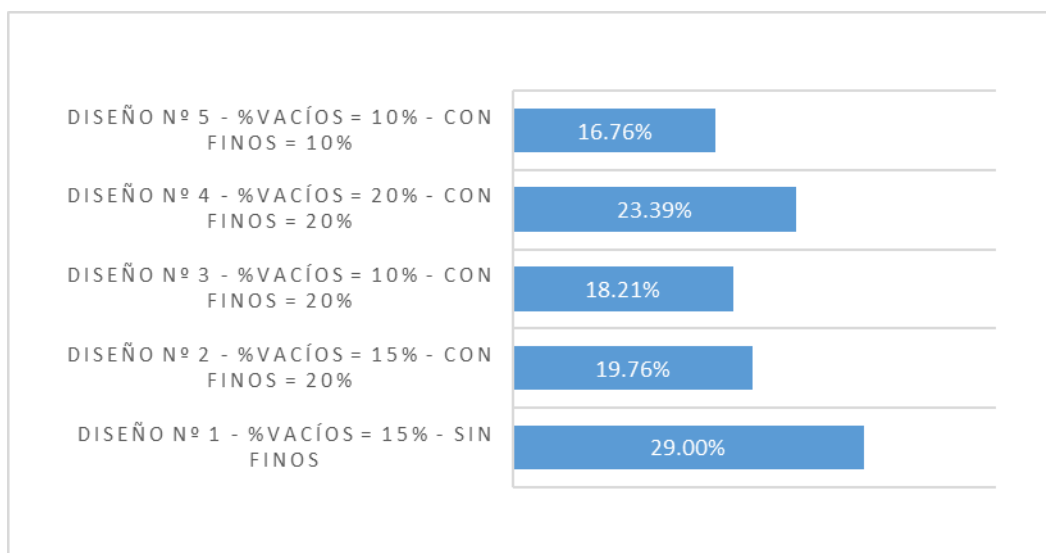
- Determinando **el contenido de vacíos** según la Norma ASTM C1754, se diseña un Pavimento Rígido Permeable.

Tabla N° 40: Resultados de Porcentaje de Vacíos

Diseño	% de vacíos
DISEÑO N° 1 - %vacíos = 15% - SIN FINOS	29.00%
DISEÑO N° 2 - %vacíos = 15% - CON FINOS = 20%	19.76%
DISEÑO N° 3 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 20%	18.21%
DISEÑO N° 4 - %vacíos = 20% - CON FINOS = 20%	23.39%
DISEÑO N° 5 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 10%	16.76%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8: Resultados de Porcentaje de Vacíos



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la Tabla N° 40 y el Gráfico N° 8, el diseño óptimo para la elaboración de un pavimento rígido permeable es el Diseño N° 5, debido que al determinar el porcentaje de vacíos de dicho diseño tuvo como resultado un 16.76%, cumpliendo el rango de 15 a 35% para un concreto permeable y por lo tanto, cumpliendo la hipótesis específica.

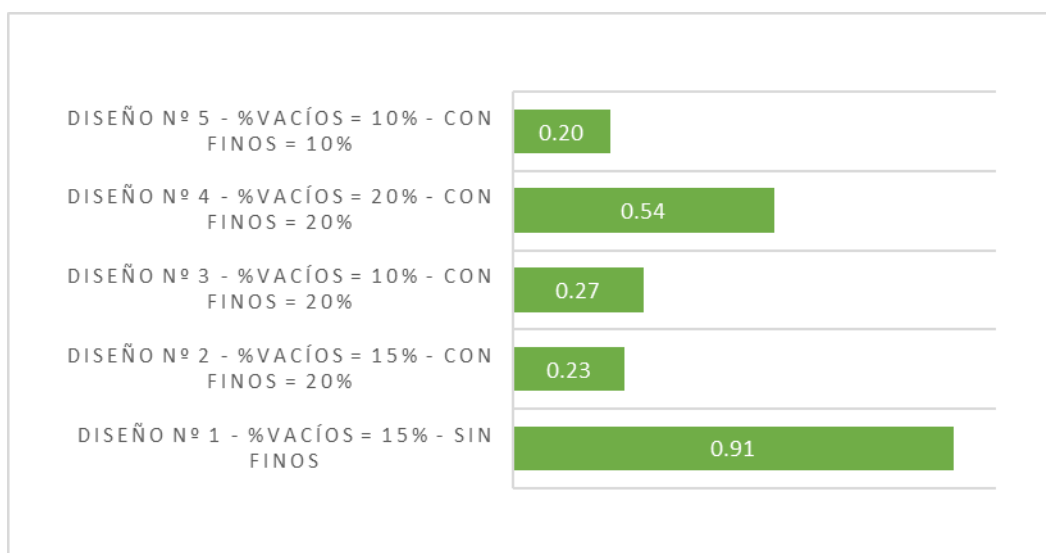
- Determinando **la capacidad de infiltración de agua** según la Norma ACI 522R-10, se diseña un Pavimento Rígido Permeable.

