



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,
PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM**

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI.
Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: **RIVEROS TAMARIZ, FRANZ ANDRÉ**

Código de alumno: 061.0709.399

Teléfono: 986957478

Correo electrónico: franzriverost@gmail.com

DNI o Extranjería: 45261554

2. Modalidad de trabajo de investigación:

Trabajo de investigación

Trabajo académico

Trabajo de suficiencia profesional

Tesis

3. Título profesional o grado académico:

Bachiller

Título

Segunda especialidad

Licenciado

Magister

Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS URBANOS, FABRICADO CON AGREGADOS DE PIEDRA CHANCADA DE LA CANTERA DE TACLLÁN, PROVINCIA DE HUARAZ”

5. Facultad de: INGENIERÍA CIVIL

6. Escuela, Carrera o Programa: INGENIERÍA CIVIL

7. Asesor:

Apellidos y Nombres: **MILLA VERGARA, ELIO ALEJANDRO**

Teléfono: 944931238

Correo electrónico: emillav@hotmail.com

DNI o Extranjería: 31666219

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma: 

D.N.I.: 45261554

06 / 08 / 2019

FECHA:

UNIVERSIDAD NACIONAL “SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO
PERMEABLE PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS URBANOS,
FABRICADO CON AGREGADOS DE PIEDRA CHANCADA DE LA
CANTERA DE TACLLÁN, PROVINCIA DE HUARAZ”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

FRANZ ANDRÉ RIVEROS TAMARIZ

ASESOR:

ING. ELIO ALEJANDRO MILLA VERGARA

Huaraz – Ancash – Perú

2019

DEDICATORIA

A mis padres y hermana:

Por ser mis principales motivadores y formadores, con sus consejos, amor y cariño logran incentivar mis acciones hacia mi superación personal y profesional.

A mi alma máter, FIC - UNASAM:

Por acogerme en sus aulas y brindarme sabias enseñanzas clase tras clase, afianzando mi afán por la Ingeniería. Agradezco de manera especial a cada uno de los catedráticos que aportaron en mi formación académica con cada una de sus lecciones impartidas.

A mis amigos:

Por el apoyo mutuo e incondicional que siempre existe, ya sea en los buenos y malos momentos, compartiendo experiencias únicas que forman parte de mi vida.

RESUMEN

La presente investigación busca evaluar el comportamiento del concreto permeable fabricado con piedra chancada extraída de la cantera de Taclán, provincia de Huaraz, para su aplicación en la fabricación de pavimentos urbanos.

La necesidad de investigar este tipo de concreto se debe a la búsqueda de un método alternativo de construcción en la pavimentación urbana, pues, los métodos tradicionales de pavimentación urbana, a pesar de sus ya conocidas ventajas y performance, traen consigo, en algunos casos, resultados no deseados, todos ellos debido principalmente a su inherente propiedad impermeable. Usando el concreto permeable como método constructivo para pavimentos, los problemas generados debido a la impermeabilidad del concreto tradicional, son solucionados, además que aporta las ventajas de su propiedad permeable.

La evaluación del concreto permeable se llevó a cabo mediante ensayos de laboratorio, los principales ensayos de laboratorio para determinar los mínimos requisitos para poder ser aplicados en pavimentos urbanos, fueron: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas (NTP 339.034 - 2013), Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo (NTP 339.079 - 2012), así como también se realizaron ensayos de infiltración en muestras cilíndricas mediante un permeámetro de fabricación propia, adicionalmente se fabricaron dos losas de concreto permeable, las cuales fueron ensayadas mediante el Método de ensayo para la determinación de la tasa de infiltración del concreto permeable colocado (ASTM C1701).

Mediante el ensayo a compresión se obtuvo que, usando piedra chancada de tamaño máximo de 1/2" como agregado en la fabricación de concreto permeable, los valores variaron de 7.81 MPa a 16.56 MPa, mientras que, usando piedra chancada de tamaño máximo de 3/8", los valores variaron de 19.87 MPa a 21.75 MPa. Por otro lado, mediante el ensayo de resistencia a flexión, usando piedra chancada de tamaño máximo de 1/2" los valores obtenidos variaron de 3.06 MPa a 3.76 MPa, mientras que, usando piedra chancada de tamaño máximo de 3/8" los valores obtenidos

tuvieron una variación de 4.50 MPa a 5.08 MPa. Además, según los ensayos de infiltración realizadas a las muestras cilíndricas, la variación fue de 8.26 mm/s a 18.38 mm/s usando piedra chancada de tamaño máximo de 1/2", mientras que haciendo uso de piedra chancada de tamaño máximo de 3/8" la variación de la infiltración fue de 3.62 mm/s a 3.76 mm/s. Finalmente, los ensayos de infiltración realizados a las losas resultaron 17.68 mm/s y 0.67 mm/s usando agregado de tamaño máximo de 1/2" y de 3/8" respectivamente.

Con esta investigación se llegó a la conclusión que los diseños de mezcla propuestos para la fabricación de concreto permeable con piedra chancada de tamaño máximo de 3/8" poseen un mejor comportamiento mecánico (resistencia a compresión y flexión) que aquellos diseños propuestos con el uso de piedra chancada de tamaño máximo de 1/2", cumpliendo con los mínimos requisitos establecidos para su uso en pavimentos urbanos. Además, se dejaron varias puertas abiertas para la investigación del concreto permeable, como por ejemplo investigación usando piedra de canto rodado, o el desgaste generado en la superficie de rodadura.

Palabras Clave: Concreto Permeable, Resistencia a Compresión, Resistencia a Flexión, Tasa de Infiltración.

ABSTRACT

The present investigation seeks to evaluate the behavior of pervious concrete manufactured with crushed stone extracted from the quarry of Taclán, province of Huaraz, for its application in the manufacture of urban pavements.

The need to investigate this type of concrete is due to the search for an alternative method of construction in urban paving, since, the traditional methods of urban paving, despite their already known advantages and performance, bring with them, in some cases, unwanted results, all due mainly to its inherent waterproof property. Using the pervious concrete as a constructive method for pavements, the problems generated due to the impermeability of the traditional concrete, are solved, besides that it brings the advantages of its permeable property.

The evaluation of the permeable concrete was carried out by laboratory tests, the main laboratory tests to determine the minimum requirements to be applied in urban pavements, were: Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens (NTP 339.034 - 2013), Standard test method for flexural strength of concrete using simple beam with center-point loading (NTP 339.079 - 2012), in addition, infiltration tests were performed on cylindrical samples by a permeameter manufactured by the researcher. Additionally, two slabs of permeable concrete were manufactured, which were tested by the Standard test method for infiltration rate of in place pervious concrete (ASTM C1701).

Using the standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens was obtained that, using crushed stone of maximum size of 1/2" as aggregate in the manufacture of pervious concrete, the values varied from 7.81 MPa to 16.56 MPa, while, using crushed stone of maximum size of 3/8", the values varied from 19.87 MPa to 21.75 MPa. On the other hand, using the Standard test method for flexural strength of concrete, was obtained that using crushed stone of maximum size of 1/2" the values varied from 3.06 MPa to 3.76 MPa, while, using crushed stone of maximum size of 3/8" the values obtained had a variation of 4.50 MPa to 5.08 MPa. In addition, according to the infiltration tests performed on the cylindrical samples, the variation was 8.26 mm/s to 18.38 mm/s using crushed stone with a maximum

size of 1/2", while making use of crushed stone with a maximum size of 3/8" the variation of the infiltration rate was 3.62 mm/s to 3.76 mm/s. Finally, the infiltration tests carried out on the slabs were 17.68 mm / s and 0.67 mm / s using aggregate of maximum size of 1/2" and 3/8" respectively.

With this research, it was concluded that the proposed mix designs for the manufacture of pervious concrete with crushed stone of maximum size of 3/8" have a better mechanical behavior (compressive and flexural strength) than those designs proposed with the use of crushed stone of maximum size of 1/2", meeting minimum requirements established for its use in urban pavements. In addition, several doors were left open for the investigation of pervious concrete, such as research using rounded aggregates, or the wear generated on the tread surface.

Keywords: Pervious Concrete, Compressive Strength, Flexural Strength, Infiltration Rate.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
RESUMEN	ii
ABSTRACT	iv
INDICE GENERAL	vi
INDICE DE TABLAS	ix
INDICE DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPITULO I PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del Problema	4
1.3. Formulación del Problema.....	5
1.4. Justificación e Importancia de la Investigación	5
1.5. Objetivos de la Investigación	5
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivos específicos.	5
1.6. Tipo de Investigación	6
1.7. Población y Muestra	7
1.8. Hipótesis.....	7
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Concreto Permeable	8
2.2. Pavimento Permeable como Construcción Sostenible.....	9
2.3. Aplicaciones del Concreto Permeable	10
2.4. Aplicaciones en Pavimentos	11
2.4.1. Superficie de rodadura.	13
2.4.2. Bases permeables y cunetas permeables.....	15
2.4.3. Bermas.	15
2.5. Materiales	15
2.5.1. Agregados.	16
2.5.2. Materiales cementantes	16

2.5.3. Agua	17
2.5.4. Aditivos	17
2.6. Propiedades del Concreto Permeable	18
2.6.1. Propiedades del concreto permeable fresco.....	18
2.6.2. Esfuerzo a compresión.....	19
2.6.3. Esfuerzo a Flexión.	22
2.6.4. Contenido de vacíos y densidad.	25
2.6.5. Tamaño de poros.	26
2.6.6. Permeabilidad.	27
2.7. Requisitos de Desempeño del Pavimento Permeable para la Aplicación del Concreto Permeable en Pavimentos.....	30
2.8. Dosificación en Concreto Permeable.....	33
2.9. Definición de Términos Según el ACI	35
CAPITULO III METODOLOGÍA.....	37
3.1. Resumen Metodológico.....	37
3.2. Cantera de Extracción	38
3.3. Ensayos Realizados al Agregado Utilizado.....	38
3.4. Muestras Experimentales	43
3.5. Ensayos a Compresión	44
3.6. Ensayos a Flexión	46
3.7. Permeámetro de Carga Variable de Fabricación Propia.....	48
3.8. Fabricación de Losas de 0.60 m X 0.60 m X 0.15 m.....	49
3.9. Ensayo de Permeabilidad en Losas de Prueba	51
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES	53
4.1. Resultados de Ensayos A Compresión	53
4.2. Resultados de Ensayos a Flexión	54
4.3. Resultados de los Ensayos de Infiltración.....	56
4.4. Resultados del Ensayo de Permeabilidad en Losas de Prueba.....	59
4.5. Discusión de Resultados de las Propiedades de los Agregados de Piedra Chancada de la Cantera de Taclán.....	60
4.6. Discusión de Resultados del Concreto Fresco	60

4.7. Discusión del Uso de Aditivo Hiperplastificante	62
4.8. Discusión de Resultados del Concreto Endurecido	62
4.9. Discusión de la Resistencia a Compresión	64
4.10. Discusión de la Resistencia a Flexión	65
4.11. Discusión de Resultados del Coeficiente de Permeabilidad	66
4.12. Discusión del Diseño de Mezcla	67
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
5.1. Conclusiones	69
5.2. Recomendaciones	71
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	74

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Impactos y Medidas de Adaptación por Escenario.....	10
Tabla 2: Requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos.....	31
Tabla 3: Requisitos para pavimentos especiales	32
Tabla 4: Rangos Típicos de las Proporciones de los Materiales en Concreto Permeable	34
Tabla 5: Resultados de los ensayos de Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Agregado Grueso Chancado de Tamaño Máximo de 1/2'' de la Cantera de Taclán.....	39
Tabla 6: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso de Tamaño Máximo de 1/2''	40
Tabla 7: Curva Granulométrica del Agregado Grueso de Tamaño Máximo de 1/2''	40
Tabla 8: Resultados de los ensayos de Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Agregado Grueso Chancado de Tamaño máximo de 3/8'' de la Cantera de Taclán.....	41
Tabla 9: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso de Tamaño Máximo de 3/8''	42
Tabla 10: Curva Granulométrica del Agregado Grueso de Tamaño Máximo de 3/8''	42
Tabla 11: Cuadro resumen de las dosificaciones y designaciones de las muestras utilizadas en los ensayos, utilizando piedra de tamaño máximo de 1/2''	43
Tabla 12: Cuadro resumen de las dosificaciones y designaciones de las muestras utilizadas en los ensayos, utilizando piedra de tamaño máximo de 3/8''	44
Tabla 13: Especificaciones de la tubería PVC transparente utilizada para el permeámetro y las muestras respectivas.....	49
Tabla 14: Resumen de resultados de muestras sometidas a compresión, usando piedra de TM de 1/2'' y sin el uso de aditivo hiperplastificante.....	53
Tabla 15: Resumen de resultados de muestras sometidas a compresión, usando piedra de TM de 1/2'' y con el uso de aditivo hiperplastificante.	54
Tabla 16: Resumen de resultados de muestras sometidas a compresión, usando piedra de TM de 3/8''	54

Tabla 17: Resumen de resultados de muestras sometidas a flexión, usando piedra de TM de 1/2'' y sin el uso de aditivo hiperplastificante.....	55
Tabla 18: Resumen de resultados de muestras sometidas a flexión, usando piedra de TM de 1/2'' y con el uso de aditivo hiperplastificante	55
Tabla 19: Resumen de resultados de muestras sometidas a flexión, usando piedra de TM de 3/8''	55
Tabla 20: Resumen de resultados de muestras fabricadas con piedra de TM de 1/2'', sometidas a ensayo de infiltración, usando método sugerido del reporte ACI 522R-10.....	56
Tabla 21: Resumen de resultados de muestras fabricadas con piedra de TM de 1/2'' sometidas a ensayo de infiltración, usando método sugerido en el Tomo I del libro de Mecánica de Suelos de Juárez Badillo.	57
Tabla 22: Resumen de resultados de muestras fabricadas con piedra de TM de 3/8'' sometidas a ensayo de infiltración, usando método sugerido en el reporte ACI 522R-10.....	58
Tabla 23: Resumen de resultados de muestras fabricadas con piedra de TM de 3/8'' sometidas a ensayo de infiltración, usando método sugerido en el Tomo I del libro de Mecánica de Suelos de Juárez Badillo.	58

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Textura del Concreto permeable en un pavimento usado en estacionamiento.....	9
Figura 2: Muestras de concreto permeable con diferentes contenidos de humedad, formadas en una bola: (a) muy poca agua, (b) apropiada cantidad de agua, y (c) demasiada agua.....	17
Figura 3: Relación entre el contenido de aire y resistencia de compresión para concreto permeable.....	20
Figura 4: Relación entre el peso unitario y la resistencia a compresión para concreto permeable.....	20
Figura 5: Relación entre el contenido de aire y la energía de compactación para concreto permeable.....	22
Figura 6: Relación entre el contenido de aire y la resistencia a flexión para concreto permeable.....	23
Figura 7: Relación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión para concreto permeable.....	24
Figura 8: Relación entre la resistencia a flexión y la porosidad para concreto permeable	24
Figura 9: Influencia del tamaño del agregado y la gradación en la porosidad de concretos permeables.....	25
Figura 10: Influencia del tamaño del agregado en el tamaño de poros de mezclas de concreto permeable con agregados de tamaño uniforme	26
Figura 11: Influencia de la combinación de agregados en el tamaño de poros del concreto permeable	27
Figura 12: Relación entre el contenido de aire y la tasa de infiltración para concreto permeable.....	28
Figura 13: Aparato medidor de la permeabilidad del concreto permeable mediante un permeámetro de carga variable.....	29
Figura 14: Esquemas del permeámetro de carga variable. (a) Para suelos finos, (b) Para suelos gruesos.	29
Figura 15: Proceso de vaceado y compactacion del concreto en los moldes cilíndricos	45
Figura 16: Muestra cilíndrica de concreto.	45
Figura 17: Proceso de ensayo a compresión de muestra cilíndrica.....	46

Figura 18: Apariencia de la muestra cilíndrica luego de ensayada a compresión.....	46
Figura 19: Proceso de vaciado y enrasado del concreto en encofrado para ser ensayado a flexión.	47
Figura 20: Ensayo de flexión de muestra en el laboratorio.....	47
Figura 21: Proceso de vaciado de concreto en los moldes para ser usados en los ensayos de infiltración.	48
Figura 22: Muestras de concreto permeable endurecidas para ser ensayados a infiltración.	48
Figura 23: Permeámetro de carga variable de fabricación propia	49
Figura 24: Encofrado usado para la fabricación de losas de prueba de concreto permeable.	50
Figura 25: Curado del concreto permeable en losas de prueba.....	51
Figura 26: Losas de concreto permeable siendo preparados para ser ensayados a permeabilidad.	51
Figura 27: Proceso de medición del Slump en el concreto permeable fabricado.....	61
Figura 28: Muestra de concreto permeable moldeado en una bola, indicador de la propicia cantidad de agua en la mezcla.	61
Figura 29: Textura superficial en la losa de concreto permeable fabricado con piedra de TM de 1/2''.....	63
Figura 30: Textura superficial en la losa de concreto permeable fabricado con piedra de TM de 3/8''.....	63

INTRODUCCIÓN

El concreto hidráulico es sin duda, uno de los materiales más usados en la construcción, y, específicamente en la fabricación de pavimentos urbanos, su uso se ha hecho extensivo; sin embargo, debido generalmente a la falta de un buen diseño de los mismos, los problemas ligados a la propiedad inherente del concreto hidráulico por poseer un alto grado de impermeabilidad, salen a la luz. Uno de los problemas más comunes es el empozamiento del agua proveniente de las lluvias, como consecuencia directa de esto, el nivel de serviciabilidad en los pavimentos es reducida, así como, en el caso de las losas deportivas, la práctica de deportes es suspendida, al mismo tiempo, este empozamiento, crea indirectamente focos infecciosos de enfermedades como el dengue, el zika, etc.; además, debido a esta impermeabilidad, generalmente distribuida en los espacios poblacionales, se disminuye de manera directa la fuente de agua de los mantos acuíferos naturales.

Hace ya unos años, en varios países se está estudiando y aplicando, en la fabricación de pavimentos, un tipo de concreto denominado concreto permeable o poroso, el cual, como su nombre lo indica, tiene la propiedad de dejar pasar el agua a través de su masa, brindando las ventajas que aporta su propiedad permeable, pues, dicho sea de paso, el concreto permeable es una importante aplicación para la construcción sostenible (National Ready Mixed Concrete Association - NRMCA, 2008). El concreto permeable se ha estado usando en un amplio rango de aplicaciones como: pavimento permeable en zonas de estacionamiento, pisos en invernaderos para mantener el piso libre de agua acumulada, muros estructurales donde se requiere poca carga y/o aislamiento térmico, así como en pavimentos, muros y pisos donde se desean mejores características de absorción acústica, base para calles, pistas, accesos y aeropuertos, capa superficial para parques y campos de tenis, etc. Típicamente, se usa el concreto permeable sin refuerzo en todas estas aplicaciones debido al alto riesgo de corrosión del acero de refuerzo ya que el material posee una estructura de poros abiertos. (ACI 522R-10, 2010)

El problema abordado en la presente investigación se puede resumir en la pregunta: ¿El concreto permeable fabricado con agregado de piedra chancada de la cantera Taclán, cumple con los requisitos para ser usado en pavimentos urbanos?

A partir de lo expresado, el objetivo principal de la presente investigación es la de evaluar el cumplimiento de requisitos del concreto permeable fabricado con dicho agregado, para su utilización en pavimentos urbanos. Además, la hipótesis es: “El concreto permeable fabricado con agregados de piedra chancada de la cantera de Taclán, cumple con los requisitos para su uso en pavimentos”.

La evaluación del concreto permeable se llevó a cabo mediante ensayos de laboratorio, los principales ensayos para determinar el cumplimiento de los mínimos requisitos para poder ser aplicados en pavimentos urbanos, fueron: ensayo de resistencia a compresión de briquetas, ensayo de resistencia a flexión de vigas, y ensayo de infiltración.

En el primer capítulo se describe la metodología de la investigación identificando el problema, los objetivos, población-muestra e hipótesis.

En el segundo capítulo se describen los conceptos necesarios para un entendimiento global de la necesidad del uso de concreto permeable, que incluye sus propiedades, aplicaciones, y demás.

En el tercer capítulo se describe la metodología usada para la determinación de las propiedades del concreto permeable utilizando agregado de piedra chancada de la cantera de Taclán.

En el cuarto capítulo se dan a conocer los resultados obtenidos luego de realizar los ensayos necesarios para la determinación de propiedades del concreto permeable, así como discusiones de las mismas.

Finalmente, en el quinto capítulo, se exponen las conclusiones y recomendaciones que se consideran pertinentes.

El Tesista

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Antecedentes

El concreto permeable fue usado por primera vez en el año 1852 en la construcción de un par de casas y un dique en el Reino Unido, usando solamente grava gruesa y cemento. Un tiempo después en el año de 1923 en Edimburgo (Escocia), se construyó un grupo de 50 casas de dos pisos, usando Clinker y agregado de la zona, dichos materiales de construcción tenían propiedades permeables. En el periodo de 1930 a 1942, en Escocia, el “Scottich Special Housing Association Limited” adoptó el uso de concreto permeable para la construcción residencial en la construcción de más de 900 casas. (Barahona Aguiluz, Martinez Guerrero, & Zelaya Zelaya, 2013)

La Segunda Guerra Mundial de 1939 a 1945 dejó a casi toda Europa con vastas necesidades habitacionales, lo que alentó el desarrollo de nuevos métodos, o que no se habían usado previamente en la construcción de edificios. De manera notable, entre estos estaba el concreto permeable. Este usaba menos cemento por volumen unitario de concreto, en comparación con el concreto convencional, y el material era ventajoso en donde la mano de obra era escasa o costosa, es por ello que entre los años 1945 y 1956, muchas casas fueron construidas con concreto permeable, debido

principalmente a la cantidad limitada de agregado duro y la ausencia de buenos ladrillos, usando escorias demolidas de las edificaciones que fueron destruidas en la Segunda Guerra Mundial. (Pérez Ramos, Daniel, 2009)

Después de 1946, sin embargo, el concreto permeable se utilizó para una gama mucho más amplia de aplicaciones. Se especificó como un material para elementos de soporte de carga en edificios de hasta 10 pisos de altura en Francia en el año de 1965. Con los años, el concreto permeable contribuyó sustancialmente en la producción de nuevas casas en el Reino Unido, Alemania, Holanda, Francia, Bélgica, Escocia, España, Hungría, Venezuela, al Norte de África, el Medio Oriente, Australia y Rusia. (Pérez Ramos, Daniel, 2009)

Mientras que en América del Norte se tenía un uso limitado de dicho tipo de concreto, debido a que después de la Segunda Guerra Mundial, no se manifestó a gran escala la escasez de materiales como en Europa, por lo tanto, en Europa se vio descubierto esta clase de concreto, pero no se llevó a cabo una investigación de ello. En 1960 se reportó el primer uso de concreto permeable en Canadá, utilizado en la construcción de algunas casas en Toronto. Además, se utilizó en un edificio federal en Ottawa para su base estructural. (Pérez Ramos, Daniel, 2009)

Seguidamente se retomó la investigación de los pisos y pavimentos permeables en la ciudad de México en el año 1994 donde han sido utilizados con éxito. En los Estados Unidos se estudió el concreto permeable desde 1999, sometido a diferentes condiciones climáticas, llegando a ser los pioneros en la creación de Normas de estandarización en el uso y aplicación del concreto permeable. En el año 2002 el comité ACI "American Concrete Institute", manifestó los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en la ciudad de Florida, en la cual se aplicó concreto permeable en bermas y estacionamiento, reduciendo significativamente el volumen de escorrentía en las calles y estacionamiento que generan las precipitaciones, dando a conocer su resultado en la Norma ACI 522R-02. Posteriormente se realizaron más investigaciones sobre el concreto permeable, los cuales se publicaron en la editorial del año 2006 de la Norma ACI 522R-06, y a la fecha se publicó la última actualización de dicha norma, denominada ACI 522R-10 en el año 2010. De la misma forma en el

año 2009 la “American Society for Testing and Materials” (ASTM) creó una forma para medir la tasa de infiltración del pavimento de concreto permeable colocado, plasmando sus resultados en la Norma ASTM 1701. (Barahona Aguiluz *et al.*, 2013)

Hablando específicamente en el caso de México, existe una empresa concretera llamada Concreto Ecológico S.A., el cual ha desarrollado este concreto hidráulico permeable, con el propósito de resolver el problema del agotamiento de los mantos acuíferos, con la ventaja de que se puede utilizar en aplicaciones de uso común como son calles, plazas, banquetas, estacionamientos, etc. Este sistema hace posible que el agua se infiltre al subsuelo, ayudando así a la recarga de los mantos acuíferos de las ciudades y proporcionando otras ventajas que los pavimentos comunes no tienen, como son la eliminación de charcos (con la consecuente eliminación del acuaplaneo). Se fabrica sin materiales finos como la arena, siendo sustituida por un aditivo llamado HIDROCRETO® desarrollado por la misma empresa, el cual reacciona con el cemento, potencializándolo y provocando un rápido aumento de su resistencia durante los primeros minutos del fraguado. El resultado es una mezcla porosa, muy maleable, fácil de usar y colar, de muy alta resistencia a la compresión, llegando hasta los 250 kg/cm², así como una extraordinaria resistencia a la flexión de hasta de 60 kg/cm². (Concreto Ecológico de México S.A. de C.V., 2006)

Además, la empresa llamada Concreto Ecológico de México (2006) afirma que el gobierno mexicano reconoció este esfuerzo con el PREMIO NACIONAL DE ECOLOGÍA PREMIO AL MÉRITO ECOLÓGICO en el año 2000. De igual forma otras organizaciones han dado premios y reconocimientos a dicha empresa, tanto al producto como a sus desarrolladores, entre ellos:

- EL RECONOCIMIENTO A LA EXCELENCIA ECOLÓGICA Y AMBIENTAL otorgado por el Movimiento Ecologista Mexicano (julio del 2000).
- EL SOL DE ORO, Premio Especial al Mérito Ecológico 2003 otorgado por el Círculo Nacional de Periodistas, A. C.
- EL RECONOCIMIENTO POR CONTRIBUIR AL CUIDADO Y LA PRESERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE otorgado por Círculo Teorema (2004).
- EL GREEN BUSINESS AWARD otorgado por el World Resources Institute (2004).

1.2. Planteamiento del Problema

En nuestro medio se ha hecho extensivo el uso del concreto hidráulico para la fabricación de pavimentos urbanos, estacionamientos y losas deportivas; sin embargo, debido generalmente a la falta de un buen diseño de drenaje de los mismos, ocurren problemas, todos ellos debido a la propiedad inherente del mismo concreto hidráulico por poseer un alto grado de impermeabilidad.

Entre los problemas más comunes se tiene al empozamiento del agua proveniente de las lluvias, como consecuencia directa podemos citar a la suspensión de la práctica de deportes en el caso de las losas deportivas, así como la creación de focos infecciosos de enfermedades como el dengue, el zika, etc.; del mismo modo, debido a la impermeabilidad de concreto, se disminuye de manera directa la fuente de agua de los mantos acuíferos naturales, y además el nivel de servicio en los pavimentos se ve reducida.

Hace ya unos años se está estudiando y aplicando un tipo de concreto en varios países, denominado concreto permeable o poroso, el cual, como su nombre lo indica, tiene la propiedad de dejar pasar el agua a través de su masa, de tal manera que los problemas referidos a la impermeabilidad del concreto, son disueltos con este tipo de concreto.

La fabricación y diseño del concreto permeable o poroso es similar a la del concreto convencional, con la salvedad que la cantidad de agregado fino es considerablemente disminuido u obviado de su composición, sin embargo, si se desea alcanzar valores de resistencia a compresión y flexión elevados (similares o cercanos a la del concreto convencional) será necesario la adición de algún aditivo que le confiera las propiedades deseadas.

Es por ello que es necesaria la investigación en la fabricación de este tipo de concreto usando agregados disponibles en nuestro medio.

1.3. Formulación del Problema

El problema está formulado mediante el siguiente enunciado: *¿El concreto permeable fabricado con agregado de piedra chancada de la cantera Tacllán, cumple con los requisitos para ser usado en pavimentos urbanos?*

1.4. Justificación e Importancia de la Investigación

Un estudio del comportamiento del concreto permeable fabricado con agregados de fácil acceso para la ciudad de Huaraz, brinda una alternativa constructiva adicional para ser aplicada para la fabricación de veredas, ciclovías, zonas de estacionamiento, canchas de tenis, e incluso pavimentos de bajo volumen de tránsito, al mismo tiempo, con el aprovechamiento de la inherente propiedad permeable de dicho concreto, el empozamiento, así como la excesiva escorrentía causada por las lluvias en los pavimentos, serían anuladas, brindando así una alternativa de drenaje pluvial. Es por ello que es importante la evaluación del comportamiento del concreto permeable fabricado con agregados disponibles en nuestro medio, en el presente caso, con piedra chancada de la cantera de Tacllán.

1.5. Objetivos de la Investigación

1.5.1. Objetivo general.

- Evaluar el cumplimiento de requisitos del concreto permeable fabricado con agregado de piedra chancada de la cantera Tacllán, provincia de Huaraz, para su utilización en pavimentos urbanos.

1.5.2. Objetivos específicos.

- Determinar las Propiedades Mecánicas (Compresión y Flexión) del concreto permeable fabricado con el agregado de piedra chancada de la cantera de Tacllán.
- Determinar la capacidad de infiltración del concreto permeable fabricado con el agregado de piedra chancada de la cantera de Tacllán.

- Determinar el diseño de mezcla para Concreto Permeable que ofrezca un mejor comportamiento mecánico (compresión y flexión) para su aplicación en pavimentos.

1.6. Tipo de Investigación

La investigación denominada “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS URBANOS, FABRICADO CON AGREGADOS DE PIEDRA CHANCADA DE LA CANTERA DE TACLLÁN, PROVINCIA DE HUARAZ” se puede clasificar de la siguiente manera:

Según su objetivo, es una investigación aplicada, pues busca resolver un problema práctico, además de encontrar conocimientos para su aplicación real, teniendo la intención de mejorar la calidad de vida y contribuir con la sociedad.

Según su alcance, es una investigación exploratoria y correlacional; exploratoria porque es un acercamiento científico al problema, ayudando a encontrar los procedimientos adecuados, para elaborar una investigación posterior, es decir, establece contacto con el objeto de estudio dando una visión general de tipo aproximado. Al mismo tiempo es una investigación correlacional ya que persigue medir el grado de relación existente entre dos o más conceptos o variables.

Según su diseño, es una investigación experimental: pues se obtiene información de la actividad intencional, realizada por el investigador y que se encuentra dirigida a modificar la realidad con el propósito de crear el fenómeno mismo que se indaga y así poder observar los resultados, al tiempo que procura evitar, que otros factores intervengan en la observación. Es aquella que permite con más seguridad establecer relaciones de causa a efecto.

1.7. Población y Muestra

Población.

Concreto permeable fabricado con agregado de piedra chancada de la cantera de Taclán.

Muestra.

Concreto permeable fabricado con agregado de piedra chancada de tamaño máximo de 1/2" y de 3/8" de la cantera de Taclán.

1.8. Hipótesis

Se planteó la siguiente hipótesis: *“El concreto permeable fabricado con agregados de piedra chancada de la cantera de Taclán, cumple con los requisitos para su uso en pavimentos urbanos”.*

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Concreto Permeable

El término “concreto permeable” normalmente describe un material de textura abierta que consiste de cemento portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivos, y agua. La combinación de estos ingredientes producirá un material endurecido con poros conectados (ver Figura 1), que van de 2 a 8 mm de tal manera que el agua pasa a través fácilmente. El contenido de vacíos puede variar de 15 a 35 %, con un esfuerzo a compresión típica de 2.8 a 28 MPa. La velocidad de drenaje del pavimento de concreto permeable variará con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla, pero generalmente caerá en el rango de 81 a 730 L/min/m² o 0.14 a 1.22 cm/s. (American Concrete Institute, 2010)

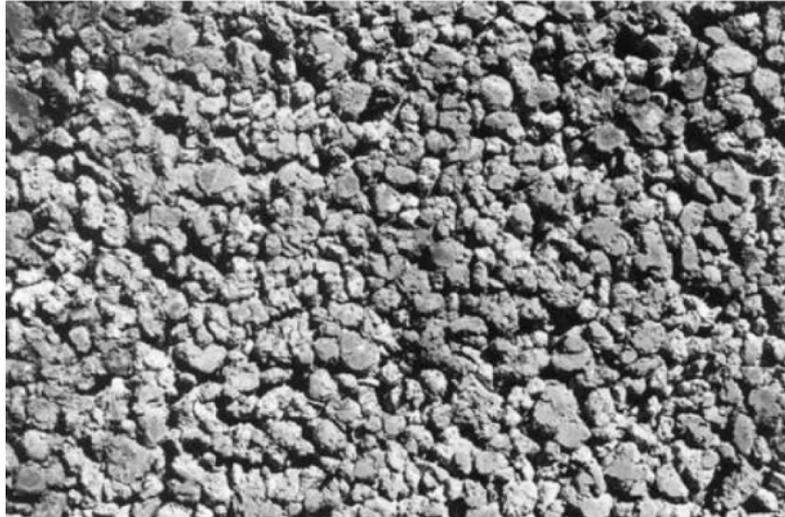


Figura 1: Textura del Concreto permeable en un pavimento usado en estacionamiento.

Fuente: ACI 522R-10, 2010

La preocupación ha estado creciendo en los recientes años hacia la reducción de sustancias contaminantes en los suministros de agua y el medio ambiente. En los años 60 los ingenieros se percataron que la escorrentía generada por la construcción tenía el potencial de contaminar el suministro de agua superficial y subterráneo. Además, a medida que se va urbanizando, la escorrentía se produce con mayor velocidad y volumen, llevando inundación y erosión aguas abajo. El pavimento de concreto permeable reduce el impacto que produce la urbanización, reduciendo o eliminando la tasa de escorrentía pluvial y protegiendo los suministros de agua. (American Concrete Institute, 2010)

2.2. Pavimento Permeable como Construcción Sostenible

La National Ready Mixed Concrete Association – NRMCA (2008) afirma que, el concreto permeable es una importante aplicación para la construcción sostenible.

Es necesario además resaltar que (Marchioni & Becciu, 2014) mencionan que, es posible confirmar la viabilidad del pavimento permeable como un sistema de drenaje urbano sostenible (SUDs por sus siglas en inglés) debido a que promueve efectivamente la reducción de volumen de escorrentía y la eliminación de contaminantes.

Además, en el Foro Ciudades para la Vida llevado a cabo el 2014, el cual fue encargado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, se menciona que la aplicación de pavimentos permeables es una medida de adaptación frente a ocurrencias de Inundaciones y Huaicos (Foro Ciudades para la Vida, 2014), tal como lo muestra la tabla siguiente.

Tabla 1: *Impactos y Medidas de Adaptación por Escenario*

Impactos	Escenario transición (E1)	Escenario transformación (E2)
Lluvias intensas	Reducir exposición, drenajes	Respuesta planificada, cosecha de agua, techos preparados para lluvias.
Vientos fuertes	Edificios bien cimentados, edificaciones firmes, mejorar localización	Estructuras bien cimentadas, edificaciones firmes, protección arbórea
Heladas, friaje	Aislamiento, conservación de temperatura, arborización, diseño pasivo	Diseño bioclimático, diseño pasivo, transmitancia térmica
Inundaciones, huaycos	Protección viviendas y sótanos, alerta temprana, drenaje, zonas de amortiguamiento.	Rediseño de vías, viviendas y sótanos, pavimentos permeables localización segura.
Islas de calor	Ventilación natural y sombra, diseño urbano, paisajismo desde áreas de protección hasta biohuertos.	Confort térmico, Diseño paisajista, Diseño bioclimático, techos y paredes verdes, agricultura urbana
Sequía (reducción de fuentes para hidroenergía)	Ecoeficiencia en el consumo de agua, tratamiento, reciclaje y reúso	Ahorro, separación, reciclaje y reúso y seguridad alimentaria. Cerrar el ciclo del agua
Aumento del nivel del mar	Ecoadaptación, construcción viva, eficiencia energética, biohuertos, autogeneración energética	Energías renovables, edificio inteligente
	Proteger, controlar erosión costera	Relocalización

Fuente: Foro Ciudades para la Vida (2014)

2.3. Aplicaciones del Concreto Permeable

El concreto permeable se ha estado usando en un amplio rango de aplicaciones como (American Concrete Institute, 2010):

- Pavimento permeable en zonas de estacionamiento.
- Capas rígidas drenantes en áreas exteriores de supermercados.
- Pisos en invernaderos para mantener el piso libre de agua acumulada.

- Muros estructurales donde se requiere poca carga y/o aislamiento térmico.
- Pavimentos, muros y pisos donde se desean mejores características de absorción acústica.
- Base para calles, pistas, accesos y aeropuertos.
- Capa superficial para parques y campos de tenis.
- Pisos para áreas en zoológicos, graneros y establos.
- Terraplenes en puentes.
- Pisos en piscinas.
- Estructuras en las playas y diques marinos.
- En plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Sistemas de almacenamiento de energía solar.
- Revestimiento en muros de pozos perforados.
- Arrecifes artificiales donde la estructura abierta del concreto permeable imita la estructura de un arrecife.

Típicamente, se usa el concreto permeable sin refuerzo en todas estas aplicaciones debido al alto riesgo de corrosión del acero de refuerzo ya que el material posee una estructura de poros abiertos (American Concrete Institute, 2010).

2.4. Aplicaciones en Pavimentos

Las ventajas de pavimentos del concreto permeable sobre los pavimentos de concreto convencional incluyen (American Concrete Institute, 2010);

- Control de la contaminación del agua pluvial.
- Incremento de instalaciones para estacionamientos mediante la eliminación de la necesidad de áreas destinadas a la retención de agua.
- Control de la escorrentía de agua pluvial.
- Reducción del hidroneo en superficies de carreteras y autopistas.
- Reducción en gran medida del brillo en las superficies de pavimentos, particularmente al encontrarse mojadas en la noche.
- Reducción del ruido de la interacción entre la rueda y el pavimento.
- Eliminación o reducción del tamaño del alcantarillado pluvial.

- Permite que el aire y el agua alcance las raíces de los árboles.

Los potenciales retos y desventajas de pavimentos del concreto permeable incluyen (American Concrete Institute, 2010);

- Uso limitado en áreas de tráfico vehicular pesado.
- Prácticas especializadas constructivas.
- Prolongado tiempo de curado.
- Sensibilidad al contenido de agua y control en estado fresco.
- Especial atención y cuidado en el diseño en ciertos tipos de suelo como son los suelos expansivos y aquellos susceptibles al congelamiento.
- Carencia de métodos de ensayo estandarizados.
- Especial atención posiblemente requerida con niveles altos del nivel freático.

Los ingenieros han especificado el concreto permeable en pavimentos como:

- Superficie de rodadura
- Base permeable y cunetas permeables
- Bermas

El éxito de los sistemas de pavimento permeable ha sido variado. En algunas áreas, los sistemas de pavimento de concreto permeable ha sido aplicado exitosamente, mientras que en otras se han obstruido en un corto tiempo. Muchas de las fallas se pueden atribuir a la inexperiencia del contratista, mayor compactación del suelo que el especificado, y diseño inapropiado del sitio. Para que un pavimento de concreto permeable trabaje satisfactoriamente (American Concrete Institute, 2010):

- La permeabilidad de los suelos debe ser verificada. Una tasa de percolación de 13mm/h y una capa de suelo de 1.2 m. o más, son generalmente recomendadas. Sin embargo, en las arcillas rojas de Piedmont, regiones de Carolina y Georgia, donde la tasa de infiltración de la subbase es mucho menor que 13mm/h, estos pavimentos facilitan la infiltración y filtración de la

escorrentía y recargando las aguas subterráneas (a pesar de no infiltrar toda la lluvia generada en grandes tormentas).

- La escorrentía durante la construcción y equipo pesado deben de ser custodiados de no ingresar al área del pavimento permeable. El pavimento de concreto permeable no debe de ser puesto en servicio hasta que toda la tierra perturbada que drene hacia él haya sido estabilizada con vegetación. Controles estrictos de erosión y sedimentación durante la construcción son esenciales para prevenir la obstrucción del sistema y debe de incorporarse dentro del plan de manejo de aguas pluviales en el sitio de construcción.
- El tráfico durante la construcción (especialmente vehicular) debe ser evitada en el área de construcción del concreto permeable para prevenir la compactación de las capas de suelo y pérdida de la capacidad de infiltración.

2.4.1. Superficie de rodadura.

El concreto permeable puede ser usado como superficie de rodadura para zonas de estacionamiento y carreteras de bajo volumen de tránsito. Su aplicación en los estados unidos ha sido extendida como su uso en superficies de rodadura. Muchas zonas de estacionamiento en Florida consisten en superficie de rodadura con concreto permeable. Su uso en Florida se debe a 3 factores (American Concrete Institute, 2010):

1. Frecuentemente Florida se encuentra con fuertes tormentas que causan una rápida acumulación de grandes cantidades de agua pluvial; el uso del concreto permeable reduce el volumen de escorrentía.
2. Los diseñadores prefieren que el agua pluvial sea retenida en el mismo sitio para recargar las aguas subterráneas.
3. La rentabilidad del uso del concreto permeable sobre los pavimentos convencionales es enormemente destacado con la eliminación del alcantarillado.