Tabla N° 41: Resultados de Permeabilidad

Diseño	K (cm/s)
DISEÑO N° 1 - %vacíos = 15% - SIN FINOS	0.91
DISEÑO N° 2 - %vacíos = 15% - CON FINOS = 20%	0.23
DISEÑO N° 3 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 20%	0.27
DISEÑO N° 4 - %vacíos = 20% - CON FINOS = 20%	0.54
DISEÑO N° 5 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 10%	0.20

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 9: Resultados de Permeabilidad



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la Tabla N° 41 y el Gráfico N° 9, el diseño óptimo para la elaboración de un pavimento rígido permeable es el Diseño N° 5, debido que al determinar la permeabilidad de dicho diseño tuvo como resultado un 0.20 cm/s, cumpliendo el rango de 0.20 a 0.54 cm/s para un concreto permeable y por lo tanto, cumpliendo la hipótesis específica.

6.2. Comparación con otras Investigaciones

Al investigar un poco en los antecedentes de investigación se ha podido recopilar información de tesis pasadas, las cuales lograron características aptas para el concreto permeable usando diferentes dosificaciones, contenido de cemento, uso de agregado fino, incorporación de aditivos y tipo de compactación.

Tabla N° 42: Resultados de investigaciones pasadas de concreto permeable

Tesistas	Huso	a/c	Cemento (kg/ m3)	a/A	Aditivo (Its)	% Vacíos Teórico	Máx f'c (kg/cm2)	Máx MR (kg/cm2)	Tipo de Compactación
Bautista	8	0.27	426	10%	-	10%	177.98	47.05	Varillado
T1: Barahona, Martinez	8	0.36	-	0	-	15%	146	27	Martillo Próctor
T2: Guizado, Curi	8	0.27	428	10%	6.85	15%	221.5	36	Martillo Marshall

Fuente: Elaboración Propia

Para la elaboración de la Tabla N° 37, se tomaron los resultados de las siguientes tesis:

- T1: Barahona, Martinez y Zelaya (2013). “Comportamiento del Concreto Permeable Utilizando Agregado Grueso de Las Canteras, El Carmen, Aramuaca Y La Pedrera, de la Zona Oriental de El Salvador”.
- T2: Guizado y Curí (2017). “Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú”.

En la Tabla N° 37, se puede observar la comparación entre la presente tesis y dos tesis con el mismo objeto de investigación. Se compararon los diversos parámetros que son importantes para la elaboración de un concreto permeable, las cuales son:

- Huso del Agregado Grueso
- Relación Agua-Cemento (a/c)
- Cantidad de Cemento por metro cúbico (kg/m³)

- Porcentaje de Agregado Fino con respecto al Agregado Grueso (a/A)
- Cantidad de Aditivo (Its)
- Porcentaje de Vacíos Teórico (%)
- Máx f'c: Máximo Resultado de Resistencia a la Compresión (kg/cm²)
- Tipo de Compactación

Comparando los resultados se puede concluir que el contenido de cemento, la relación agua cemento, la cantidad de aditivo y el tipo de compactación influyen en la resistencia a la compresión y a la flexión.

El diseño de los autores Barahona, Martinez y Zelaya, fue sin agregado fino, lo cual es un factor muy importante, ya que dicho agregado otorga resistencia a la compresión y flexión; esto se ve reflejado en sus propios resultados.

El diseño de los autores Guizado y Curi, fue con una alta cantidad de cemento, la cual otorga dichos resultados de resistencia. También le adicionó aditivo a su mezcla y su tipo de compactación fue Marshall.