Zonas de estacionamiento. Concreto permeable fue usado como un material para el pavimentado de zonas de estacionamiento en el centro de Florida a principios

de los años 70. El concepto se desarrolló como un medio para manejar las enormes cantidades de agua que corren durante una tormenta; el concreto permeable permite la percolación del agua en la tierra debajo del pavimento. La Agencia de Protección Ambiental - Environmental Protection Agency - (EPA) ha adoptado una política que recomienda el uso del pavimento permeable como parte de sus Mejores Prácticas de Gestión - Best Management Practices (BMPs) como una manera para las comunidades de mitigar el problema de la escorrentía por aguas pluviales. Las zonas de parqueo también han sido seleccionadas como una solución integral al problema de los pavimentos calientes ya que la temperatura del aire sobre las zonas de estacionamiento de concreto permeable son generalmente más frías que el asfalto. Las zonas de estacionamiento de concreto permeable reducen la nieve y el desarrollo de hielo y son consideradas no contaminantes para el medio ambiente. El rango práctico para el diseño del espesor para pavimentos de concreto permeable es de 125 a 300 mm para zonas de estacionamiento llanas (American Concrete Institute, 2010).

Calzadas. El concreto permeable en calzadas es usualmente consideradas para dos aplicaciones como:

1. Base drenante, o material de subbase; y
2. Superficie para calzadas o capa de fricción

En ambas categorías, a pesar de que las características drenantes son propiedades requeridas, los requerimientos de resistencia pueden variar dependiendo del lugar donde el material se ubique en la sección del pavimento. El rango práctico para el diseño del espesor para pavimento permeable de 150 a 300 mm para calzadas en pavimentos llanos. Sin embargo, los recapados han sido realizados tan delgados como 50 mm. Muchas autopistas en Europa están siendo construidas usando una capa superficial de concreto permeable de látex modificado que permite el drenaje en pavimentos y reducción del ruido de los neumáticos. La modificación con látex resulta en mejores propiedades mecánicas (American Concrete Institute, 2010).

2.4.2. Bases permeables y cunetas permeables.

Una base de concreto permeable drena agua que normalmente sería acumulada debajo de un pavimento. Este tipo de construcción ayuda a reducir el bombeo de materiales de la subbase que podría conducir a la falla del pavimento. En algunos estados de EEUU, los departamentos de transportes han creado estándares constructivos para bases drenantes y cunetas permeables usando concreto permeable, por ejemplo, los estados de California, Illinois, Oklahoma y Wisconsin tienen dichas especificaciones estándares. El concreto permeable en estas aplicaciones es usualmente de baja resistencia (7 MPa o menos), y es usado conjuntamente con un geotextil no tejido. Un sistema similar puede ser usado en la estabilización de taludes. (American Concrete Institute, 2010)

2.4.3. Bermas.

Bermas de concreto permeable han sido usadas en Francia en un esfuerzo de reducir el bombeo bajo los pavimentos de concreto. Aditivos inclusores de aire son usadas para aumentar la resistencia al congelamiento y deshielo. Ha sido encontrado que la porosidad entre 15 y 25 % elimina en gran medida el riesgo debido al congelamiento, a menos que sea permitida la saturación del concreto. A menudo la resistencia a compresión es inferior a 14 MPa a los 28 días (American Concrete Institute, 2010).

2.5. Materiales

La combinación de materiales forma una aglomeración de agregado grueso envuelto por una fina capa de pasta de cemento endurecido en sus puntos de contacto. Esta configuración produce vacíos interconectados (típicamente de tamaños en el rango de 1 a 5 mm) entre el agregado grueso, lo cual permite al agua ser infiltrada con una tasa mucho mayor que con el concreto convencional. (American Concrete Institute, 2010)

2.5.1. Agregados.

Los agregados típicamente usados en concreto permeable pueden ser de tamaño uniforme o gradados entre 3/4" y 3/8". Tanto agregados de canto rodado y chancados, han sido usados en la fabricación de concreto permeable. El agregado usado debe cumplir los requerimientos del ASTM D448 y C33. El contenido de agregado fino es limitado en las mezclas de concreto permeable debido a que tiende a comprometer el sistema de poros conectados. La adición de agregado fino puede incrementar el esfuerzo a compresión y la densidad, pero al mismo tiempo causa la reducción de la fluidez del agua a través de la masa del concreto permeable. (American Concrete Institute, 2010)

La calidad del agregado en el concreto permeable es igual de importante que en un concreto convencional. Partículas laminares o alargadas deben de ser evitadas. El agregado grueso gradado debe de ser duro y limpio, y libre de recubrimientos, como polvo o arcilla, u otro químico absorbido que pudiera afectar perjudicialmente el vínculo pasta/agregado o la hidratación del cemento. (American Concrete Institute, 2010)

La humedad del agregado al momento de la mezcla es importante. La absorción del agregado debería ser satisfecha mediante el acondicionamiento del agregado como sea necesario para lograr la condición de superficie seca saturada (SSD). De otra manera, un agregado seco, podría resultar en una mezcla que carece de una adecuada trabajabilidad para el colocado y compactación. Agregados demasiado húmedos pueden contribuir al drenado de la pasta, causando obstrucciones intermitentes en la deseada estructura porosa. (American Concrete Institute, 2010)

2.5.2. Materiales cementantes

El cemento Portland conforme al ASTM C150, C595, o C1157 es usado como el principal ligante. Poner a prueba los materiales en lotes de prueba es fuertemente recomendada para verificar que la compatibilidad cemento-aditivo no sea un problema y que el tiempo de colocado, el desarrollo del índice de resistencia, la porosidad y permeabilidad puedan ser logradas para proveer las características

requeridas para la colocación anticipada y condiciones de servicio (American Concrete Institute, 2010).

2.5.3. Agua

La calidad del agua para concreto permeable está gobernada por los mismos requerimientos para el concreto convencional. Los concretos permeables deben ser proporcionados con una relación de agua-cemento relativamente baja (usualmente de 0.26 a 0.40) ya que un exceso en la cantidad de agua llevaría al drenado de la pasta y a una posterior obstrucción del sistema de poros. La adición de agua, por lo tanto, tiene que ser monitoreada muy de cerca en el campo. Puede ser empleada agua reciclada de operaciones con concreto, pero solo si cumple con las disposiciones del ASTM C94 o AASHTO M-157. (American Concrete Institute, 2010)

El correcto contenido de agua ha sido descrito como dando a la mezcla un brillo, sin flujo del agregado. Un puñado de concreto permeable formado en una bola no se desmoronará o perderá su estructura porosa mientras la pasta fluye en los espacios entre los agregados. Ver figura 2. (Portland Cement Association; National Ready Mixed Concrete Association, 2004)



Figura 2: Muestras de concreto permeable con diferentes contenidos de humedad, formadas en una bola: (a) muy poca agua, (b) apropiada cantidad de agua, y (c) demasiada agua.

Fuente: (Portland Cement Association; National Ready Mixed Concrete Association, 2004)

2.5.4. Aditivos

Aditivos reductores de agua deben cumplir con los requerimientos del ASTM C494. Aditivos retardantes son usados para estabilizar y controlar la hidratación del

cemento. Aditivos retardantes son preferidos frecuentemente cuando se trata de mezclas sin fluidez, como lo es el concreto permeable, estos son útiles especialmente en aplicaciones en climas calientes. Los aditivos retardantes pueden actuar como lubricante para ayudar a la descarga del concreto de un mixer y puede mejorar la manipulación y las características de desempeño en el colocado. Aditivos aceleradores pueden ser usados cuando el concreto permeable es instalado en climas fríos. Estudios reportan el uso de estabilizadores de hidratación del cemento como una ayuda en la prolongación del tiempo de trabajo de la mezcla y aditivos modificadores de viscosidad para mejorar la trabajabilidad; estas ventajas han sido también presenciadas durante la producción y colocado en proyectos actuales. (American Concrete Institute, 2010)

Aditivos incorporadores de aire deben cumplir los requisitos del ASTM C260; estos aditivos comúnmente no son usados en concretos permeables, pero pueden ser usados en ambientes susceptibles al congelamiento y deshielo. Sin embargo, no existe un método fiable para cuantificar el volumen de aire incorporado en estos materiales. La incorporación de fibras en las mezclas a ser expuestas al congelamiento y deshielo ha mostrado éxito en algunos estudios para mejorar la durabilidad en climas fríos (American Concrete Institute, 2010).

Es además referido que el uso de productos químicos para la construcción es beneficioso cuando hay viento, condiciones ambientales secas crean elevadas tasas de evaporación que reducen la ventana de tiempo para que una mezcla sea colocada más eficientemente. El uso de retardadores de evaporación puede ser de ayuda en este asunto. (American Concrete Institute, 2010)

2.6. Propiedades del Concreto Permeable

2.6.1. Propiedades del concreto permeable fresco.

La mezcla fresca de concreto permeable es comparable con el concreto tradicional. Los valores de slump al ser medidos son generalmente menores a 20 mm, aunque han sido usados valores tan altos como 50 mm. Una vez colocado y

compactado, los agregados están bien adheridos unos a otros, exponiendo la característica de matriz abierta.

Para el control de calidad, el peso unitario es la medición preferida ya que algunas propiedades del concreto fresco, como el Slump, no son significativos para el concreto permeable. Los pesos unitarios de las mezclas de concreto permeable tienen un valor aproximado del 70% de las mezclas de concreto tradicional.

Típicamente el tiempo de trabajo con el concreto permeable es reducido. Usualmente se recomienda no más de una hora mezclando y colocando. Sin embargo, esto puede ser controlado con el uso de retardadores y estabilizadores de hidratación que extienden el tiempo de trabajo a lo mucho a 1.5 horas, dependiendo de la dosificación. (Portland Cement Association; National Ready Mixed Concrete Association, 2004)

2.6.2. Esfuerzo a compresión.

Las mezclas de concreto permeable pueden alcanzar esfuerzos a compresión en el rango de 3.5 MPa a 28 MPa, lo cual es adaptable para una amplia gama de aplicaciones, pero generalmente los valores se encuentran por los 17 MPa. Como cualquier otro concreto, las propiedades y combinaciones de materiales específicos, así como las técnicas de colocación y las condiciones ambientales, determinarán el esfuerzo insitu. El uso de testigos es la mejor forma de hallar los valores de esfuerzo insitu, pues son más representativas que las probetas. (Portland Cement Association; National Ready Mixed Concrete Association, 2004)

La figura 3 muestra la relación entre la resistencia a compresión y el contenido de aire (Meininger, 1988), la cual es basada en una serie de pruebas de laboratorio donde dos tamaños de agregado grueso fueron usados y el esfuerzo de compactación y gradación del agregado fue variada.

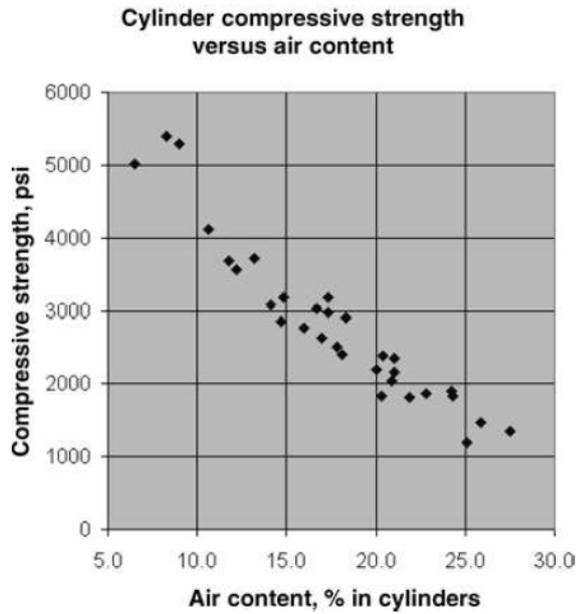


Figura 3: Relación entre el contenido de aire y resistencia de compresión para concreto permeable

Fuente: (Meininger, 1988)

Nota: 1 PSI = 0.006895 MPa

La figura 4 (Mulligan, 2005) muestra una relación entre la resistencia a compresión del concreto permeable y el peso unitario. La figura es basada en otra serie de pruebas de laboratorio donde solo se usó un tamaño de agregado grueso y el esfuerzo de compactación y la relación agregado/cemento fue variada.

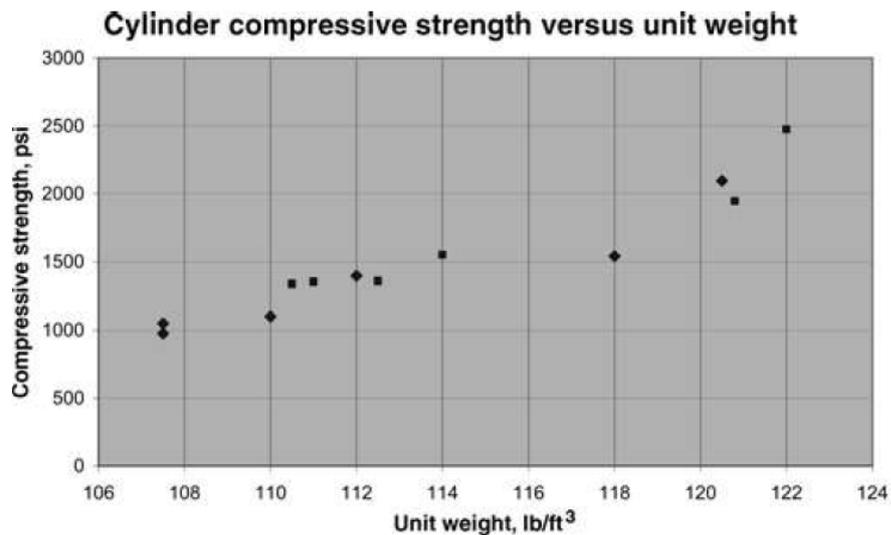


Figura 4: Relación entre el peso unitario y la resistencia a compresión para concreto permeable

Fuente: (Mulligan, 2005)

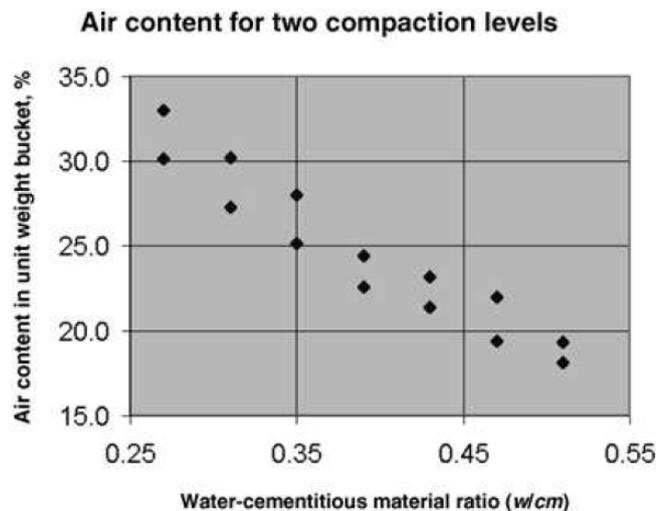
Notas: 1 PSI = 0.006895 MPa; 1 lb/ft³ = 16.02 Kg/m³

La figura 3 muestra que, relativamente altas resistencias a compresión de mezclas de concreto permeable son posibles, pero la alta resistencia es lograda solo con la reducción del contenido de aire. Esto resulta en una pérdida en la eficiencia de la permeabilidad del concreto permeable.

Un incremento en el tamaño del agregado ha sido reportado que resulta en la reducción de la resistencia compresiva, mientras que aditivos polímeros y aditivos minerales incrementan el esfuerzo a compresión para la misma gradación de agregado (Jing & Guoliang, 2003).

Aunque la relación agua/cemento de una mezcla de concreto permeable es importante para el desarrollo de la resistencia a la compresión y el contenido de vacíos, la relación entre la a/c y la resistencia a compresión del concreto convencional no es aplicable para las propiedades del concreto permeable. Una alta relación a/c puede resultar en la pasta fluyendo en la superficie del agregado, saturando la estructura porosa. Una baja relación a/c puede resultar en una adhesión reducida entre las partículas de agregado y problemas de colocado.

La figura 5 (Meininger, 1988) muestra la relación entre la relación a/c y el contenido de vacíos del concreto permeable (con el contenido de cemento y agregado mantenido constante) fabricado con dos diferentes niveles de compactación. La experiencia ha mostrado que la relación a/c de 0.26 a 0.45 provee un buen revestimiento al agregado y estabilidad de la pasta. Cuando agregado fino es usado en la proporción de concreto permeable, se cree que el tamaño del grano del agregado fino, influye en la porosidad y, consecuentemente, en la resistencia a compresión del material (American Concrete Institute, 2010).



*Figura 5: Relación entre el contenido de aire y la energía de compactación para concreto permeable.
Fuente: (Meininger, 1988)*

El contenido total del material cementante de una mezcla de concreto permeable es importante en el desarrollo de resistencia a compresión y contenido de vacíos. Un excesivo contenido de pasta puede resultar en una estructura porosa obstruida y, consecuentemente, reducir la porosidad. Un contenido insuficiente de material cementante puede resultar en una reducida capa de pasta en el agregado y reducir la resistencia a compresión. El contenido óptimo de material cementante depende en gran medida del tamaño del agregado y la gradación (American Concrete Institute, 2010).

Otro factor que puede tener un impacto significativo en la resistencia de concretos permeables es el espesor de la capa de pasta que rodea al agregado. Esto está relacionado con el tamaño del agregado, el contenido de material cementante, y la relación a/c (American Concrete Institute, 2010).

2.6.3. Esfuerzo a Flexión.

El esfuerzo a flexión en concretos permeables generalmente varían entre 1 MPa y 3.8 MPa. Muchos factores son lo que influyen en el esfuerzo a flexión, particularmente el grado de compactación, porosidad, y el agregado: relación agua cemento. Sin embargo, la aplicación típica constructiva con concreto permeable no requiere de la medición del esfuerzo a flexión para el diseño (Portland Cement Association; National Ready Mixed Concrete Association, 2004).

En la figura 6 (Meininger, 1988) se muestra la relación entre la resistencia a flexión del concreto permeable y el contenido de aire. A pesar de que estos resultados se basan en un limitado número de especímenes, comparando la información de las figuras 3 y 6 indica que existe una relación entre la resistencia a compresión y flexión del concreto permeable. La figura 7 (Meininger, 1988) muestra la relación entre la resistencia a compresión y flexión del concreto permeable para una serie de ensayos de laboratorio. Resultados de otra serie de ensayos relacionando la resistencia a flexión y la porosidad es mostrada en la figura 8 (Neithalath , 2004).

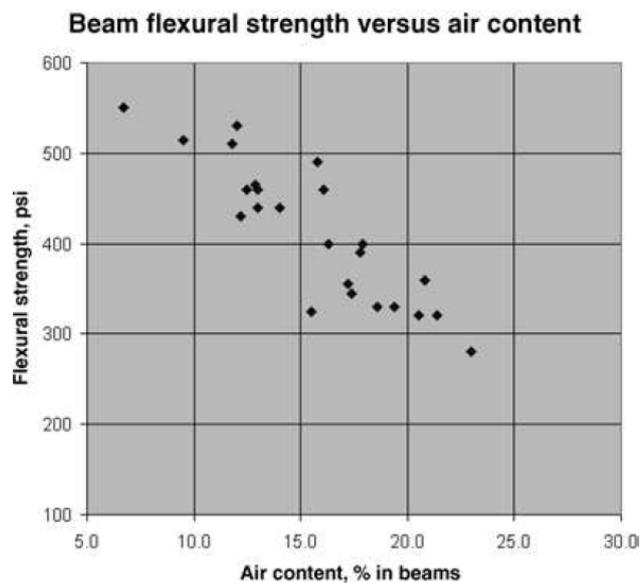


Figura 6: Relación entre el contenido de aire y la resistencia a flexión para concreto permeable.

Fuente: (Meininger, 1988)

Notas: 1 PSI = 0.006895 MPa

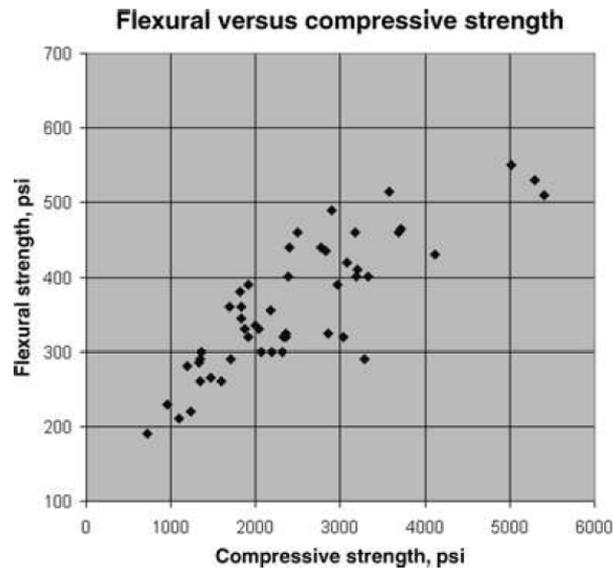


Figura 7: Relación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión para concreto permeable

Fuente: (Meininger, 1988)

Notas: 1 PSI = 0.006895 MPa

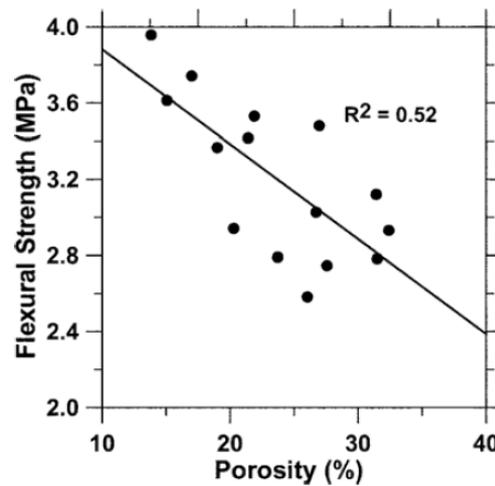


Figura 8: Relación entre la resistencia a flexión y la porosidad para concreto permeable

Fuente: (Neithalath, 2004)

Notas: 1 PSI = 0.006895 MPa

La adición de una pequeña cantidad de arena (aproximadamente 5% en volumen) incrementa la resistencia a flexión del concreto permeable (Neithalath, 2004).

2.6.4. Contenido de vacíos y densidad.

La densidad del concreto permeable depende de las propiedades y proporciones de los materiales usados, y de los procedimientos en la compactación usados en su colocación. La densidad insitu comúnmente varía de 1600 a 2000 Kg/m³, lo cual se encuentra por sobre el rango de concretos livianos. (Portland Cement Association; National Ready Mixed Concrete Association, 2004)

El contenido de vacíos depende en gran medida de distintos factores: la gradación del agregado, el contenido de material cementante, la relación a/c, y esfuerzo de compactación (American Concrete Institute, 2010).

La influencia de la gradación del agregado en la porosidad, para especímenes de concreto permeable preparados en laboratorio, es mostrada en la figura 9. Se puede obtener un rango de porosidades mediante la combinación de dos diferentes tamaños de agregado (Neithalath , 2004).

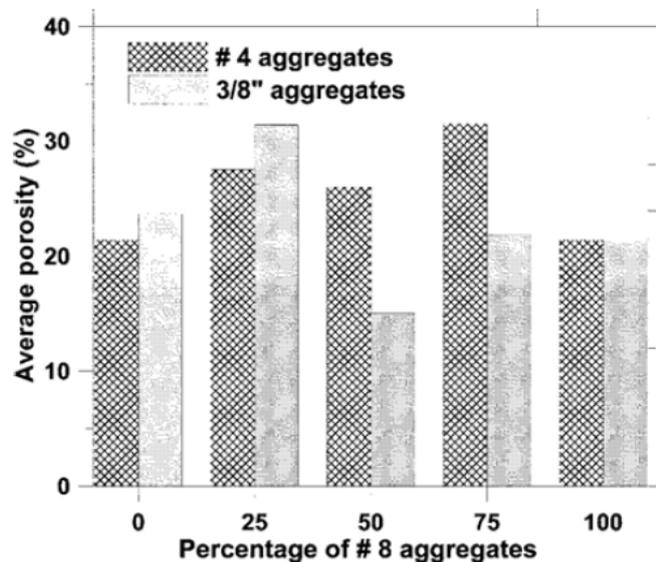


Figura 9: Influencia del tamaño del agregado y la gradación en la porosidad de concretos permeables

Fuente: (Neithalath , 2004)

La energía de compactación tiene una influencia en el contenido de vacíos, la porosidad, y la densidad para una mezcla de concreto permeable dada. En una serie de pruebas de laboratorio (Meininger, 1988), una sola mezcla de concreto permeable compactado con ocho diferentes niveles de energía, producen valores de peso

unitario que varían de 1680 a 1920 Kg/m³. La figura 4 muestra que esta variación de pesos unitarios y contenido de vacíos puede tener un efecto medible en la resistencia a compresión del concreto permeable (American Concrete Institute, 2010).

2.6.5. Tamaño de poros.

Los tamaños o rangos de tamaño de poros en concreto permeable es también un importante factor en la influencia de sus propiedades. La influencia del tamaño de poros en la permeabilidad y la absorción acústica ha sido documentada (Neithalath , 2004). Para generar poros de mayor tamaño en el material, mayores tamaños de agregado son recomendados. Poros de mayor tamaño son recomendados porque pueden reducir las probabilidades de saturación de poros (Nelson, 1994). Las figuras 10 y 11 representan la influencia de agregado de tamaño uniforme, además de la variación de proporciones de dos agregados de diferente tamaño, en el tamaño de los poros del concreto permeable. Siendo reemplazados agregados de menor tamaño por agregados de mayor tamaño aumenta el tamaño de los poros. Esto se debe a que el agregado de mayor tamaño no puede ser capaz de llenar el vacío dejado por el agregado más fino (Neithalath , 2004).

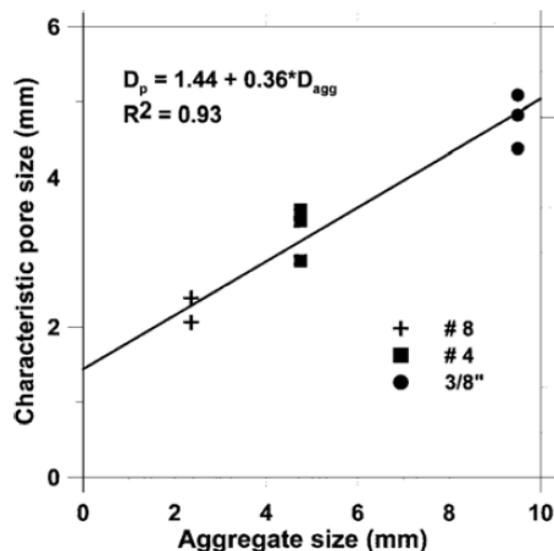


Figura 10: Influencia del tamaño del agregado en el tamaño de poros de mezclas de concreto permeable con agregados de tamaño uniforme
Fuente: (Neithalath , 2004)

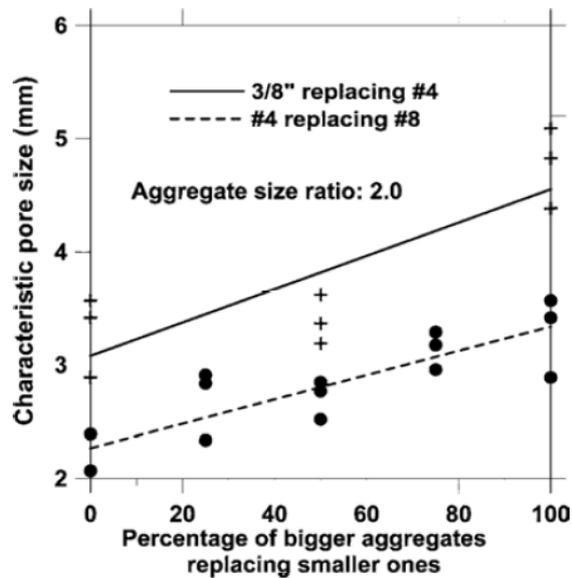


Figura 11: Influencia de la combinación de agregados en el tamaño de poros del concreto permeable
Fuente: (Neithalath , 2004)

2.6.6. Permeabilidad.

La velocidad del flujo a través del concreto permeable depende de los materiales y el colocado. El valor de la velocidad de flujo de agua a través del concreto permeable varía de 120 L/m²/min a 320 L/m²/min, o de 0.2 cm/s a 0.54 cm/s, incluso con valores superiores a 700 L /m²/min o 1.2 cm/s y aún más altos han sido medidos en el laboratorio. (Portland Cement Association; National Ready Mixed Concrete Association, 2004)

La tasa de infiltración del concreto permeable está directamente relacionada con la porosidad y el tamaño de poros. Pruebas han mostrado (Meininger, 1988) que una porosidad mínima de aproximadamente de 15% es necesaria para lograr una permeabilidad significativa. La figura 12 (Meininger, 1988) muestra la relación entre el contenido de aire y la tasa de infiltración de una mezcla de concreto permeable. Debido a que la tasa de infiltración incrementa a medida que el contenido de vacíos aumenta, consecuentemente, la resistencia a compresión disminuye, el reto en el proporcionamiento de mezcla en concreto permeable es lograr un balance entre una tasa de infiltración aceptable y una resistencia a compresión aceptable (American Concrete Institute, 2010).

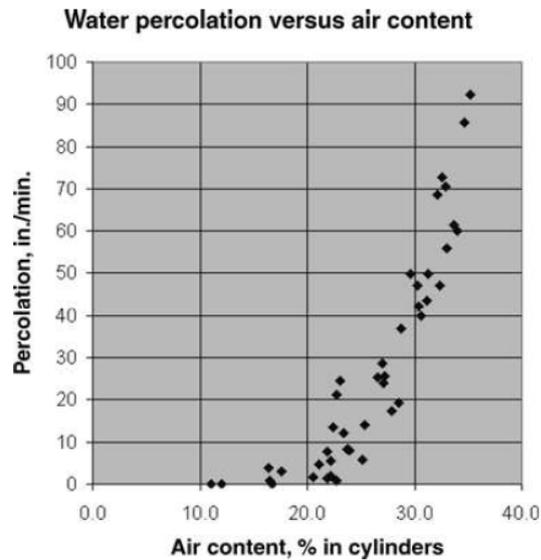


Figura 12: Relación entre el contenido de aire y la tasa de infiltración para concreto permeable

Fuente: (Meininger, 1988)

Permeámetro de carga variable. La permeabilidad del concreto permeable puede medirse con un simple permeámetro de carga variable como se muestra en la Figura 13. En este caso, la muestra esta recubierta con una membrana de látex para evitar derrame de agua por los lados del espécimen. Se vierte agua al cilindro graduado llenando de agua al espécimen y al tubo de drenaje.

Con la válvula cerrada, el cilindro graduado es llenado con agua. Entonces la válvula se abre y se mide el tiempo t en segundos que el agua tarda en caer desde una altura inicial h_1 a una altura final h_2 . El equipo que se muestra está calibrado para una carga inicial de 290 mm y una carga final de 70 mm. La permeabilidad k (mm/s) puede expresarse como: $k = \Delta/t$

Donde Δ , es una constante igual a $\Delta = 290 - 70 = 220 \text{ mm}$

(American Concrete Institute, 2010)

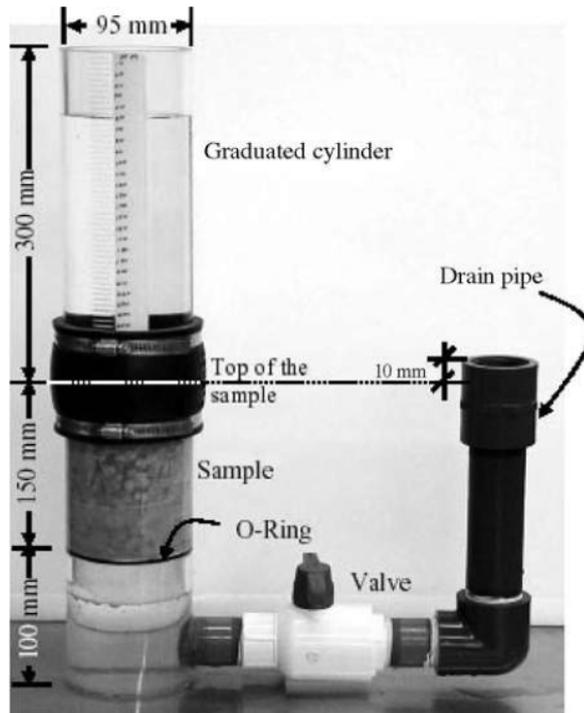


Figura 13: Aparato medidor de la permeabilidad del concreto permeable mediante un permeámetro de carga variable.

Fuente: American Concrete Institute (2010)

En el tipo de permeámetro mostrado en la Figura 14, se mide la cantidad de agua que atraviesa una muestra de suelo por diferencia de niveles en un tubo alimentador. En dicha figura aparecen dos dispositivos típicos, el (a) usado en suelos predominantemente finos y el (b) apropiado para materiales más gruesos.

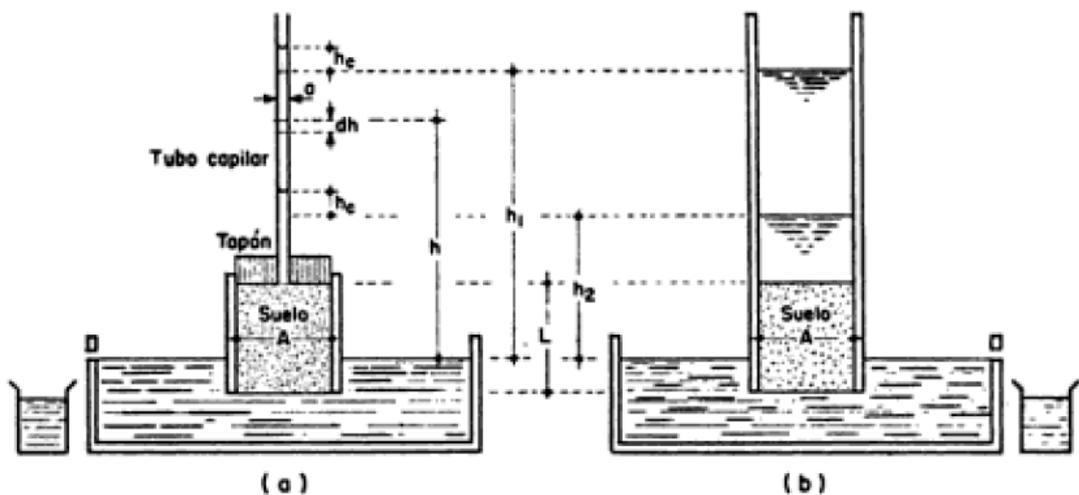


Figura 14: Esquemas del permeámetro de carga variable. (a) Para suelos finos, (b) Para suelos gruesos.

Fuente: Juárez Badillo & Rico Rodriguez (2005)

Al ejecutar la prueba se llena de agua el tubo vertical del permeámetro, observándose su descenso a medida que el agua atraviesa la muestra. Con referencia a la Figura 14, sea:

a = Área del tubo vertical de carga

A = Área de la muestra

L = Longitud de la muestra

h_1 = Carga hidráulica al principio de la prueba

h_2 = Carga hidráulica al final de la prueba

t = Tiempo requerido para que la carga hidráulica pase de h_1 a h_2

La siguiente fórmula permite el cálculo del coeficiente de permeabilidad:

$$k = \frac{La}{At} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

Debido a que el área de la muestra es igual al área del tubo vertical de carga, finalmente se puede expresar como:

$$k = \frac{L}{t} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

(Juárez Badillo & Rico Rodriguez, 2005)

2.7. Requisitos de Desempeño del Pavimento Permeable para la Aplicación del Concreto Permeable en Pavimentos

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos (2010) del reglamento nacional de edificaciones, no hace mención alguna acerca de los pavimentos de concreto permeable, pero se muestran los requisitos mínimos para otro tipo de pavimentos, los cuales sirven de referencia en la presente investigación:

Tabla 2: Requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos

Elemento		Tipo de Pavimento		
		Flexible	Rígido	Adoquines
Sub-rasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
		Espesor compactado: ≥ 250 mm – Vías locales y colectoras ≥ 300 mm – Vías arteriales y expresas		
Sub-base		CBR ≥ 40 %	CBR ≥ 30 %	
Base		CBR ≥ 80 %	N.A.*	CBR ≥ 80%
Imprimación/capa de apoyo		Penetración de la Imprimación ≥ 5 mm	N.A.*	Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm.
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	≥ 50 mm	≥ 150 mm	≥ 60 mm
	Vías colectoras	≥ 60 mm		≥ 80 mm
	Vías arteriales	≥ 70 mm		NR**
	Vías expresas	≥ 80 mm	≥ 200 mm	NR**
Material		Concreto asfáltico ***	MR ≥ 34 Kg/cm ² (3,4 MPa)	f _c ≥ 380 Kg/cm ² (38 MPa)

Fuente: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2010)

Donde se puede apreciar que, en el caso de usar un pavimento rígido, como es el caso del pavimento permeable, el índice determinante es el Módulo de Rotura (MR) o también conocido como la resistencia a la flexión, el cual deberá tener un valor mayor e igual a 34 Kg/cm² (3.4 MPa); además de indicar que el espesor mínimo de la capa de rodadura deberá ser de 150 mm.

Así mismo, en la misma fuente se mencionan los requisitos para pavimentos especiales, los cuales vienen a ser las aceras, pasajes peatonales y ciclovías. En la tabla que se muestra a continuación se detallan dichos requisitos:

Tabla 3: Requisitos para pavimentos especiales

Elemento \ Tipo de Pavimento		Aceras o Veredas	Pasajes Peatonales	Ciclo vías
		Sub-rasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar
		Espesor compactado: ≥ 150 mm		
Base		CBR ≥ 30 %	CBR ≥ 60%	
Espesor de la capa de rodadura	Asfáltico	≥ 30 mm		
	Concreto de cemento Portland	≥ 100 mm		
	Adoquines	≥ 40 mm (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina , de espesor comprendido entre 25 y 40 mm)		
Material	Asfáltico	Concreto asfáltico*		
	Concreto de cemento Portland	$f_c \geq 175 \text{ Kg/cm}^2 (17,5 \text{ MPa})$		
	Adoquines	$f_c \geq 320 \text{ Kg/cm}^2 (32 \text{ MPa})$	N.R. **	

Fuente: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2010)

Donde se puede apreciar que para la aplicación de pavimento de concreto en pavimentos especiales la resistencia a compresión no deberá ser menor a 175 Kg/cm^2 (17.5 MPa), además de un espesor mínimo de 100 mm.

Pese al alto contenido de vacíos, los pavimentos de concreto permeable adecuadamente colocados, pueden superar valores de 20.5 MPa a ensayos a compresión, así como también superar valores de 3.5 MPa a ensayos a flexión (Módulo de Rotura). Estos valores son más que adecuados para muchas aplicaciones de bajo volumen de tránsito, incluyendo altas cargas del eje del camión de basura y vehículos de emergencia como el camión de bomberos. Para aplicaciones más exigentes se requieren diseño de mezclas, diseños estructurales y técnicas de colocado especiales. (Portland Cement Association; National Ready Mixed Concrete Association, 2004)

Además, el concreto permeable para poder ser considerado como tal, deberá poseer una tasa de percolación que varíe de $120 \text{ L /m}^2/\text{min}$ a $320 \text{ L /m}^2/\text{min}$, o de 0.2 cm/s a 0.54 cm/s , e incluso puede llegar a valores superiores a $700 \text{ L /m}^2/\text{min}$,

1.2 cm/s y aún más altos. (Portland Cement Association; National Ready Mixed Concrete Association, 2004)

Es preciso señalar que el diseño del concreto permeable como sistema del manejo de lluvias, debe considerar dos condiciones: permeabilidad y capacidad de almacenaje. Con esto, el exceso de escorrentía superficial (causado ya sea por baja permeabilidad o por la inadecuada capacidad de almacenaje), debe ser evitado. (Portland Cement Association; National Ready Mixed Concrete Association, 2004)

2.8. Dosificación en Concreto Permeable

El concreto permeable usa los mismos materiales que concreto convencional, con las excepciones que el agregado fino típicamente es eliminado por completo, y la gradación del agregado grueso se mantiene estrecho, permitiendo relativamente la inclusión de pequeñas partículas. Esto provee la propiedad permeable, pero también resulta en una mezcla que requiere diferentes consideraciones en mezclado, colocado, compactación y curado. Las proporciones de mezcla son en cierto modo menos flexibles que las mezclas de concreto convencionales; controles rigurosos en las tandas de todos los ingredientes son necesarios para producir los resultados deseados. Frecuentemente, los productores locales de concreto serán capaces de determinar la mejor proporción de mezcla usando los materiales disponibles de la zona basados en los lotes de prueba y la experiencia. La tabla 04 provee rangos típicos de proporciones de los materiales con concreto permeable. (Portland Cement Association; National Ready Mixed Concrete Association, 2004)

Tabla 4: Rangos Típicos de las Proporciones de los Materiales en Concreto Permeable

	Proportions, lb/yd³	Proportions, kg/m³
Cementitious materials	450 to 700	270 to 415
Aggregate	2000 to 2500	1190 to 1480
Water:cement ratio* (by mass)	0.27 to 0.34	
Aggregate:cement ratio* (by mass)	4 to 4.5:1	
Fine:coarse aggregate** (by mass)	0 to 1:1	

Fuente: Portland Cement Association; National Ready Mixed Concrete Association (2004)

Estas proporciones se proporcionan solo para información. El diseño de mezcla exitoso dependerá de las propiedades de los materiales usados y deberán ser analizados en tandas de prueba para establecer las proporciones apropiadas y determinar el comportamiento esperado. Los productores de concreto deberán tener proporciones de mezcla para concreto permeable optimizado para su desempeño con materiales disponibles de la zona. En dichas condiciones aquellas proporciones son preferibles.

Aditivos químicos, particularmente retardadores y estabilizadores de hidratación son también usados comúnmente, en proporciones recomendadas por el fabricante. Es común también el uso de materiales cementantes adicionales como ceniza volante (fly ash) y escoria.