CONCLUSIONES

1) Los diseños que no tienen agregado fino son los que tienen poca resistencia a la compresión y flexión. Este es el caso del Diseño 1 propuesto, que tuvo una resistencia a la compresión y a la flexión a los 28 días de 51.3 kg/cm² y MR = 22.35 kg/cm².

2) Los diseños que poseen agregado fino son superiores en cuanto a soportar esfuerzos se refiere, pero obstruyen los vacíos. En ese sentido, los agregados finos disminuyen la permeabilidad, pero ayudan al concreto a ganar resistencia.

3) Los diseños con alto contenido de vacíos tienen una buena permeabilidad, como el caso del Diseño 1 que posee una permeabilidad de 0.91 cm/s, pero tienen baja resistencia.

4) El requisito mínimo de resistencia a la compresión para pavimentos especiales (aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías) según la norma C.E 010 – Pavimentos Urbanos, es de 175 kg/cm², por lo que el Diseño 5 si cumple con la resistencia a los 28 días (177.98 kg/cm²).

5) El requisito mínimo de módulo de rotura para pavimentos en vías locales según la norma C.E 010 – Pavimentos Urbanos, es de MR = 34

kg/cm², por lo que el Diseño 5 si cumple con el módulo de rotura a los 28 días (45.07 kg/cm²).

6) El coeficiente de permeabilidad de un concreto permeable posee un rango entre 0.20 y 0.54 cm/s, por lo que el Diseño 5 pertenece a dicho rango, obteniendo un coeficiente de permeabilidad de 0.20 cm/s.

RECOMENDACIONES

1) Realizar un varillado correctamente para la elaboración de las probetas para los ensayos normalizados de compresión y de flexión, debido a que influye en el resultado de los esfuerzos, ya que no genera una superficie de contacto adecuada para ensayarlo en la prensa.

2) Incluir agregado fino a los diseños, debido a que aumenta la resistencia de compresión y de flexión. Se puede utilizar porcentajes de agregado fino tales como 10 y 20% con respecto a la cantidad de agregado grueso, según la norma ACI 522R-10.

3) Verificar que el contenido de cemento esté en los rangos adecuados que brinda la norma ACI 522R-10, ya que influye en los resultados de compresión y de flexión.

4) Verificar que los equipos de laboratorio estén operativos y calibrados, ya que de lo contrario el no cumplir con los días de rotura, puede perjudicar los resultados esperados.

5) Emplear aditivos retardantes de fragua, debido a que la mezcla de concreto permeable recién hecha tiende a secarse con mucha rapidez.

6) Tener conocimientos de mecánica de fluidos para la elaboración del permeámetro de carga variable.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliográficas:

American Concrete Institute – ACI 522R-10 (2010) *Report on Pervious Concrete.*

American Society for Testing and Materials - ASTM C33/C33M (2018) *Standard Specification for Concrete Aggregates.*

American Society for Testing and Materials - ASTM C1754/C1754M-12 (2012) *Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete.*

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI (31 de diciembre del 2015) *NTP 339.033 Concreto. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo.* D.O.P El Peruano (p. 573695)

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI (31 de diciembre del 2015) *NTP 339.034 Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.* D.O.P El Peruano (p. 573695)

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI (31 de diciembre del 2015) *NTP 339.035 Concreto: Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland.* D.O.P El Peruano (p. 573695)

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI (31 de octubre del 2012) *NTP 339.078 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia*

a la flexión del hormigón en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo. D.O.P El Peruano (p. 477714)

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI (24 de agosto del 2013) *NTP 339.184 Concreto. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto. D.O.P El Peruano (p. 501691)*

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI (24 de agosto del 2013) *NTP 339.185 Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. D.O.P El Peruano (p. 501691)*

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI (2 de agosto del 2016) *NTP 400.010 Agregados. Extracción y preparación de las muestras. D.O.P El Peruano (p. 595784)*

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI (1 de febrero del 2013) *NTP 400.012 Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. D.O.P El Peruano (p. 487264)*

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI (2 de agosto del 2016) *NTP 400.017 Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. D.O.P El Peruano (p. 487264)*

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI (16 de enero del 2014) *NTP 400.021 Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la*

densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.
D.O.P El Peruano (p. 514405)

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI (16 de enero del 2014) *NTP 400.022 Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.* D.O.P El Peruano (p. 514405)

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI (14 de enero del 2015) *NTP 400.037. Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto.* D.O.P El Peruano (p. 544705)

Electrónicas:

Azañedo Medina, W., Chávez Juanito, H. y Muñoz Valdivia, R. (2007). *Diseño de Mezcla de Concreto Poroso con Agregados de la cantera La Victoria, Cemento Portland Tipo I con adición de Tiras de Plástico, y su Aplicación en Pavimentos Rígidos, en la Ciudad de Cajamarca.* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú). Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/30421057/RESUMEN-TESIS-CONCRETO-PERMEABLE>

Barahona Aguiluz, R., Martínez Guerrero, M. y Zelaya Zelaya, S. (2015). *Comportamiento del Concreto Permeable Utilizando Agregado Grueso de Las Canteras, El Carmen, Aramuaca Y La Pedrera, de la Zona Oriental de El Salvador.* (Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador). Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/6259/1/50107992.pdf>

Chaiña Quispe J. y Villanueva Escobedo Y. (2017). *Diseño de Concreto Permeable, para Pavimentos Rígidos, utilizando Piedra Huso 67 y Arena*

Gruesa de la cantera La Poderosa, para la ciudad de Arequipa. Arequipa. (Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María. Arequipa, Perú). Recuperado de <https://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/6038>

Cruz Palafox C., Segovia López A., González Sandoval M., Lizárraga Mendiola L., Olguín Coca F. y Rangel Martínez Y. (2014). *Diseño de un Concreto Permeable para la Recuperación de Agua.* (Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Hidalgo, México). Recuperado de https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/6287/diseño_de_un_concreto_permeable_para_la_recuperación_de_agua.pdf

Flores Quispe, C. y Pacompia Calcina, I. (2015). *Diseño de Mezcla de Concreto Permeable con adición de Tiras de Plástico para Pavimentos $f'c=175$ kg/cm² en la Ciudad de Puno.* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú). Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2230/FLORES_QUISPE_CESAR_EDDY_PACOMPIA_CALCINA_IVA_ALEXANDER.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Meininger, R. (1988). *No-Fines Pervious Concrete for Paving.* Recuperado de <https://es.scribd.com/document/283112396/3-No-Fines-Pervious-Concrete-for-Paving-Meininger-1988-pdf>

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo N° 1: Matriz de Consistencia	131
Anexo N° 2: Ficha Técnica del Contenido de Humedad del A. Grueso	132
Anexo N° 3: Ficha Técnica del Contenido de Humedad del A. Fino	133
Anexo N° 4: Ficha Técnica del Análisis Granulométrico del A. Grueso	134
Anexo N° 5: Ficha Técnica del Análisis Granulométrico del A. Fino	135
Anexo N° 6: Ficha Técnica de la Densidad, Densidad Relativa y Absorción del A. Grueso	136
Anexo N° 7: Ficha Técnica de la Densidad, Densidad Relativa y Absorción del A. Fino	137
Anexo N° 8: Ficha Técnica del Peso Unitario del A. Grueso	138
Anexo N° 9: Ficha Técnica del Peso Unitario del A. Fino	139
Anexo N° 10: Clasificación Requerida del Agregado Grueso	140