* Proporciones más altas han sido usadas, pero reducciones significantes en resistencia y durabilidad pueden resultar.

** La adición de agregado fino reducirá el contenido de vacíos e incrementará la resistencia.

En general, la filosofía dominante del proporcionamiento de mezcla para el concreto permeable es lograr el balance entre vacíos, resistencia, contenido de pasta y trabajabilidad. (American Concrete Institute, 2010)

En la presente investigación se hizo uso del aditivo hiperplastificante CHEMA MEGAPLAST, dicha hoja técnica se encuentra adjuntado en el Anexo P, en el cual se especifica la dosis recomendada, el cual varía de 0.52% a 2.10% del peso del cemento, dependiendo del nivel de fluidez requerido.

2.9. Definición de Términos Según el ACI

Área impermeable. Área cubierta por un material que evita la infiltración de contaminantes y el recargamiento de suministros de aguas subterráneas a partir de las precipitaciones. (American Concrete Institute, 2010)

Contenido de vacíos. El índice del volumen de vacíos, incluyendo el aire atrapado e incorporado, con relación al volumen total expresado en porcentaje. (American Concrete Institute, 2010)

Concreto permeable. Concreto hidráulico proporcionado con suficientes vacíos interconectados que resulta en un material altamente permeable, permitiendo fácilmente el paso del agua. (American Concrete Institute, 2010)

Escorrentía. Agua proveniente de lluvia o nieve que no es absorbido por el suelo y que en lugar de ello fluye sobre superficies permeables hacia riachuelos y ríos. (American Concrete Institute, 2010)

Módulo de Ruptura. Medida de la capacidad de carga última de una viga, algunas veces llamado módulo de ruptura o resistencia a la rotura. Se calcula para la tensión de tracción aparente en la fibra extrema de una probeta de ensayo transversal bajo la carga que produce rotura. (American Concrete Institute, 2000)

Pavimento (de concreto). Capa de concreto que se coloca sobre áreas tales como caminos, aceras, canales, patios de juegos y superficies utilizadas para almacenamiento o estacionamiento. (American Concrete Institute, 2000)

Pavimento Permeable. Un pavimento compuesto de material con suficientes vacíos continuos para permitir el paso del agua desde la superficie a capas ubicadas por debajo. (American Concrete Institute, 2010)

Porosidad. El volumen de espacios vacíos intersticiales abiertos y conectados en el concreto permeable. (American Concrete Institute, 2010)

Tasa de Percolación. La tasa, usualmente expresada como mm por segundo, en el que el agua se mueve a través del concreto permeable. (American Concrete Institute, 2010)

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Resumen Metodológico

Para la realización de la presente investigación se prepararon especímenes para ser ensayados a compresión, flexión e infiltración y de esa manera evaluar su comportamiento frente a dichos ensayos.

Se realizaron ensayos con agregados de piedra chancada con tamaño máximo de 1/2", así como con agregados de piedra chancada con tamaño máximo de 3/8"; ambos extraídos de la cantera de Taclán.

Debido a la poca investigación en este tipo de concreto, no existe un diseño de mezcla establecido, por lo que se realizaron dosificaciones de acuerdo a las recomendaciones que brinda el ACI mediante el reporte emitido titulado "Report on Pervious Concrete" ACI 522R-10, el cual se encuentra especificado en el punto 2.8.

Un factor importante tomado en cuenta en la dosificación fue la trabajabilidad del concreto permeable para su colocado. Además, como mínimo, para cada dosificación, se tomaron 3 especímenes para ser ensayados a compresión, 2 especímenes para módulo de rotura (o flexión) y 2 para infiltración; lo cual se

encuentra detallado en el punto 3.4. Los ensayos de compresión y flexión se realizaron a los 28 días de curado, mientras que los ensayos de infiltración se realizaron a partir del 7mo día de curado, es preciso señalar que el ensayo de permeabilidad se efectuó con un permeámetro de fabricación propia.

Al mismo tiempo se realizaron 2 losas de prueba de 0.60 m x 0.60 m y 0.15 cm de espesor (una con tamaño máximo de agregado de 1/2" y otra con tamaño máximo de 3/8"), las cuales fueron ensayadas a infiltración haciendo uso de la norma ASTM C 1701 denominada "Ensayo de Determinación de la Tasa de Infiltración del Concreto Permeable Colocado" (American Society for Testing and Materials, 2009)

Al mismo tiempo, en algunos especímenes se hizo uso de un aditivo hiperplastificante, permitiendo bajar la relación A/C y así tratar de obtener mejores resultados en resistencia.

3.2. Cantera de Extracción

La cantera de donde se extrajo la piedra chancada lleva por nombre Cantera Taclán, registrado en la SUNAT con el nombre de Multiservicios Rolán, está ubicado en Km 576.65 de la carretera PE 3N, a 5 minutos hacia el sur en vehículo desde la plaza de armas de Huaraz. La entrada principal a la cantera es por la berma lateral Oeste de dicha carretera. Las coordenadas UTM de la ubicación de la entrada a la cantera son: 8943630 m N, 221621 m E.

El agregado es extraído de las riveras del Río Santa, el cual posteriormente es sometido al proceso de chancado haciendo uso de la chancadora que posee la empresa prestadora del servicio. La chancadora suministra varios tamaños de piedra chancada según requerimiento del cliente, de los cuales, en la presente investigación, se solicitó piedra chancada de tamaño máximo de 1/2" y de 3/8".

3.3. Ensayos Realizados al Agregado Utilizado

El agregado que se utilizó fue piedra chancada de la cantera de Taclán, de donde se adquirió el agregado de 2 tipos: piedra chancada con tamaño máximo de 1/2" y

piedra chancada con tamaño máximo de 3/8". A continuación, se mostrarán las características de los dos tipos de agregados

A. Ensayos al agregado de tamaño máximo de 1/2".

Los ensayos a este agregado se realizaron en el laboratorio de resistencia de materiales de la facultad de Ing. Civil de la UNASAM. De donde se obtuvieron los siguientes resultados:

I. Densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso (NTP 400.021-2013).

(Ver Anexo A para más detalles)

Tabla 5: Resultados de los ensayos de Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Agregado Grueso Chancado de Tamaño Máximo de 1/2" de la Cantera de Taclán

Descripción	Unid.	Simb.	Valor
Masa de la Muestra seca	gr	A	2269.9
Masa de la muestra saturada superficialmente seca	gr	B	2300.0
Masa de la muestra saturada dentro del agua	gr	C	1429.8
Gravedad Específica secado al horno (OD) = $A / (B - C)$		OD	2.61
Densidad en base al secado al horno (OD) = $997,5A / (B - C)$, (temperatura del agua 23°C)	Kg/m^3	OD	2602
Gravedad Específica sobre la base de superficie seca saturada (SSD) = $B / (B - C)$		SSD	2.64
Densidad en base de superficie seca saturada (SSD) = $997,5B / (B - C)$, (temperatura del agua 23°C)	Kg/m^3	SSD	2636
Gravedad Específica Aparente $Gea = A / (A - C)$		Gea	2.70
Densidad Aparente $Gea = 997,5A / (A - C)$ (temperatura del agua 23°C)	Kg/m^3	Gea	2695
Absorción, $Ab = ((B - A) / A) \times 100$	%	Ab	1.33

Fuente: Elaboración Propia

II. Análisis granulométrico del agregado global (NTP 400.012-2013).

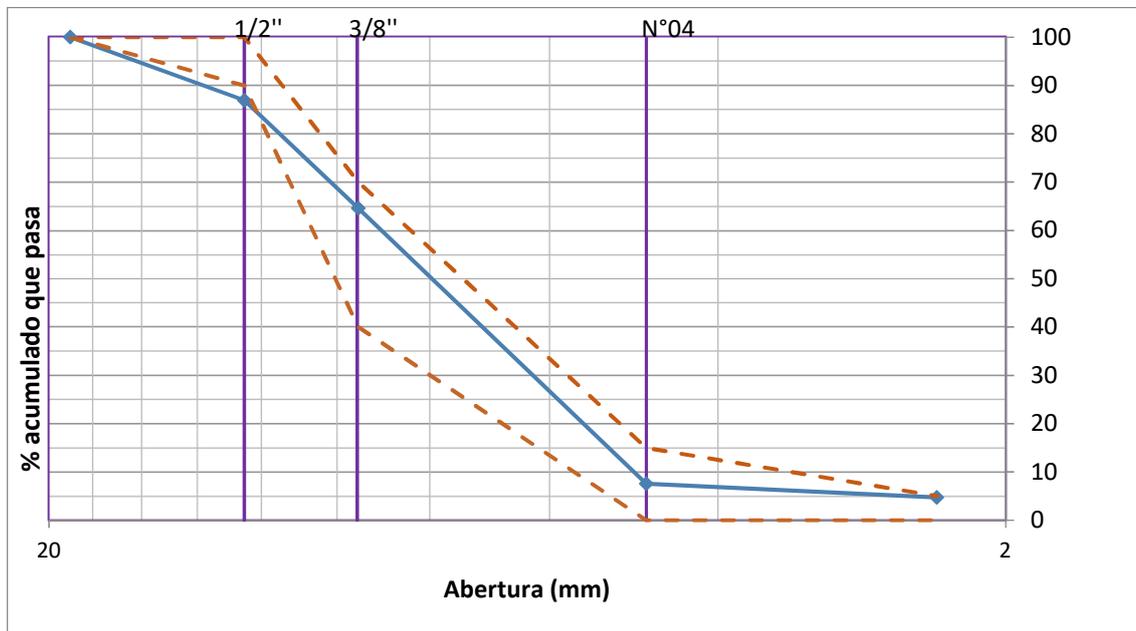
(Ver Anexo B para más detalles)

Tabla 6: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso de Tamaño Máximo de 1/2"

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Retenido			% que pasa	NTP HUSO: 1/2"	
		Masa (grs)	Parcial	Acumulado		Lim. Inferior	Lim. Superior
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100.0	100.0
1/2"	12.500	426.50	13.09	13.09	86.91	90.0	100.0
3/8"	9.500	726.50	22.30	35.40	64.60	40.0	70.0
No 4	4.750	1858.00	57.04	92.43	7.57	0.0	15.0
No 8	2.360	93.00	2.85	95.29	4.71	0.0	5.0
fondo		153.50	4.71	100.00	0.00		
TOTAL		3257.50	100.00				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7: Curva Granulométrica del Agregado Grueso de Tamaño Máximo de 1/2"



Fuente: Elaboración Propia

De dicho ensayo se determinó que el porcentaje de gravas contenido en la muestra es de 92.43 % y el porcentaje de arena es del 7.57%.

B. Agregado de tamaño máximo de 3/8".

Los ensayos a este agregado se realizaron en el laboratorio EMV Laboratorios y Construcción EIRL, ubicado en la ciudad de Huaraz.

I. Densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso (NTP 400.021-2013).

(Ver Anexo C para más detalles)

Tabla 8: Resultados de los ensayos de Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Agregado Grueso Chancado de Tamaño máximo de 3/8" de la Cantera de Taclán

Descripción	Unid.	Simb.	Ensayo 1	Ensayo 2
Masa de la Muestra saturada superficialmente seca	gr	B	1785.8	1725.3
Masa de la muestra saturada superficialmente seca dentro del agua + Canastilla (gr)	gr		2111.2	2072.8
Masa de la Canastilla dentro del agua (gr)	gr		1000.0	1000.0
Masa de la muestra saturada dentro del agua	gr	C	1111.2	1072.8
Masa de la muestra seca	gr	A	1756.2	1697.2
Gravedad Específica secado al horno (OD = A / (B - C))		OD	2.60	2.60
Gravedad Específica secado al horno Promedio (OD) = A / (B - C)		OD	2.60	
Densidad en base al secado al horno (OD) = $997,5A/(B - C)$, (Temperatura del agua 23°C)	kg/m ³	OD	2597	2595
Densidad en base al secado al horno Promedio (OD) = $997,5A/(B - C)$, (Temperatura del agua 23°C)	kg/m ³	OD	2600	
Gravedad Específica sobre la base de superficie seca saturada SSD = B / (B - C)		SSD	2.65	2.64
Gravedad Específica sobre la base de superficie seca saturada Promedio (SSD) = B / (B - C)		SSD	2.65	
Densidad en base de superficie seca saturada (SSD) = $997,5B/(B - C)$, (Temp. del agua 23°C)	kg/m ³	SSD	2641	2638
Densidad en base de superficie seca saturada Promedio (SSD) = $997,5B/(B - C)$, (Temp. del agua 23°C)	kg/m ³	SSD	2640	
Gravedad Específica Aparente, Gea = A / (A - C)		Gea	2.72	2.72
Gravedad Específica Aparente Promedio Gea = $997,5A / (A - C)$		Gea	2.72	
Densidad Aparente Gea = $997,5A / (A - C)$, (Temperatura del agua 23°C)	kg/m ³	Gea	2716	2711
Densidad Aparente Promedio Gea = $997,5A / (A - C)$, (Temperatura del agua 23°C)	kg/m ³	Gea	2710	
Absorción, Ab = $((B - A) / A) \times 100$	%	Ab	1.69	1.66
Absorción Promedio (Ab)	%	Ab	1.7	

Fuente: EMV Laboratorios y Construcción EIRL

II. Análisis granulométrico del agregado global (NTP 400.012-2013).

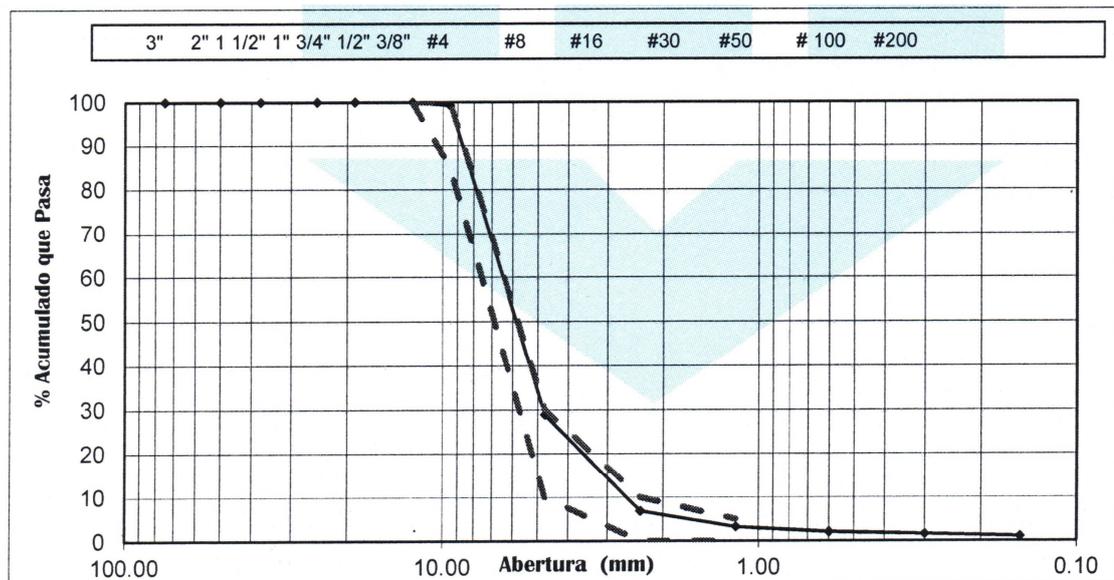
(Ver Anexo D para más detalles)

Tabla 9: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso de Tamaño Máximo de 3/8"

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Retenido			% que pasa	NTP HUSO: 3/8"	
		Masa (grs)	Parcial	Acumulado		Lim. Inferior	Lim. Superior
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100.0	100.0
3/8"	9.500	14.20	0.81	0.81	99.19	85.0	100.0
No 4	4.750	1235.60	70.35	71.16	28.84	10.0	30.0
No 8	2.360	386.70	22.02	93.17	6.83	0.0	10.0
No 16	1.180	63.40	3.61	96.78	3.22	0.0	5.0
No 30	0.600	21.30	1.21	98.00	2.00		
No 50	0.300	7.90	0.45	98.45	1.55		
No 100	0.150	8.50	0.48	98.93	1.07		
No 200	0.075	7.50	0.43	99.36	0.64		
> No 200	0.000	11.10	0.63	99.99	0.01		
TOTAL		1756.20	99.99				

Fuente: EMV Laboratorios y Construcción EIRL

Tabla 10: Curva Granulométrica del Agregado Grueso de Tamaño Máximo de 3/8"



Fuente: EMV Laboratorios y Construcción EIRL

3.4. Muestras Experimentales

Se prepararon especímenes para ser ensayados a compresión, flexión e infiltración.

Se fabricaron los especímenes con agregados de piedra chancada con tamaño máximo de 1/2", así como con agregados de piedra chancada con tamaño máximo de 3/8".

Debido a la poca investigación en este tipo de concreto, no existe un diseño de mezcla establecido, por lo que se realizaron dosificaciones de acuerdo a las recomendaciones que brinda el ACI mediante el reporte emitido titulado "Report on Pervious Concrete" (ACI 522R-10) así como de la publicación titulada "Pervious Concrete Pavements" realizada por la PCA en conjunto con la NRMCA el año 2004.

Un factor importante tomado en cuenta en la dosificación fue la trabajabilidad del concreto permeable obtenido, y para lograrlo, se optó por la experimentación con el aditivo denominado Chema Megaplast, el cual es un aditivo hiperplastificante de concreto, el cual, permite al mismo tiempo disminuir relación agua/cemento y así mejorar la resistencia del concreto.

A. Muestras de concreto permeable fabricados con piedra chancada de tamaño máximo de 1/2".

Tabla 11: Cuadro resumen de las dosificaciones y designaciones de las muestras utilizadas en los ensayos, utilizando piedra de tamaño máximo de 1/2"

N° Dosific	DOSIFICACIÓN			DESIGNACION DE ESPECÍMENES		
	A/C	AG/C	Adit (% de C)	compresion	modulo rotura	permeabil
1	0.35	4.7	0.00	P1a, P1b, P1c	V1a, V1b	I1a, I1b
2	0.35	4.5	0.00	P2a, P2b, P2c	V2a, V2b	I2a, I2b
3	0.35	4.25	0.00	P3a, P3b, P3c	V3a, V3b	I3a, I3b
4	0.27	4	0.75	R1a, R1b, R1c	M1a, M1b	
5	0.27	4	1.65	R2a, R2b, R2c	M2a, M2b	J1a, J1b
6	0.27	3.8	1.65	R3a, R3b, R3c	M3a, M3b	J2a, J2b

Fuente: Elaboración Propia

Una vez ensayadas las muestras se determinó una dosificación adecuada, a partir de ésta se fabricó una losa de prueba denominada LOSA 01, la cual tiene las dimensiones de 0.60 m x 0.60 m x 0.15 m.

El proceso de moldeo, curado y ensayo de estas muestras se llevó a cabo entre el 21 de abril del 2017 hasta el 23 de mayo del 2017.

B. Muestras de concreto permeable fabricados con piedra chancada de tamaño máximo de 3/8”.

Tabla 12: Cuadro resumen de las dosificaciones y designaciones de las muestras utilizadas en los ensayos, utilizando piedra de tamaño máximo de 3/8”

DOSIFICACION	RELACIONES			DESIGNACION DE MUESTRAS		
	A/C	AG/C	D(% de C)	compresion	modulo rotura	permeabil
1	0.27	3.9	1.65	Q1, Q2, Q3, Q4	N1, N2, N3	K1, K2
2	0.28	3.7	1.65	S1, S2, S3, S4	T1, T2, T3	L1, K2

Fuente: Elaboración Propia

Debido a la poca trabajabilidad lograda en las mezclas sin aditivo, así como los bajos valores en resistencia llegadas en el caso anterior donde se hizo uso de agregado de TM de 1/2”, se tomó la decisión de no experimentar con muestras sin el uso del aditivo en este caso de uso de agregado de TM de 3/8”.

Al igual que el caso anterior, una vez ensayadas las muestras se determinó una dosificación adecuada, a partir de esta se fabricó una losa de prueba denominada LOSA 02, la cual tiene las dimensiones de 0.60 m x 0.60 m x 0.15 m.

El proceso de moldeo, curado y ensayo de estas muestras se llevó a cabo entre el 20 de diciembre del 2017 hasta el 17 de enero del 2018.

3.5. Ensayos a Compresión

Las muestras para ser ensayadas a compresión, se prepararon y se ensayaron según recomendaciones de la norma NTP 339.034: 2015, el cual lleva por título “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas”.

Las muestras a compresión fueron moldeadas en cilindros de 0.20 m de alto y 0.10 m de diámetro.

La fabricación de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ing. Civil de la UNASAM.

Pasados los 28 días de curado, los ensayos a compresión se llevaron a cabo en el laboratorio EMV Laboratorios y Construcción EIRL, ubicado en la ciudad de Huaraz.



*Figura 15: Proceso de vaceado y compactación del concreto en los moldes cilíndricos
Fuente: Elaboración propia*



*Figura 16: Muestra cilíndrica de concreto.
Fuente: Elaboración propia*



*Figura 17: Proceso de ensayo a compresión de muestra cilíndrica.
Fuente: Elaboración propia*



*Figura 18: Apariencia de la muestra cilíndrica luego de ensayada a compresión.
Fuente: Elaboración propia*

3.6. Ensayos a Flexión

Las muestras a ser ensayadas a flexión se prepararon y se ensayaron según recomendaciones de la norma NTP 339.079:2012, el cual lleva por título “Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo”.

Las muestras fueron moldeadas en muestras de 0.40 m x 0.12 m x 0.12 m las cuales fueron fabricadas en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ing. Civil de la UNASAM. Pasados los 28 días de curado, los ensayos a flexión se llevaron a cabo en el laboratorio del Ingeniero Arias docente de la facultad de Ingeniería Civil de la UNASAM.



Figura 19: Proceso de vaciado y enrasado del concreto en encofrado para ser ensayado a flexión.

Fuente: Elaboración propia

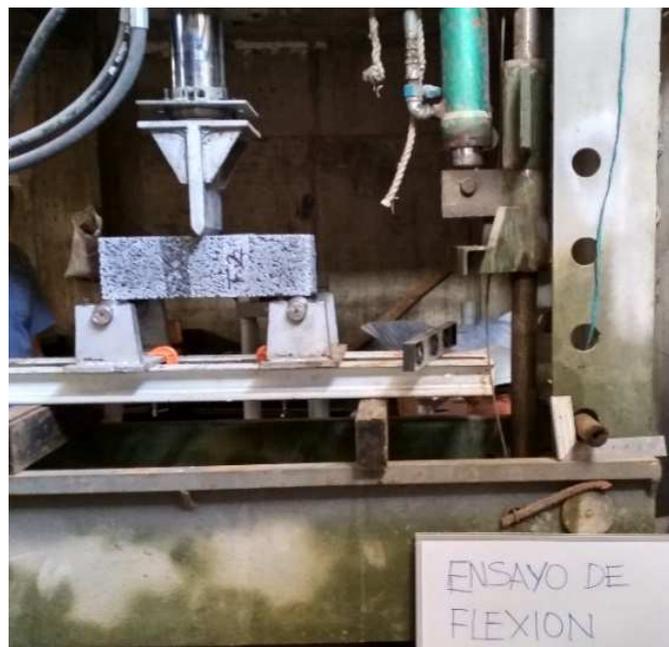


Figura 20: Ensayo de flexión de muestra en el laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

3.7. Permeámetro de Carga Variable de Fabricación Propia

Para la fabricación de las muestras se realizó el vaciado del concreto permeable en cilindros pequeños de 150 mm de altura del mismo material usado para la tubería graduada con la finalidad de que el empalme entre la muestra y la tubería graduada sea más sencillo.



Figura 21: Proceso de vaciado de concreto en los moldes para ser usados en los ensayos de infiltración.

Fuente: Elaboración propia



Figura 22: Muestras de concreto permeable endurecidas para ser ensayados a infiltración.

Fuente: Elaboración propia

En la presente investigación, se realizó la fabricación de un permeámetro de carga variable tomando en cuenta el modelo propuesto en el reporte emitido en el ACI 522R-10 (Report on Pervious Concrete) donde se hicieron algunas variaciones en las dimensiones para adecuarse mejor a los materiales disponibles.

Para el cilindro graduado se optó por el uso de una tubería PVC de 4'' transparente, de tal manera que se haga fácil la visualización del movimiento descendente del agua, así como la lectura del cilindro graduado durante los ensayos. A continuación, en la tabla 13 se muestran las especificaciones de dicha tubería.

Tabla 13: Especificaciones de la tubería PVC transparente utilizada para el permeámetro y las muestras respectivas

TAMAÑO NOMINAL	DIAMETRO EXTERIOR (MM)	ESPESOR DE PARED (MM)	DIAMETRO INTERIOR (MM)	PESO (KG/M)
4''	114.30	5.20	103.9	2.173

Fuente: Elaboración propia

Una vez instalado y preparado para realizar el ensayo con la muestra ya instalada, el permeámetro obtuvo la configuración mostrada en la Figura 23.



Figura 23: Permeámetro de carga variable de fabricación propia
Fuente: Elaboración propia

3.8. Fabricación de Losas de 0.60 m X 0.60 m X 0.15 m

Se fabricaron 02 losas de dimensiones de 0.60 m X 0.60 m y de 0.15 m de espesor, la primera losa se fabricó con piedra chancada de tamaño máximo de 1/2'' y la segunda losa se fabricó con piedra chancada de tamaño máximo de 3/8''.

Para el moldeo de las dos losas se usó un encofrado fabricado especialmente para dicho fin, el cual se muestra a continuación:



Figura 24: Encofrado usado para la fabricación de losas de prueba de concreto permeable.

Fuente: Elaboración propia

La fabricación (vaciado) de dichas losas se realizó en el laboratorio de resistencia de materiales de la facultad de Ingeniería Civil, al igual que el proceso de curado. Los ensayos de permeabilidad de las losas se realizaron según la norma ASTM C 1701. El proceso de curado se realizó tomando en cuenta las recomendaciones del Report on Pervious Concrete publicado por el ACI (American Concrete Institute, 2010).

Las dosificaciones escogidas para la realización de las losas se realizaron tomando en cuenta los mejores resultados obtenidos en las pruebas realizadas, así como en la trabajabilidad de la mezcla.

El curado se realizó cubriendo las losas con una capa de plástico para mantener la humedad y garantizar el humectado requerido durante el proceso de curado, durante un tiempo mínimo de 7 días.



*Figura 25: Curado del concreto permeable en losas de prueba.
Fuente: Elaboración propia*

3.9. Ensayo de Permeabilidad en Losas de Prueba

Este ensayo se realizó con fines comparativas entre calcular la permeabilidad en muestras tubulares y la permeabilidad en la losa ya instalada insitu. Para realizar este ensayo se aplicó el método de ensayo plasmado en la norma ASTM C1701 en dos losas fabricadas de concreto permeable de 0.60 m X 0.60 m X 0.15 m, el cual tiene por objeto la determinación de la tasa de infiltración de agua de un concreto permeable previamente colocado (para más detalles de dicha norma, ver Anexo R).



*Figura 26: Losas de concreto permeable siendo preparados para ser ensayados a permeabilidad.
Fuente: Elaboración propia*

Este método de ensayo se puede resumir de la siguiente manera: Un anillo de infiltración se sella temporalmente sobre la superficie de un pavimento permeable. Después de pre-humectar la ubicación del ensayo, una masa de agua predefinida se introduce en el anillo y se registra el tiempo que le toma al agua el infiltrarse en el pavimento. La tasa de infiltración se calcula de acuerdo a la expresión:

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

Donde:

I = Tasa de infiltración, mm/h

M = masa de agua infiltrada, Kg

D = diámetro interior del anillo de infiltración, mm

t = tiempo requerido para que la cantidad medida de agua infiltre en el concreto, seg

$K = 4\,583\,666\,000$, en unidades SI, (mm³s)/(kgh)

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados de Ensayos A Compresión

A. En muestras usando piedra chancada de TM de 1/2”.

A continuación, se muestra un resumen de los resultados obtenidos (ver Anexo E para más detalles).

Tabla 14: Resumen de resultados de muestras sometidas a compresión, usando piedra de TM de 1/2” y sin el uso de aditivo hiperplastificante.

muestra	f'c (MPa)	f'c prom (MPa)	dosificación		
			A/C	AG/C	D(% de C)
P1a	8.94	7.81	0.35	4.70	0.00
P1b	7.55				
P1c	6.93				
P2a	9.92	9.82	0.35	4.50	0.00
P2b	9.32				
P2c	10.24				
P3a	10.86	11.15	0.35	4.25	0.00
P3b	11.51				
P3c	11.07				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Resumen de resultados de muestras sometidas a compresión, usando piedra de TM de 1/2'' y con el uso de aditivo hiperplastificante.

muestra	f'c (MPa)	f'c prom (MPa)	dosificación		
			A/C	AG/C	D(% de C)
R1a	10.85	10.71	0.27	4.00	0.75
R1b	11.49				
R1c	9.79				
R2a	12.51	13.44	0.27	4.00	1.65
R2b	13.45				
R2c	14.37				
R3a	17.52	16.56	0.27	3.80	1.65
R3b	16.52				
R3c	15.65				

Fuente: Elaboración propia

B. En muestras usando piedra chancada de TM de 3/8''.

A continuación, se muestra un resumen de los resultados (ver Anexo F para más detalles).

Tabla 16: Resumen de resultados de muestras sometidas a compresión, usando piedra de TM de 3/8''

muestra	f'c (MPa)	f'c prom (MPa)	dosificación		
			A/C	AG/C	D(% de C)
Q1	24.72	21.75	0.27	3.9	1.65
Q2	18.31				
Q3	21.86				
Q4	22.11				
S1	21.17	19.87	0.28	3.7	1.65
S2	16.53				
S3	19.73				
S4	22.06				

Fuente: Elaboración propia

4.2. Resultados de Ensayos a Flexión

A. En muestras usando piedra chancada de TM de 1/2''.

A continuación, se muestra un resumen de los resultados (ver Anexo G para más detalles).

Tabla 17: Resumen de resultados de muestras sometidas a flexión, usando piedra de TM de 1/2" y sin el uso de aditivo hiperplastificante

ESPÉCIMEN	Mr (MPa)	Mr prom (MPa)	dosificación		
			A/C	AG/C	D(% de C)
V1a	3.46	3.09	0.35	4.70	0.00
V1b	2.72				
V2a	3.80	3.76	0.35	4.50	0.00
V2b	3.72				
V3a	3.18	3.10	0.35	4.25	0.00
V3b	3.02				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Resumen de resultados de muestras sometidas a flexión, usando piedra de TM de 1/2" y con el uso de aditivo hiperplastificante

ESPÉCIMEN	Mr (MPa)	Mr prom (MPa)	dosificación		
			A/C	AG/C	D(% de C)
M1a	2.21	2.55	0.27	4.00	0.75
M1b	2.89				
M2a	3.48	3.65	0.27	4.00	1.65
M2b	3.82				
M3a	2.60	3.06	0.27	3.80	1.65
M3b	3.52				

Fuente: Elaboración propia

B. En muestras usando piedra chancada de TM de 3/8"

A continuación, se muestra un resumen de los resultados (ver Anexo H para más detalles).

Tabla 19: Resumen de resultados de muestras sometidas a flexión, usando piedra de TM de 3/8"

ESPÉCIMEN	Mr (MPa)	Mr prom (MPa)	dosificación		
			A/C	AG/C	D(% de C)
N1	4.11	4.50	0.27	3.90	1.65
N2	5.22				
N3	4.18				
T1	4.92	5.08	0.28	3.70	1.65
T2	4.41				
T3	5.91				

Fuente: Elaboración propia

4.3. Resultados de los Ensayos de Infiltración

Es preciso señalar que para hallar la permeabilidad en las muestras cilíndricas, se hizo uso de un permeámetro de fabricación propia, sin embargo se usaron 02 métodos de cálculo para hallar la permeabilidad, el primer método fue usando los cálculos sugeridos en el reporte de concreto permeable emitido por el ACI (American Concrete Institute, 2010), mientras que el segundo método de cálculo fue el hallado en el libro de Juárez Badillo (Mecánica de Suelos, 2005) en la sección de permeámetro de carga variable.

A. En muestras usando piedra chancada de TM de 1/2”.

Usando lo mencionado en el reporte en concreto permeable emitido por el ACI (American Concrete Institute, 2010), para hallar el valor de permeabilidad se usa la expresión:

$$k = \frac{\Delta}{t}$$

Donde $\Delta = 390 \text{ mm} - 100 \text{ mm} = 290 \text{ mm}$, y el tiempo es medido para cada muestra respectivamente. A continuación, se muestra un resumen de los resultados usando dicho método (ver Anexo I para más detalles).

Tabla 20: Resumen de resultados de muestras fabricadas con piedra de TM de 1/2”, sometidas a ensayo de infiltración, usando método sugerido del reporte ACI 522R-10.

MUESTRA	K (mm/s)	K (mm/s) promedio	Proporciones		
			A/C	AG/C	D(% de C)
I1a	13.62	11.73	0.35	4.70	0.00
I1b	9.84				
I2a	23.21	23.39	0.35	4.50	0.00
I2b	23.56				
I3a	24.66	26.11	0.35	4.25	0.00
I3b	27.57				
J1a	13.93	13.99	0.27	4.00	1.65
J1b	14.05				
J2a	18.04	19.21	0.27	3.80	1.65
J2b	20.38				

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, tomando en cuenta la expresión dada en el libro de Juárez Badillo,

$$k = \frac{L}{t} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

Donde:

$$L = 150 \text{ mm}$$

$$h_1 = 390 \text{ mm}$$

$$h_2 = 100 \text{ mm}$$

$$t = \text{Tiempo requerido para que la carga hidráulica pase de } h_1 \text{ a } h_2$$

A continuación, se muestra un resumen de los resultados usando la expresión dada en el libro de Juárez Badillo (ver Anexo J para más detalles).

Tabla 21: Resumen de resultados de muestras fabricadas con piedra de TM de 1/2" sometidas a ensayo de infiltración, usando método sugerido en el Tomo I del libro de Mecánica de Suelos de Juárez Badillo.

MUESTRA	K (mm/s)	K (mm/s) promedio	Proporciones		
			A/C	AG/C	D(% de C)
I1a	9.58	8.26	0.35	4.70	0.00
I1b	6.93				
I2a	16.34	16.46	0.35	4.50	0.00
I2b	16.59				
I3a	17.36	18.38	0.35	4.25	0.00
I3b	19.41				
J1a	9.81	9.85	0.27	4.00	1.65
J1b	9.89				
J2a	12.70	13.53	0.27	3.80	1.65
J2b	14.35				

Fuente: Elaboración propia

B. En muestras usando piedra chancada de TM de 3/8"

Usando lo mencionado en el reporte en concreto permeable emitido por el ACI (American Concrete Institute, 2010), para hallar el valor de permeabilidad se usa la expresión:

$$k = \Delta/t$$

Donde $\Delta = 390 \text{ mm} - 100 \text{ mm} = 290 \text{ mm}$, y el tiempo es medido para cada muestra respectivamente. A continuación, se muestra un resumen de los resultados usando dicho método (ver Anexo K para más detalles).

Tabla 22: Resumen de resultados de muestras fabricadas con piedra de TM de 3/8" sometidas a ensayo de infiltración, usando método sugerido en el reporte ACI 522R-10.

MUESTRA	K (mm/s)	K (mm/s) promedio	Proporciones		
			A/C	AG/C	D(% de C)
K1	5.93	5.34	0.27	3.9	1.65
K2	4.75				
L1	4.86	5.15	0.28	3.7	1.65
L2	5.43				

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, tomando en cuenta la expresión dada en el libro de Juárez Badillo,

$$k = \frac{L}{t} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

Donde:

$$L = 150 \text{ mm}$$

$$h_1 = 390 \text{ mm}$$

$$h_2 = 100 \text{ mm}$$

$$t = \text{Tiempo requerido para que la carga hidráulica pase de } h_1 \text{ a } h_2$$

A continuación, se muestra un resumen de los resultados usando la expresión dada en el libro de Juárez Badillo (ver Anexo L para más detalles).

Tabla 23: Resumen de resultados de muestras fabricadas con piedra de TM de 3/8" sometidas a ensayo de infiltración, usando método sugerido en el Tomo I del libro de Mecánica de Suelos de Juárez Badillo.

MUESTRA	K (mm/s)	K (mm/s) promedio	Proporciones		
			A/C	AG/C	D(% de C)
K1	4.18	3.76	0.27	3.9	1.65
K2	3.34				
L1	3.42	3.62	0.28	3.7	1.65
L2	3.83				

Fuente: Elaboración propia

4.4. Resultados del Ensayo de Permeabilidad en Losas de Prueba

Los ensayos de infiltración de las losas se realizaron según lo especificado en la norma ASTM C1701.

A. En la losa 01. (Ver Anexo M para más detalles)

El agregado utilizado en dicha losa fue piedra chancada de TM de 1/2"; y la dosificación escogida fue de 0.27 en A/C, 3.80 en AG/C y 1.65% de aditivo con respecto al cemento. Para determinar la tasa de infiltración se tiene la expresión:

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

Donde:

$M = 18$ Kg; Se escoge esta cantidad porque en la etapa de prehumectado, los 3.6 Kg de agua pasaron por el anillo en menos de 30 segundos.

$D = 306.11$ mm

$t = 13.83$ s

$K = 4\,583\,666\,000$ (mm³s)/(kgh) = 1 273 240.56 (mm³s)/(kgs)

Reemplazando datos se obtiene que el valor de la infiltración que es de:

$$I = 17.68 \text{ mm/s}$$

B. En la losa 02. (Ver Anexo N para más detalles)

El agregado utilizado en dicha losa fue piedra chancada de TM de 3/8"; y la dosificación escogida fue de 0.29 en A/C, 3.75 en AG/C y 1.65% de aditivo con respecto al cemento. Para determinar la tasa de infiltración se tiene la expresión:

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

Donde:

$M = 3.6$ Kg; Se escoge esta cantidad porque en la etapa de prehumectado, los 3.6 Kg de agua pasaron por el anillo en más de 30 segundos.

$D = 306.11$ mm

$$t = 73 \text{ s}$$

$$K = 4\,583\,666\,000 \text{ (mm}^3\text{s)/(kgh)} = 1\,273\,240.56 \text{ (mm}^3\text{s)/(kgs)}$$

Reemplazando datos se obtiene que el valor de la infiltración es de:

$$I = 0.67 \text{ mm/s}$$

4.5. Discusión de Resultados de las Propiedades de los Agregados de Piedra Chancada de la Cantera de Taclán

A. De la piedra chancada de TM de 1/2''.

Según la curva granulométrica mostrada se aprecia que el agregado se encuentra dentro del huso 7 según la especificación NTP 400.037 con tamaño nominal de 1/2'' a N°4 (12.5 mm a 4.75 mm).

De dicho ensayo se determinó que el porcentaje de gravas contenido en la muestra es de 92.43 % y el porcentaje de arena es del 7.57 %.

B. De la piedra chancada de TM de 3/8''.

Según la curva granulométrica mostrada se aprecia que el agregado se encuentra dentro del huso 8 según la especificación NTP 400.037 con tamaño nominal de 3/8'' a N°8 (9.5 mm a 2.36 mm).

De dicho ensayo se determinó que el porcentaje de gravas contenido en la muestra es de 71.16 % y el porcentaje de arena es del 28.20 %.

4.6. Discusión de Resultados del Concreto Fresco

Se realizaron dos ensayos para calcular el slump, y pues se corroboró que el slump tiene valores muy bajos como lo menciona la teoría del concreto permeable, variando desde 0.5'' a 1.5''.



Figura 27: Proceso de medición del Slump en el concreto permeable fabricado.

Fuente: Elaboración propia

Al hacer una bola con un puñado de concreto permeable, no se desmoronó ni perdió su estructura mientras la pasta fluía en los espacios entre los agregados, lo cual es una señal indicativa de la correcta cantidad de agua en la mezcla.



Figura 28: Muestra de concreto permeable moldeado en una bola, indicador de la propicia cantidad de agua en la mezcla.

Fuente: Elaboración propia

Además, se pudo determinar que el uso del aditivo hiperplastificante en el concreto permeable, resultó en un concreto mucho más manejable durante la etapa de colocado, además que se pudo incluso reducir la relación A/C. Esto se pudo corroborar en las muestras donde no se hizo uso de aditivo, en las cuales se usó una relación de A/C de 0.35, siendo esta relación la más alta recomendada según la tabla 4; sin embargo, estas mezclas resultaron no ser tan trabajables. Sin embargo, con el uso del aditivo hiperplastificante, se pudo reducir la relación de A/C en 0.27, el cual es el mínimo valor recomendado según la tabla 4, resultando en una mezcla relativamente trabajable como es usual en un concreto permeable.

4.7. Discusión del Uso de Aditivo Hiperplastificante

El aditivo que se usó en la presente investigación lleva por nombre Chema Megaplast, el cual es un súper plastificante de última generación para concreto y mortero, fabricado a base de policarboxilatos. Su formulación genera un amplio efecto dispersante sobre el cemento. (Ver Anexo P para más detalles, donde se anexa la Hoja Técnica del Aditivo Hiperplastificante).

El uso de este aditivo en la fabricación de concreto permeable, demostró ser importante, pues gracias a éste, se logra disminuir la relación A/C y al mismo tiempo la trabajabilidad en el proceso de colocado del concreto se hace más eficiente. Es importante tomar en cuenta la dosis recomendada por el fabricante.

4.8. Discusión de Resultados del Concreto Endurecido

En el estado endurecido de las losas y testigos fabricados con concreto permeable, se puede apreciar un aspecto uniforme en su superficie, a los lados y en la base, y sin muestras de segregación, el cual es un buen indicador de dosificación, mezclado y colocado eficiente.