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA		OBJETIVO		HIPÓTESIS		VARIABLES			METODOLOGÍA	
GENERAL	ESPECÍFICOS	GENERAL	ESPECÍFICOS	GENERAL	V. INDEPENDIENTE	INDICADORES	MEDICIÓN	INDICADORES	MEDICIÓN	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN
¿Cómo diseñar un pavimento rígido permeable que evacúe aguas pluviales según la Norma ACI 522R-10?	Diseñar un Pavimento Rígido Permeable para la evacuación de aguas pluviales según la Norma ACI 522R-10.	Diseñando un Pavimento Rígido Permeable según la Norma ACI 522R-10, se evacúa las aguas pluviales.	Norma ACI 522R-10	Propiedades y Características el Concreto Permeable	Ensayos Normados	Tipos: Cuantitativa - Descriptiva Nivel: Descriptivo Diseño: Experimental - Longitudinal - Prospectivo				
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	V. DEPENDIENTE	INDICADORES	MEDICIÓN	INDICADORES	MEDICIÓN	MUESTRA
¿Cómo determinar la resistencia a la compresión de un Pavimento Rígido Permeable según la Norma NTP 339.034?	Determinar la resistencia a la compresión de un Pavimento Rígido Permeable según la Norma NTP 339.034.	Determinando la resistencia a la compresión según la Norma NTP 339.034, se diseña un Pavimento Rígido Permeable.	Diseño de Pavimento Rígido Permeable	Resistencia a la Compresión	Ensayo normalizado para la determinación de la Resistencia a la Compresión del concreto, en muestras cilíndricas (NTP 339.034)	54 especímenes de concreto permeable ensayados a compresión, flexión, contenido de vacíos e infiltración; con una edad de curado de 7, 14 y 28 días y con diferentes diseños: Diseño 1: Vacíos = 15%, Sin Arena Diseño 2: Vacíos = 15%, Con Arena = 20% Diseño 3: Vacíos = 10%, Con Arena = 20% Diseño 4: Vacíos = 20%, Con Arena = 20% Diseño 5: Vacíos = 10%, Con Arena = 10%				
¿Cómo determinar la resistencia a la flexión de un Pavimento Rígido Permeable según la Norma NTP 339.078?	Determinar la resistencia a la flexión de un Pavimento Rígido Permeable según la Norma NTP 339.078.	Determinando la resistencia a la flexión según la Norma NTP 339.078, se diseña un Pavimento Rígido Permeable.	Diseño de Pavimento Rígido Permeable	Resistencia a la Flexión	Ensayo para determinar la Resistencia a la Flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo (NTP 339.078)					
¿Cómo determinar el contenido de vacíos de un Pavimento Rígido Permeable según la Norma ASTM C1754?	Determinar el contenido de vacíos de un Pavimento Rígido Permeable según la Norma ASTM C1754.	Determinando el contenido de vacíos según la Norma ASTM C1754, se diseña un Pavimento Rígido Permeable.	Diseño de Pavimento Rígido Permeable	Densidad y Contenido de Vacíos	Método de Ensayo Estándar para la Densidad y Contenido de Vacíos para Concreto Permeable Endurecido (ASTM 1754)					
¿Cómo determinar la capacidad de infiltración de agua de un Pavimento Rígido Permeable según la Norma ACI 522R-10?	Determinar la capacidad de infiltración de agua de un Pavimento Rígido Permeable según la Norma ACI 522R-10.	Determinando la capacidad de infiltración de agua según la Norma ACI 522R-10, se diseña un Pavimento Rígido Permeable.	Diseño de Pavimento Rígido Permeable	Capacidad de Infiltración	Ensayo de Infiltración mediante el Permeámetro de Carga Variable de Neithalath (ACI 522R-10)					

ANEXO 2

FICHA TÉCNICA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL A. GRUESO

CONTENIDO DE HUMEDAD

NTP 339.185 | ASTM C 566



Tesis : DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PERMEABLE PARA LA EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES SEGÚN LA NORMA ACI 522R-10.

Presentada : Bach. Alessandro Jesús Bautista Pereda

Código : 2013135385

Escuela : Ingeniería Civil

Datos de la Muestra		
Muestra	:	Piedra
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida

Descripción de la Muestra		
Nº de la Tara	:	-
Peso del Suelo húmedo (gr.)	:	3021.00
Peso de la tara (gr.)	:	339.50
Peso de la tara + Suelo húmedo (gr.)	:	3360.50
Peso de la tara + Suelo seco (gr.)	:	3331.00
Peso del agua (gr.)	:	29.50
Peso del suelo seco (gr.)	:	2991.50
Contenido de humedad (%)	:	0.99

ANEXO 3

FICHA TÉCNICA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL A. FINO

CONTENIDO DE HUMEDAD

NTP 339.185 | ASTM C 566



Tesis : DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PERMEABLE PARA LA EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES SEGÚN LA NORMA ACI 522R-10.

Presentada : Bach. Alessandro Jesús Bautista Pereda

Código : 2013135385

Escuela : Ingeniería Civil

Datos de la Muestra		
Muestra	:	Arena
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida

Descripción de la Muestra		
Nº de la Tara	:	7-B
Peso del Suelo húmedo (gr.)	:	50.00
Peso de la tara (gr.)	:	28.22
Peso de la tara + Suelo húmedo (gr.)	:	78.22
Peso de la tara + Suelo seco (gr.)	:	77.91
Peso del agua (gr.)	:	0.31
Peso del suelo seco (gr.)	:	49.69
Contenido de humedad (%)	:	0.62

ANEXO 4

FICHA TÉCNICA DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL A. GRUESO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NTP 400.012 | ASTM C 136 | ASTM C 33



Tesis : DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PERMEABLE PARA LA EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES SEGÚN LA NORMA ACI 522R-10.