Figura 29: Textura superficial en la losa de concreto permeable fabricado con piedra de TM de 1/2''

Fuente: Elaboración propia



Figura 30: Textura superficial en la losa de concreto permeable fabricado con piedra de TM de 3/8''

Fuente: Elaboración propia

Contrastando el par de ilustraciones anteriores se aprecia el distinto aspecto que se logró obtener en las losas de prueba, usando piedra chancada de TM de 1/2'' y piedra chancada de TM de 3/8'' respectivamente, resultando así diferentes texturas en la superficie. Como referencia, en las imágenes anteriormente mostradas, la moneda de Un Sol se usa para contrastar ambas texturas.

Como factor estético, la losa fabricada con piedra chancada de 3/8'' tiene una textura más cerrada comparada con la fabricada con piedra chancada de 1/2'', por lo

tanto, si se desea un acabado con una textura más fina, el uso de piedra chancada de 3/8" se ajusta a dicha necesidad.

Además, se determinó la densidad del concreto endurecido usando los especímenes de concreto moldeados en la tubería de 150 mm para los ensayos de infiltración, resultando que el concreto permeable fabricado con piedra chancada de 1/2" tiene una densidad promedio de 1802.87 Kg/m^3 y el concreto permeable fabricado con piedra chancada de 3/8" tiene una densidad promedio de 2008.73 Kg/m^3 , resultando en un concreto más ligero que el concreto convencional que tiene una densidad aproximada de 2300 Kg/m^3 (Ver Anexo O para más detalles).

4.9. Discusión de la Resistencia a Compresión

Según la tabla 14, está claro que la relación AG/C, tiene una influencia en los resultados, pues, se puede apreciar que el valor de la fuerza de compresión es inversamente proporcional a la relación AG/C.

Además, contrastando las tablas 14 y 15 está claro que, al igual que el concreto convencional, la relación A/C es inversamente proporcional al valor de la resistencia a compresión.

Además, con el uso de aditivo hiperplastificante se logró disminuir la relación A/C por lo que se logró una mayor resistencia a compresión como se puede apreciar en los resultados mostrados en la tabla 15, donde la relación A/C fue reducida hasta 0.27 haciendo uso del aditivo en un 1.65 % del contenido de cemento.

Según la tabla 3 el valor mínimo para el uso de concreto en pavimentos especiales, tales como aceras, pasajes peatonales y ciclovías, es de 17.5 MPa.

En las muestras donde se usó piedra chancada de 1/2", incluso en los especímenes donde se usó el aditivo hiperplastificante, se obtuvieron valores menores a 17.5 MPa a compresión, como se puede apreciar en las tablas 14 y 15.

Sin embargo, con el uso de piedra chancada de 3/8" de TM se obtuvieron valores mayores a 17.5 MPa como se puede apreciar en la Tabla 16, incluso el valor máximo resultó ser de 21.75 MPa.

La figura 4 (Mulligan, 2005) mostrada en el punto 2.6.2, explica la razón de la obtención de mayores resistencias a compresión usando piedra de 3/8" que usando piedra de 1/2", pues el peso unitario es directamente proporcional a la resistencia a compresión del concreto permeable, pues, como fue expresado en el punto 4.9, el valor de la densidad del concreto permeable fabricado con piedra chancada de 3/8" es mayor que el fabricado con piedra chancada de 1/2".

4.10. Discusión de la Resistencia a Flexión

Según la Tabla 2, en un tipo de pavimento rígido, el valor mínimo para el Módulo de Rotura (MR) o flexión, un concreto para ser usado en pavimentos, debe ser mayor que 3.4 MPa.

En el caso del concreto fabricado con piedra chancada de TM de 1/2", como lo muestran las Tablas 17 y 18, se puede apreciar que sin el uso de aditivo se pudo alcanzar el valor de 3.76 MPa, sin embargo, este caso solo se dio en una de las proporciones de las 3 fabricadas. Además, se aprecia que con el uso de aditivo de igual manera solo se llegó en una de las tres proporciones propuestas, al valor de 3.65 MPa, mientras que en las demás, los valores no alcanzaron el valor mínimo requerido.

Por otro lado, con el uso de piedra chancada de TM de 3/8", adicionando el aditivo hiperplastificante, se llegó a valores superiores a 3.4 MPa en todos los casos, llegando incluso al valor máximo de 5.08 MPa.

Hablando específicamente del concreto permeable fabricado con piedra de 1/2", no se encontró algún tipo de influencia de la inclusión del aditivo en los resultados de flexión.

Sin embargo, comparando la Tabla 18 con la Tabla 19, se determina que con el uso del agregado de TM de 3/8" se obtuvieron valores más elevados en flexión que usando agregado de TM de 1/2".

Esta diferencia en los valores de resistencia a flexión se puede explicar mediante la figura 7, pues manifiesta que la resistencia a flexión es directamente proporcional a la resistencia a compresión del concreto permeable, y como se mencionó en el punto anterior, el concreto permeable fabricado con piedra chancada de 3/8" obtuvo valores más altos en compresión que los obtenidos con piedra chancada de 1/2". Otra razón adicional se puede explicar con la figura 8, donde se aprecia que la porosidad, y por ende la permeabilidad, es inversamente proporcional a la resistencia a flexión, y según los resultados hallados en el punto 4.3, el concreto fabricado con piedra chancada de 3/8" es menos permeable que el fabricado con piedra chancada de 1/2".

4.11. Discusión de Resultados del Coeficiente de Permeabilidad

En el punto 2.12 se menciona que un concreto permeable puede variar su valor de permeabilidad de 0.2 cm/s a 0.54 cm/s, e incluso puede llegar a valores superiores a 1.2 cm/s y aún más altos.

Se puede apreciar en la Tabla 21 que, al usar piedra chancada de TM de 1/2", los valores de permeabilidad varían de 0.83 cm/s a 1.84 cm/s, además se puede afirmar que el valor de permeabilidad es independiente de la utilización del aditivo hiperplastificante.

Por otro lado, en la tabla 23, se aprecia que, haciendo uso de piedra chancada de TM de 3/8", el valor promedio de permeabilidad resulta en 0.37 cm/s, siendo este valor menor que el obtenido usando agregado de piedra chancada de 1/2". Por lo que se puede afirmar que con el uso de piedra chancada de TM de 3/8" se obtiene un concreto menos permeable que usando piedra chancada de TM de 1/2".

Cuando se ensayó la losa de prueba con agregado de TM de 1/2", el valor de la permeabilidad resultó ser de 1.77 cm/s, el cual es un valor que se encuentra entre los encontrados en las muestras cilíndricas.

Sin embargo, al ensayar la losa de prueba con agregado de TM de 3/8", se obtuvo un valor de 0.067cm/s, el cual se considera un valor muy bajo, esto probablemente debido a una sobrecompactación no intencional que se dio a la mezcla en la etapa de colocado, así como al proceso demasiado vigoroso realizado durante el enrasado, dando un involuntario acabado superficial que pudo hacer la superficie poco permeable, pues este valor se encuentra por debajo del valor obtenido en las muestras cilíndricas.

Usando piedra chancada de TM de 1/2" se obtienen valores inferiores en compresión y flexión que usando piedra chancada de 3/8", sin embargo, los valores en permeabilidad son mucho mayores, por lo que, se puede afirmar que los valores de compresión y flexión son inversamente proporcionales al valor de la permeabilidad, pues a medida que se obtienen mayores valores en compresión y flexión, el valor de la permeabilidad disminuye.

Mediante la figura 10 expuesta en el punto 2.6.5., se puede explicar la razón de la mayor permeabilidad obtenida en el concreto permeable usando agregado de 1/2" comparada con la obtenida con el agregado de 3/8", pues al usar un agregado de tamaño más grande deja espacios vacíos más grandes entre las partículas de agregado, no pudiendo ser llenados por agregados de menor tamaño, resultando así en un concreto más poroso y por ende más permeable.

4.12. Discusión del Diseño de Mezcla

Los diseños de mezcla realizados en la presente investigación se determinaron a partir de la Tabla 4, la cual muestra los rangos típicos de las proporciones de los materiales usados en la fabricación de concreto permeable.

Además, durante la fabricación del concreto permeable, se tomó en cuenta la prueba de consistencia formando una bola de concreto empuñándola con la mano, expuesto en el punto 2.5.3.

Es importante tomar en cuenta la trabajabilidad del concreto, buscando al mismo tiempo que no sea demasiado fluido, ni demasiado escaso en fluidez.

Debido a que los valores de resistencia a compresión y flexión no fueron los mínimos requeridos usando piedra chancada de TM de 1/2", las dosificaciones propuestas para la fabricación del concreto permeable con dicho agregado en la presente investigación, no ofrecieron un buen comportamiento. Mientras que, las dosificaciones propuestas usando agregado de piedra chancada de TM de 3/8" cumplieron con los requisitos de resistencia.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. Evaluando el cumplimiento de requisitos del concreto permeable fabricado con piedra chancada de 1/2'' como tamaño máximo, se afirma que dicho concreto no obtuvo el valor mínimo de 17.5 MPa en compresión requerido, así como solo se obtuvieron dos resistencias en flexión, de las 6 dosificaciones propuestas, mayores al mínimo especificado de 3.4 MPa, no siendo lo suficientemente conciso; mientras que, los valores de permeabilidad están en el rango de 0.88 cm/s a 1.95cm/s, siendo valores que se consideran permeables según lo mencionado en el punto 2.6.6. De estos resultados se concluye que, con las dosificaciones propuestas para la fabricación de concreto permeable utilizando piedra chancada de 1/2'' como tamaño máximo de la Cantera de Taclán, provincia de Huaraz, no se logró alcanzar los mínimos requisitos de compresión y flexión para su aplicación en pavimentos

urbanos, debido a la limitada experimentación con diferentes dosificaciones en el agregado utilizado, pues se optó por utilizar el agregado grueso tal cual la cantera proporciona.

2. Evaluando el cumplimiento de requisitos del concreto permeable fabricado con piedra chancada de 3/8" como tamaño máximo, se halló que dicho concreto cumple con los requisitos mínimos en compresión y flexión (todas las dosificaciones propuestas), al mismo tiempo se logró un concreto permeable con un valor promedio de 0.37 cm/s, el cual es muy aceptable, considerándose como un concreto permeable según lo afirmado en el punto 2.12. Además, en el caso de la losa fabricada con este agregado, a pesar de que el valor de infiltración resultó ser el menor de todos (0.67 mm/s), es lo suficientemente permeable como para ser considerado como concreto permeable. De estos resultados se concluye que, las dosificaciones propuestas para la fabricación de concreto permeable fabricado con piedra chancada de 3/8" como tamaño máximo de la Cantera de Tacllán, provincia de Huaraz, son apropiadas para su aplicación en pavimentos urbanos, pues cumple con los mínimos requisitos de compresión, flexión y permeabilidad.

3. En la presente investigación se determinaron las propiedades mecánicas del concreto permeable (resistencia a compresión y flexión) fabricado con las dosificaciones propuestas, tanto con agregado de piedra chancada de TM de 1/2", así como con agregado de piedra chancada de TM de 3/8", ambos extraídos de la cantera de Tacllán. Variando de 7.81 MPa a 21.75 MPa en resistencia a compresión y de 2.55 MPa a 5.08 MPa en resistencia a flexión, como se puede apreciar en los puntos 4.1 y 4.2.

4. Se determinó la tasa de infiltración del concreto permeable de manera satisfactoria mediante el ensayo a especímenes cilíndricos con el uso de un permeámetro de carga variable de fabricación propia, así como también mediante el ensayo a un par de losas de prueba de concreto permeable aplicando la norma ASTM C 1701, la cual es aplicable para calcular la tasa de infiltración del concreto permeable colocado.

5. Los diseños de mezcla propuestos para la fabricación de concreto permeable con piedra chancada de TM de 3/8", en todos los casos, resultaron en concretos permeables que ofrecen un buen comportamiento mecánico (resistencia a compresión y flexión), dichos diseños están expuestos en la tabla 12 y se adjunta a continuación:

Tabla 24: Cuadro resumen de las dosificaciones y designaciones de las muestras utilizadas en los ensayos, utilizando piedra de tamaño máximo de 3/8"

DOSIFICACION	RELACIONES			DESIGNACION DE MUESTRAS		
	A/C	AG/C	D(% de C)	compresion	modulo rotura	permeabil
1	0.27	3.9	1.65	Q1, Q2, Q3, Q4	N1, N2, N3	K1, K2
2	0.28	3.7	1.65	S1, S2, S3, S4	T1, T2, T3	L1, K2

Fuente: Elaboración Propia

6. Con los resultados obtenidos de los ensayos realizados al concreto permeable en la presente investigación, se aporta a la comunidad científica con manifestar que es posible la fabricación de concreto permeable que cumpla con los requisitos mínimos para su aplicación en pavimentos urbanos, usando agregado de piedra chancada de la cantera de Taclán.

5.2. Recomendaciones

1. Se recomienda ampliar la presente investigación por cualquier persona interesada en el tema, con la inclusión de varios porcentajes de agregado fino en la composición del concreto permeable; así como la experimentación con agregado de canto rodado.

2. Se recomienda investigar el desgaste superficial que sufre el concreto permeable debido al pase de vehículos.

3. Se recomienda investigar la variación de la permeabilidad del concreto permeable, debido a la colmatación de vacíos causado por la puesta en servicio del pavimento.

4. Actualmente el Perú cuenta con la norma OS. 060 (2006), el cual establece los criterios generales de diseño que permite la elaboración de proyectos de Drenaje Pluvial Urbano, sin embargo, en dicha norma, no se hace mención del uso del concreto permeable como método alternativo para el drenaje de aguas pluviales, por lo que se sugiere la inclusión de este método en la normativa correspondiente.

BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute. (2000). *Terminología del cemento y el hormigón*. Farmington Hills - USA.
- American Concrete Institute. (2010). *Report on Pervious Concrete [Reporte en Concreto Permeable]*. Farmington Hills - USA: ACI.
- American Society for Testing and Materials. (2009). *Standar Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete [Método de Ensayo de Determinación de la Tasa de Infiltración del Concreto Permeable Colocado]*. Filadelfia: ASTM International.
- Barahona Aguiluz, R., Martínez Guerrero, M., & Zelaya Zelaya, S. (2013). *Comportamiento del Concreto Permeable Utilizando Agregado Grueso de las Canteras, El Carmen, Aramuaca y La Pedrera, de la Zona Oriental de el Salvador*. San Miguel - El Salvador: Universidad De El Salvador Facultad Multidisciplinaria Oriental Departamento De Ingeniería Y Arquitectura.
- Concreto Ecológico de México S.A. de C.V. (2006). "Sistema para Infiltrar o Recuperar el Agua Pluvial por Medios de Pisos y Pavimentos Porosos". *Concreto Permeable Ecológico*.
- Foro Ciudades para la Vida. (2014). Perú hacia la Construcción Sostenible en Escenarios de Cambio Climático. *Perú hacia la Construcción Sostenible en Escenarios de Cambio Climático*. Lima, Perú.
- Instituto de la Construcción y Gerencia. (2012). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje* (2da Edición ed.). Lima: Fondo Editorial ICG.
- Jing, Y., & Guoliang, J. (2003). Experimental Studies on Properties of Pervious Concrete Pavemente Materials. *Cement and Concrete Research*, V. 33(N° 3).
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de Suelos* (Vol. I Fundamentos de la Mecánica de Suelos). México D.F., México: Limusa.
- Marchioni, M., & Becciu, G. (2014). *Permeable pavement used on sustainable drainage systems (SUDs): a synthetic review of recent literature [Pavimento Permeable usado en sistemas de drenaje sostenible: un análisis sintético de literatura actual]*. Politecnico di Milano, Department of Civil and Environmental Engineering. Milán: Witpress.
- Meininger, R. C. (1988). *No-Fines Pervious Concrete for Paving* (Vol. V. 10). Concrete International.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2010). *Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos*. Lima -Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (24 de Diciembre de 2016). Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano Sostenible - RATDUS. *El Peruano*.
- Mulligan, A. (2005). *Attainable Compressive Strenght of Pervious Concrete Paving Systems*. tesis de maestría, University of Central Florida, Florida.

- National Ready Mixed Concrete Association - NRMCA. (2008). *Concreto Permeable. El Concreto en la Práctica ¿Qué, Por qué y Cómo?(CIP 38)*.
- Neithalath , N. (2004). *Development and Characterization of Acoustically Efficient Cementitious Materials*. Tesis de PhD, Purdue University, West Lafayette.
- Nelson, P. (1994). *Designing Porous Road Surfaces to Reduce Traffic Noise*. Transportation Research Annual Review. Wokingham - Inglaterra: TRL.
- Pérez Ramos, Daniel. (2009). *Estudio Experimental de Concretos Permeables con Agregados Andesíticos*. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Portland Cement Association; National Ready Mixed Concrete Association. (2004). *Pervious Concrete Pavements [Pavimentos de Concreto Permeable]*. Maryland - USA: Portland Cement Association.

ANEXOS

Anexo A. Resultado de Ensayo de Densidad, la Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción del Agregado Grueso (NTP 400.021-2013) – para el Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 1/2”	76
Anexo B. Resultado de Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Global (NTP 400.012-2013) – para el Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 1/2”	78
Anexo C. Resultado de Ensayo de Densidad, la Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción del Agregado Grueso (NTP 400.021-2013) – para el Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 3/8”	80
Anexo D. Resultado de Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Global (NTP 400.012-2013) – para el Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 3/8”	82
Anexo E. Resultado de Ensayo de Resistencia a la Compresión de Briquetas de Concreto (NTP 339.034-2013) – Fabricados con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 1/2”	84
Anexo F. Resultado de Ensayo de Resistencia a la Compresión de Briquetas de Concreto (NTP 339.034-2013) – Fabricados con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 3/8”	87
Anexo G. Resultado de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Flexión del Concreto en Vigas Simplemente Apoyadas con Cargas en el Centro del Tramo (NTP 339.079-2012) – Fabricadas con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 1/2”	89
Anexo H. Resultado de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Flexión del Concreto en Vigas Simplemente Apoyadas con Cargas en el Centro del Tramo (NTP 339.079-2012) – Fabricadas con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 3/8”	91
Anexo I. Resultado de Ensayo de Infiltración en Muestras Cilíndricas, Usando Método Sugerido en el Reporte ACI 522R-10 – Fabricados con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 1/2”	93
Anexo J. Resultado de Ensayo de Infiltración en Muestras Cilíndricas, Usando Método Extraído del Tomo I del Libro de Mecánica de Suelos de Juárez Badillo – Fabricados con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 1/2”	95
Anexo K. Resultado de Ensayo de Infiltración en Muestras Cilíndricas, Usando Método Sugerido en el Reporte ACI 522R-10 – Fabricados con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 3/8”	97

Anexo L. Resultado de Ensayo de Infiltración en Muestras Cilíndricas, Usando Método Extraído del Tomo I del Libro de Mecánica de Suelos de Juárez Badillo – Fabricados con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 3/8”	99
Anexo M. Resultado de Ensayo De Infiltración En Concreto Permeable Colocado (ASTM C1701) – en Losa Fabricada con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 1/2”	101
Anexo N. Resultado de Ensayo De Infiltración En Concreto Permeable Colocado (ASTM C1701) – En Losa Fabricada con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 3/8”	103
Anexo O. Resultados de Ensayo de Densidad del Concreto Endurecido.....	105
Anexo P. Hoja Técnica del Aditivo Hiperplastificante de Concreto, Chema Megaplast.	107
Anexo Q. Ficha Técnica del Material Cementante, Cemento SOL Tipo I.....	110
Anexo R. Método de Prueba Estándar para la Tasa de Infiltración para Concreto Permeable Colocado (Norma ASTM C1701)	113
Anexo S. Modelo de Proporcionamiento de Materiales en una Mezcla de Concreto Permeable	117

Anexo A.

Resultado de Ensayo de Densidad, la Densidad Relativa (Peso Específico) y
Absorción del Agregado Grueso (NTP 400.021-2013) – para el Agregado de Piedra
Chancada de Tamaño Máximo de 1/2''



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS URBANOS, FABRICADO CON AGREGADOS DE PIEDRA CHANCADA DE LA CANTERA DE TACLÁN, PROVINCIA DE HUARAZ"

RESULTADOS DE ENSAYO DE DENSIDAD, LA DENSIDAD RELATIVA (PESO ESPECÍFICO) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.021-2013)

Fecha de ensayo: 08 de abril del 2017

Características del agregado: Piedra chancada de TM de 1/2".

Descripcion	Unid.	Simb.	Valor
Masa de la Muestra seca	gr	A	2269.9
Masa de la muestra saturada superficialmente seca	gr	B	2300.0
Masa de la muestra saturada dentro del agua	gr	C	1429.8
Gravedad Específica secado al horno (OD) = $A / (B - C)$		OD	2.61
Densidad en base al secado al horno (OD) = $997,5A / (B - C)$, (temperatura del agua 23°C)	Kg/m^3	OD	2602
Gravedad Específica sobre la base de superficie seca saturada (SSD) = $B / (B - C)$		SSD	2.64
Densidad en base de superficie seca saturada (SSD) = $997,5B / (B - C)$, (temperatura del agua 23°C)	Kg/m^3	SSD	2636
Gravedad Específica Aparente $Gea = A / (A - C)$		Gea	2.70
Densidad Aparente $Gea = 997,5A / (A - C)$ (temperatura del agua 23°C)	Kg/m^3	Gea	2695
Absorción, $Ab = ((B - A) / A) \times 100$	%	Ab	1.33

Anexo B.