Presentad: Bach. Alessandro Jesús Bautista Pereda

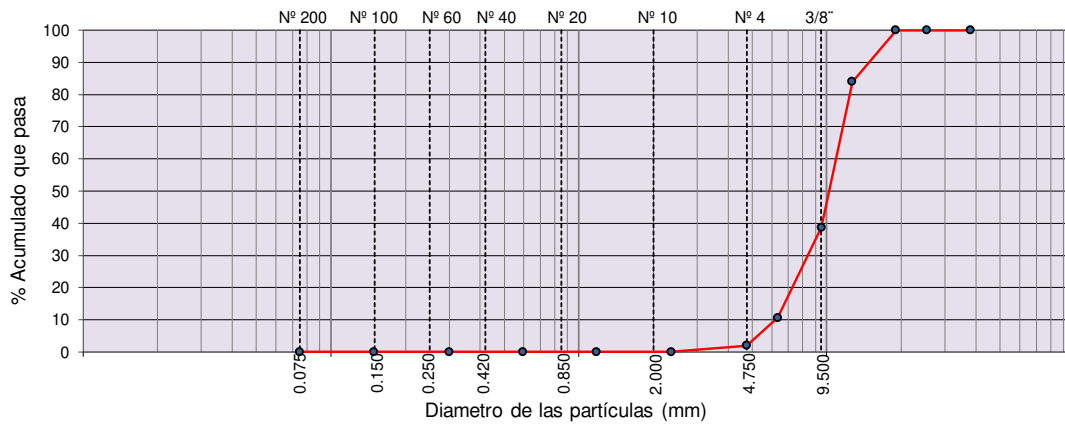
Código : 2013135385

Escuela : Ingeniería Civil

Tamiz	Abert. (mm)	Peso ret. (g)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q' Pasa	ASTM C-33
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1"	25.40	480.00	16.00	16.00	84.00	90 a 100
3/4"	19.05	1360.00	45.33	61.33	38.67	20 a 55
1/2"	12.70	840.00	28.00	89.33	10.67	0 a 10
3/8"	9.53	260.00	8.67	98.00	2.00	0 a 5
1/4"	6.35	60.00	2.00	100.00	0.00	
N° 4	4.75	0.00	0.00	100.00	0.00	
N° 8	2.36	0.00	0.00	100.00	0.00	
N° 16	1.18	0.00	0.00	100.00	0.00	
N° 30	0.60	0.00	0.00	100.00	0.00	
N° 50	0.30	0.00	0.00	100.00	0.00	
N° 100	0.15	0.00	0.00	100.00	0.00	
N° 200	0.075	0.00	0.00	100.00	0.00	
< N° 200	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	
TOTAL		3000.00	100.00			

Datos generales	
Datos de la Muestra	
Muestra :	Piedra
Procedencia :	Cantera de Musa
Profundidad :	Desconocida
Huso :	5
TMN :	
ASTM D 2488	
"Descripción e Identificación de suelos"	
% Grava =	100.00
% Arena =	0.00
% Finos =	0.00
ASTM D 2216	
Húmedad Natural (%) =	0.99
ASTM D 4318-(05)	
"Limite de Atterberg"	
Limite Líquido (%) =	N.P
Limite Plástico (%) =	N.P
Ind. de Plasticidad (%) =	N.P

Clasificación	
S.U.C.S	GP
AASHTO	A-1-a (0)
GP: Grava mal graduada	



Lab. D. M. S. de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura - Universidad de San Martín de Porres.

ANEXO 5

FICHA TÉCNICA DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL A. FINO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NTP 400.012 | ASTM C 136 | NTP 400.037



Tesis : DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PERMEABLE PARA LA EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES SEGÚN LA NORMA ACI 522R-10.

Presentada: Bach. Alessandro Jesús Bautista Pereda

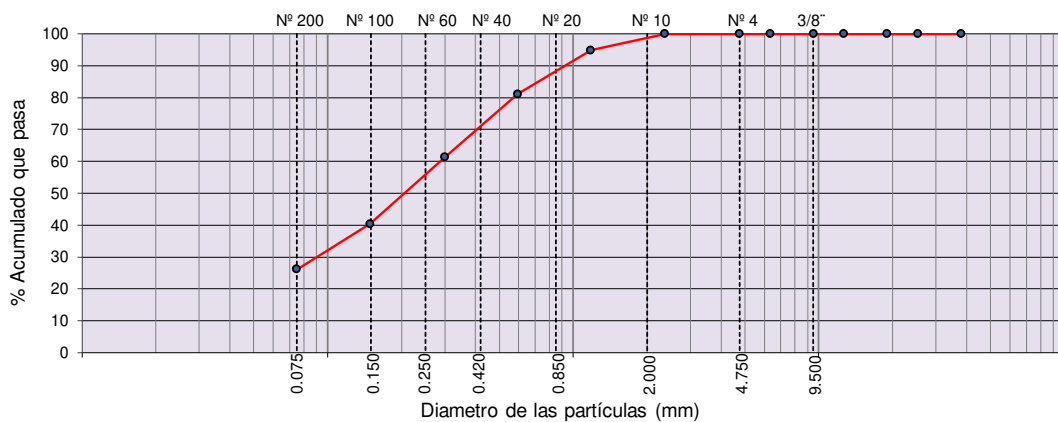
Código : 2013135385

Escuela : Ingeniería Civil

Tamiz	Abert. (mm)	Peso ret. (g)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q' Pasa	ASTM C-33
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
Nº 4	4.75	25.62	5.12	5.12	94.88	95 a 100
Nº 8	2.36	68.78	13.76	18.88	81.12	80 a 100
Nº 16	1.18	99.37	19.87	38.75	61.25	50 a 85
Nº 30	0.60	104.53	20.91	59.66	40.34	25 a 60
Nº 50	0.30	71.04	14.21	73.87	26.13	5 a 30
Nº 100	0.15	73.62	14.72	88.59	11.41	0 a 10
Nº 200	0.075	35.64	7.13	95.72	4.28	0 a 5
< Nº 200		21.40	4.28	100.00	0.00	
TOTAL		500.00	100.00			

Datos generales	
Datos de la Muestra	
Muestra :	Arena
Procedencia :	Cantera de Musa
Profundidad :	Desconocida
Huso :	-
TMN :	Nº 4
ASTM D 2488	
"Descripción e Identificación de suelos"	
% Grava =	5.12
% Arena =	90.60
% Finos =	4.28
ASTM D 2216	
Húmedad Natural (%) =	0.62
ASTM D 4318-(05)	
"Limite de Atterberg"	
Limite Líquido (%) =	N.P
Limite Plástico (%) =	N.P
Ind. de Plasticidad (%) =	N.P

Clasificación	
S.U.C.S	SP
AASHTO	A-3
SP: Arena pobremente graduada	



Lab. D. M. S. de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura - Universidad de San Martín de Porres.

ANEXO 6

FICHA TÉCNICA DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL A. GRUESO

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (PESO ESPECÍFICO) Y ABSORCIÓN

NTP 400.021 | ASTM C 127



Tesis : DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PERMEABLE PARA LA EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES SEGÚN LA NORMA ACI 522R-10.
Presentada : Bach. Alessandro Jesús Bautista Pereda
Código : 2013135385
Escuela : Ingeniería Civil

Datos de la Muestra	
Muestra	: Piedra
Procedencia	: Cantera de Musa
Profundidad	: Desconocida

Descripción de la Muestra - Densidad	
Peso de la tara (gr.)	: 349.00
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	: 3021.00
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire(gr.)	: 3033.50
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	: 1927.00
Gravedad Específica	: 2.73
Densidad (kg./m3)	: 2730.23

Descripción de la Muestra - Porcentaje de Absorción	
Peso de la tara (gr.)	: 349.00
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	: 3021.00
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire(gr.)	: 3033.50
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	: 1927.00
Porcentaje de Absorción	: 0.41%

Descripción de la Muestra - Densidad Relativa	
Peso de la tara (gr.)	: 349.00
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	: 3021.00
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire(gr.)	: 3033.50
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	: 1927.00
Gravedad Específica	: 2.76
Densidad Relativa (kg./m3)	: 2761.43

ANEXO 7

FICHA TÉCNICA DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL A. FINO

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (PESO ESPECÍFICO) Y ABSORCIÓN

NTP 400.022 | ASTM C 128



Tesis : DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PERMEABLE PARA LA EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES SEGÚN LA NORMA ACI 522R-10.
Presentada : Bach. Alessandro Jesús Bautista Pereda
Código : 2013135385
Escuela : Ingeniería Civil

Datos de la Muestra	
Muestra	: Arena
Procedencia	: Cartera de Musa
Profundidad	: Desconocida

Descripción de la Muestra - Densidad	
Peso de Picnómetro (gr.)	: 198.57
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	: 496.79
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire(gr.)	: 499.42
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	: 303.64
Gravedad Específica	: ✔ 2.54
Densidad (kg./m3)	: ✔ 2537.49

Descripción de la Muestra - Porcentaje de Absorción	
Peso de Picnómetro (gr.)	: 198.57
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	: 496.79
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire(gr.)	: 499.42
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	: 303.64
Porcentaje de Absorción	: ✔ 0.53%

Descripción de la Muestra - Densidad Relativa	
Peso de Picnómetro (gr.)	: 198.57
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	: 496.79
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire(gr.)	: 499.42
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	: 303.64
Gravedad Específica	: 2.57
Densidad Relativa (kg./m3)	: 2572.04

ANEXO 8

FICHA TÉCNICA DEL PESO UNITARIO DEL A. GRUESO

PESO UNITARIO

Métodos NTP 400.017 | ASTM C 29



Tesis : DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PERMEABLE PARA LA EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES SEGÚN LA NORMA ACI 522R-10.

Presentada : Bach. Alessandro Jesús Bautista Pereda

Código : 2013135385

Escuela : Ingeniería Civil

Datos de la Muestra	
Muestra	: Piedra
Procedencia	: Cantera de Musa
Profundidad	: Desconocida

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Suelto		
Peso de la tara (gr.)	:	7245.00
Volumen de la tara (cm ³)	:	9358.00
Peso de la tara (kg.)	:	7.245
Volumen de la tara (m ³)	:	0.009358
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	21.02
Peso Unitario del Suelo (kg./m ³)	:	1472.00

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Compactado		
Peso de la tara (gr.)	:	7245.00
Volumen de la tara (cm ³)	:	9358.00
Peso de la tara (kg.)	:	7.245
Volumen de la tara (m ³)	:	0.009358
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	22.24
Peso Unitario del Suelo (kg./m ³)	:	1602.37

ANEXO 9

FICHA TÉCNICA DEL PESO UNITARIO DEL A. FINO

PESO UNITARIO

Métodos NTP 400.017 | ASTM C 29



Tesis : DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PERMEABLE PARA LA EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES SEGÚN LA NORMA ACI 522R-10.

Presentada : Bach. Alessandro Jesús Bautista Pereda

Código : 2013135385

Escuela : Ingeniería Civil

Datos de la Muestra	
Muestra	: Arena
Procedencia	: Cantera de Musa
Profundidad	: Desconocida

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Suelto		
Peso de la tara (gr.)	:	2726.00
Volumen de la tara (cm ³)	:	2758.00
Peso de la tara (kg.)	:	2.726
Volumen de la tara (m ³)	:	0.002758
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	7.48
Peso Unitario del Suelo (kg./m ³)	:	1723.71

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Compactado		
Peso de la tara (gr.)	:	2726.00
Volumen de la tara (cm ³)	:	2758.00
Peso de la tara (kg.)	:	2.726
Volumen de la tara (m ³)	:	0.002758
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	7.82
Peso Unitario del Suelo (kg./m ³)	:	1846.99

ANEXO 10

CLASIFICACIÓN REQUERIDA PARA EL AGREGADO GRUESO

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3 ½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2 ½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 ½ in.)	25 mm (1 in.)	19 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 ½ a 1 ½ in.)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm (2 ½ a 1 ½ in.)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm (2 a 1 in.)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4.75 mm (2 in. a N° 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	-	-	-	-
4	37.5 mm a 9 mm (1 ½ a ¾ in.)	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 ½ in. a N° 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12.5 mm (1 a ½ in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.5 mm (1 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm (1 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 mm a 9.5 mm (¾ a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (3/4 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (½ in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 mm a 2.36 mm (3/8 in. a N° 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	9.5 mm a 1.18 mm (3/8 in. a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 5

Fuente: ASTM C33/C33M - Especificación estándar para agregados para hormigón