Resultado de Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Global (NTP 400.012-2013) – para el Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 1/2”

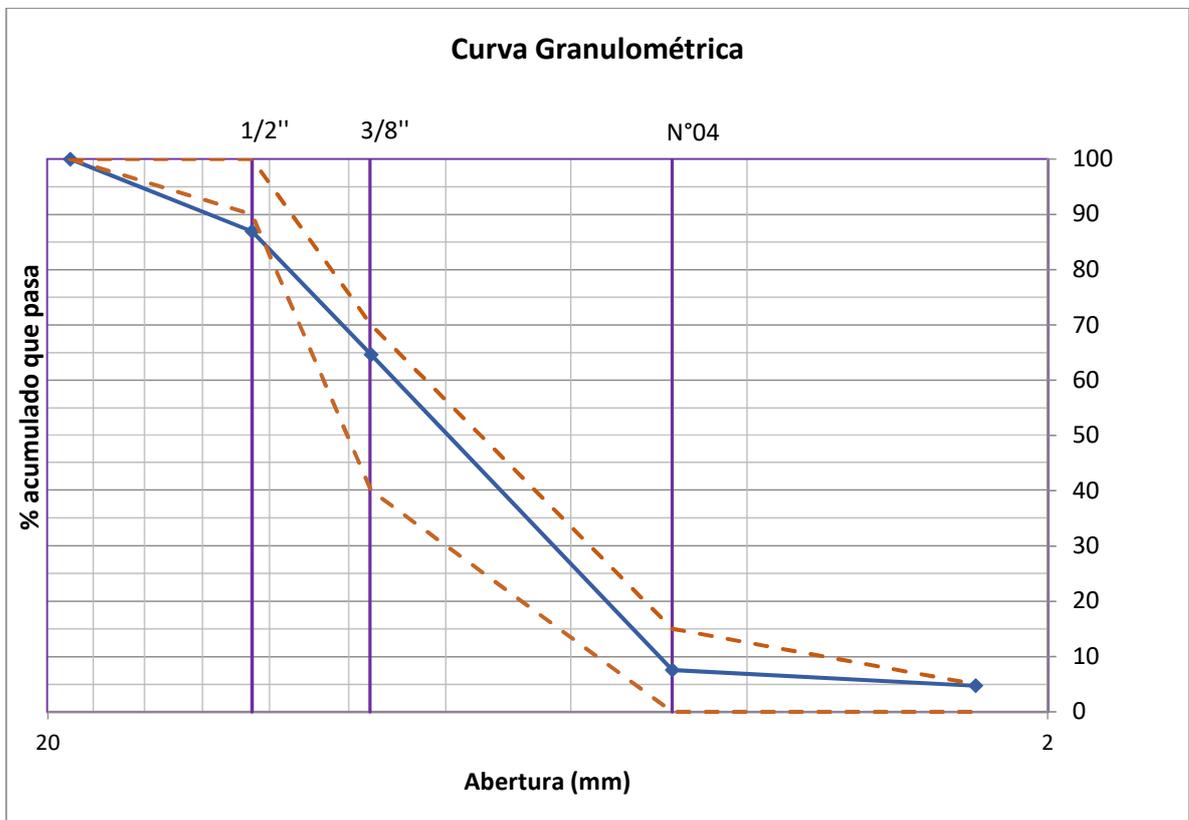


**RESULTADOS DE ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GLOBAL
 (NTP 400.012-2013)**

Fecha de ensayo: 10 de abril del 2017

Características del agregado: Piedra chancada de TM de 1/2".

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Retenido			% que pasa	NTP HUSO: 1/2"	
		Masa (grs)	Parcial	Acumulado		Lim. Inferior	Lim. Superior
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100.0	100.0
1/2"	12.500	426.50	13.09	13.09	86.91	90.0	100.0
3/8"	9.500	726.50	22.30	35.40	64.60	40.0	70.0
No 4	4.750	1858.00	57.04	92.43	7.57	0.0	15.0
No 8	2.360	93.00	2.85	95.29	4.71	0.0	5.0
fondo		153.50	4.71	100.00	0.00		
TOTAL		3257.50	100.00				



Anexo C.

Resultado de Ensayo de Densidad, la Densidad Relativa (Peso Específico) y
Absorción del Agregado Grueso (NTP 400.021-2013) – para el Agregado de Piedra
Chancada de Tamaño Máximo de 3/8''



Solicitud N° **D-074-2017**

TESIS	: Evaluación del comportamiento del concreto permeable para su aplicación en pavimentos urbanos, fabricado con agregados de piedra chancada de la cantera Taclán, prov. Huaraz	
TESISTA	: Franz André Riveros Tamariz	FECHA : Diciembre 2017
UBICACIÓN	: Independencia - Huaraz - Ancash	

DENSIDAD, LA DENSIDAD RELATIVA (PESO ESPECÍFICO) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.021-2013)

Agregado : *Grueso*

Cantera : Rio Santa - Taclán - Huaraz

Descripción	Unid.	Simb.	Ensayo 1	Ensayo 2
Masa de la Muestra saturada superficialmente seca	gr	B	1785.8	1725.3
Masa de la muestra saturada superficialmente seca dentro del agua + Canastilla (gr)	gr		2111.2	2072.8
Masa de la Canastilla dentro del agua (gr)	gr		1000.0	1000.0
Masa de la muestra saturada dentro del agua	gr	C	1111.2	1072.8
Masa de la muestra seca	gr	A	1756.2	1697.2
Gravedad Específica secado al horno (OD = A / (B - C))		OD	2.60	2.60
Gravedad Específica secado al horno Promedio (OD) = A / (B - C)		OD	2.60	
Densidad en base al secado al horno (OD) = $997,5A/(B - C)$, (Temperatura del agua 23°C)	kg/m ³	OD	2597	2595
Densidad en base al secado al horno Promedio (OD) = $997,5A/(B - C)$, (Temperatura del agua 23°C)	kg/m ³	OD	2600	
Gravedad Específica sobre la base de superficie seca saturada SSD = B / (B - C)		SSD	2.65	2.64
Gravedad Específica sobre la base de superficie seca saturada Promedio (SSD) = B / (B - C)		SSD	2.65	
Densidad en base de superficie seca saturada (SSD) = $997,5B/(B - C)$, (Temp. del agua 23°C)	kg/m ³	SSD	2641	2638
Densidad en base de superficie seca saturada Promedio (SSD) = $997,5B/(B - C)$, (Temp. del agua 23°C)	kg/m ³	SSD	2640	
Gravedad Específica Aparente, Gea = A / (A - C)		Gea	2.72	2.72
Gravedad Específica Aparente Promedio Gea = $997,5A / (A - C)$		Gea	2.72	
Densidad Aparente Gea = $997,5A / (A - C)$, (Temperatura del agua 23°C)	kg/m ³	Gea	2716	2711
Densidad Aparente Promedio Gea = $997,5A / (A - C)$, (Temperatura del agua 23°C)	kg/m ³	Gea	2710	
Absorción, Ab = ((B - A) / A)x100	%	Ab	1.69	1.66
Absorción Promedio (Ab)	%	Ab	1.7	

Ensayo del agregado en condición: Húmedo

Observación:


 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
 Ing° Elio Alejandro Milla Vergara
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP N° 42832

Anexo D.

Resultado de Ensayo de Análisis Granulométrico del Agregado Global (NTP 400.012-2013) – para el Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 3/8”



EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

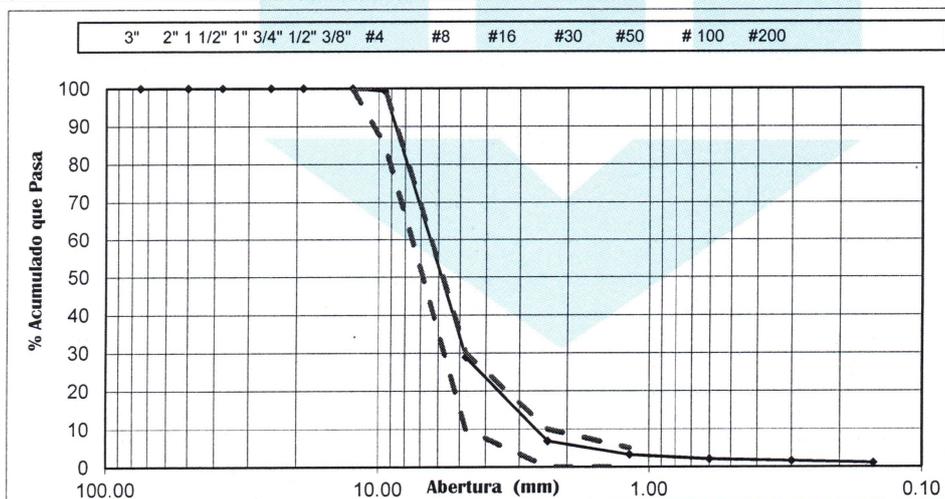
Solicitud N° D-074-2017

TESIS	: Evaluación del comportamiento del concreto permeable para su aplicación en pavimentos urbanos, fabricado con agregados de piedra chancada de la cantera Taclán, prov. Huaraz
TESISTA	: Franz André Riveros Tamariz
UBICACIÓN	: Independencia - Huaraz - Ancash
CANTERA	: Rio Santa - Taclán - Huaraz
FECHA : Diciembre 2017	

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GLOBAL (NTP 400.012-2013)

MASA INICIAL SECO :	1756.40	grs	Especificación. NTP 400.037:	3/8"
MASA LAVADO SECO :	1756.20	grs	% QUE PASA MALLA No 200 :	0.64
			% RETENIDO MALLA 3" :	0.00

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Retenido			% que pasa	NTP HUSO: 3/8" "	
		Masa (grs)	Parcial	Acumulado		Lim. Inferior	Lim. Superior
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100.0	100.0
3/8"	9.500	14.20	0.81	0.81	99.19	85.0	100.0
No 4	4.750	1235.60	70.35	71.16	28.84	10.0	30.0
No 8	2.360	386.70	22.02	93.17	6.83	0.0	10.0
No 16	1.180	63.40	3.61	96.78	3.22	0.0	5.0
No 30	0.600	21.30	1.21	98.00	2.00		
No 50	0.300	7.90	0.45	98.45	1.55		
No 100	0.150	8.50	0.48	98.93	1.07		
No 200	0.075	7.50	0.43	99.36	0.64		
> No 200	0.000	11.10	0.63	99.99	0.01		
TOTAL		1756.20	99.99				



Gravas (%) =	71.16	Arena (%) =	28.20	Finos (%) =	0.64
D60 (mm) =	6.854	D30 (mm) =	4.828	D10 (mm) =	2.70
Coef. Unif. (Cu) =	2.53	Coef. Conc. (Cc) =	1.26	Módulo de Fineza =	5.57

Nota:

* Muestreo e identificación realizada por el solicitante

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
 Ing. Elio Alejandro Milla Vergara
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz - Teléfono: (043) 423668

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Telefax (043) 422315 Celular 944-931238 RPM: *669956 Email: emvlabyconst@hotmail.com

Anexo E.

Resultado de Ensayo de Resistencia a la Compresión de Briquetas de Concreto (NTP 339.034-2013) – Fabricados con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 1/2''



EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BRIQUETAS DE CONCRETO (ASTM C39/C39-M)

NTP 339.034-2013

TESIS

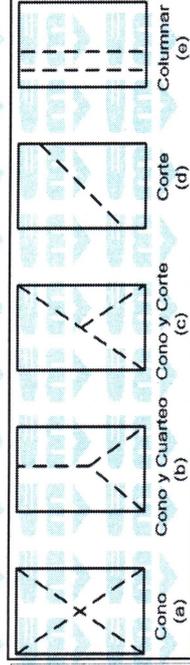
: Evaluación del Comportamiento del Concreto Permeable para su aplicación en Pavimentos urbanos, fabricado con agregados de piedra chancada de la Cantera

TESISTA

: Tacilán, provincia de Huaraz

LUGAR

: Franz André Riveros Tamariz
Independencia - Huaraz - Ancash



N°	DESCRIPCION	Relación		FECHA		Edad Dias	Diametro (mm)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Tipo de Fractura	f'cd (MPa)	Promedio f'cd (MPa)
		A/C	AG/C	D(%C)	Moldeo							
01	P1a	0.35	4.70	--	21/04/17	19/05/17	100.00	7853.98	70.2	(d)	8.94	7.81
02	P1b	0.35	4.70	--	21/04/17	19/05/17	100.00	7853.98	59.3	(d)	7.55	
03	P1c	0.35	4.70	--	21/04/17	19/05/17	100.00	7853.98	54.4	(d)	6.93	
04	P2a	0.35	4.50	--	22/04/17	20/05/17	100.00	7853.98	77.9	(d)	9.92	9.82
05	P2b	0.35	4.50	--	22/04/17	20/05/17	100.00	7853.98	73.2	(d)	9.32	
06	P2c	0.35	4.50	--	22/04/17	20/05/17	100.00	7853.98	80.4	(d)	10.24	
07	P3a	0.35	4.25	--	22/04/17	20/05/17	100.00	7853.98	85.3	(d)	10.86	11.15
08	P3b	0.35	4.25	--	22/04/17	20/05/17	100.00	7853.98	90.4	(d)	11.51	
09	P3c	0.35	4.25	--	22/04/17	20/05/17	100.00	7853.98	87.0	(d)	11.07	

Nota: Briquetas muestreadas por el interesado

* Ensayo realizado con Equipo de Compresión ELE International, Model 36-0650106, Serial 080400000016





EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

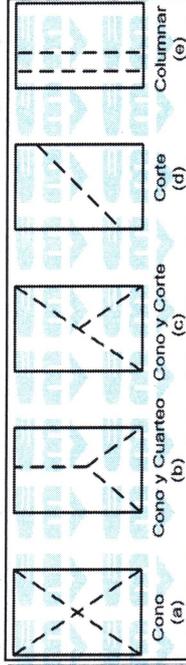
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BRIQUETAS DE CONCRETO (ASTM C39/C39-M)

NTP 339.034-2013

TESIS : Evaluación del Comportamiento del Concreto Permeable para su aplicación en Pavimentos urbanos, fabricado con agregados de piedra chancada de la Cantera

TESISTA : Tacilán, provincia de Huaraz

LUGAR : Franz André Riveros Tamariz



N°	DESCRIPCION	Relación		FECHA		Edad Días	Diámetro (mm)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Tipo de Fractura	f'cd (MPa)	Promedio f'cd (MPa)
		A/C	AG/C	D/%C	Moldeo							
01	R1a	0.27	4.00	0.75	25/04/17	23/05/17	100.00	7853.98	85.2	(d)	10.85	10.71
02	R1b	0.27	4.00	0.75	25/04/17	23/05/17	100.00	7853.98	90.3	(d)	11.49	
03	R1c	0.27	4.00	0.75	25/04/17	23/05/17	100.00	7853.98	76.9	(d)	9.79	
04	R2a	0.27	4.00	1.65	25/04/17	23/05/17	100.00	7853.98	98.3	(d)	12.51	13.44
05	R2b	0.27	4.00	1.65	25/04/17	23/05/17	100.00	7853.98	105.7	(d)	13.45	
06	R2c	0.27	4.00	1.65	25/04/17	23/05/17	100.00	7853.98	112.8	(d)	14.37	
07	R3a	0.27	3.80	1.65	25/04/17	23/05/17	100.00	7853.98	137.6	(d)	17.52	16.56
08	R3b	0.27	3.80	1.65	25/04/17	23/05/17	100.00	7853.98	129.7	(d)	16.52	
09	R3c	0.27	3.80	1.65	25/04/17	23/05/17	100.00	7853.98	122.9	(d)	15.65	

Nota: Briquetas muestreadas por el interesado

* Ensayo realizado con Equipo de Compresión ELE Internacional, Model 36-0650106, Serial 080400000016



Anexo F.

Resultado de Ensayo de Resistencia a la Compresión de Briquetas de Concreto (NTP 339.034-2013) – Fabricados con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 3/8''



EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

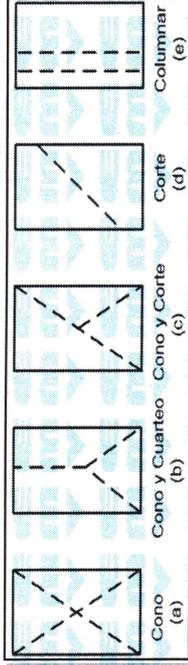
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BRIQUETAS DE CONCRETO (ASTM C39/C39-M)

NTP 339.034-2013

TESIS : Evaluación del Comportamiento del Concreto Permeable para su aplicación en Pavimentos urbanos, fabricado con agregados de piedra chancada de la Cantera Taclán, provincia de Huaraz

TESISTA : Franz André Riveros Tamariz

LUGAR : Independencia - Huaraz - Ancash



N°	DESCRIPCIÓN	Relación		FECHA		Edad Días	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Tipo de Fractura	f _{cd} (MPa)	Promedio f _{cd} (MPa)
		A/C	AG/C	Moldeo	Rotura							
01	Q1	0.27	3.90	1.65	19/12/17	16/01/18	100.00	7853.98	194.1	(d)	24.72	21.75
02	Q2	0.27	3.90	1.65	19/12/17	16/01/18	100.00	7853.98	143.8	(d)	18.31	
03	Q3	0.27	3.90	1.65	19/12/17	16/01/18	100.00	7853.98	171.7	(d)	21.86	
04	Q4	0.27	3.90	1.65	19/12/17	16/01/18	100.00	7853.98	173.7	(d)	22.11	
05	S1	0.28	3.70	1.65	20/12/17	17/01/18	100.00	7853.98	166.3	(d)	21.17	19.87
06	S2	0.28	3.70	1.65	20/12/17	17/01/18	100.00	7853.98	129.8	(d)	16.53	
07	S3	0.28	3.70	1.65	20/12/17	17/01/18	100.00	7853.98	155.0	(d)	19.73	
08	S4	0.28	3.70	1.65	20/12/17	17/01/18	100.00	7853.98	173.3	(d)	22.06	

Nota: Briquetas muestreadas por el interesado

* Ensayo realizado con Equipo de Compresión ELE Internacional, Model 36-0650106, Serial 080400000016

COLEGIO DE INGENIEROS DEL P.E.
Ing° Elio Alejandro Millo Vergo
INGENIERO CIVIL
REG. CIP. N° 42892

Anexo G.

Resultado de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Flexión del Concreto en Vigas Simplemente Apoyadas con Cargas en el Centro del Tramo (NTP 339.079-2012) – Fabricadas con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 1/2''



RESULTADOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS EN EL CENTRO DEL TRAMO (NTP 339.079:2012)

Fecha de ensayo: 23 de mayo del 2017

Tiempo de curado de los especímenes: 28 días.

Características del agregado usado en el concreto: Piedra chancada de TM de 1/2".

ESPECIMEN	b (mm)	h (mm)	P (N)	Mr (MPa)	Mr prom (MPa)	dosificación		
						A/C	AG/C	Aditivo (% de C)
V1a	120.1	119.2	10946.19	3.46	3.09	0.35	4.70	0.00
V1b	120.9	119.3	8665.73	2.72				
V2a	120.8	119.2	12086.41	3.80	3.76	0.35	4.50	0.00
V2b	120.1	119.8	11858.37	3.72				
V3a	118.7	118.4	9805.96	3.18	3.10	0.35	4.25	0.00
V3b	117.9	119.1	9349.87	3.02				
M1a	119.6	118.2	6841.37	2.21	2.55	0.27	4.00	0.75
M1b	119.1	118.2	8893.78	2.89				
M2a	119.7	119.2	10946.19	3.48	3.65	0.27	4.00	1.65
M2b	118.9	118.8	11858.37	3.82				
M3a	117.8	118.7	7981.59	2.60	3.06	0.27	3.80	1.65
M3b	120.5	118.0	10946.19	3.52				

Donde:

$$M_r = \frac{3PL}{2bh^2}$$

M_r : Módulo de rotura

P : Carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo.

L : Longitud del tramo; en todos los casos se estableció una longitud de 360 mm.

b : Ancho promedio de la viga en la sección de falla.

h : Altura promedio de la viga en la sección de falla.

Nota: El aditivo usado fue un superplastificante denominado Chema Megaplast de la marca Chema.

Anexo H.

Resultado de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Flexión del Concreto en Vigas Simplemente Apoyadas con Cargas en el Centro del Tramo (NTP 339.079-2012) – Fabricadas con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 3/8''



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS URBANOS, FABRICADO CON AGREGADOS DE PIEDRA CHANCADA DE LA CANTERA DE TACLÁN, PROVINCIA DE HUARAZ"

RESULTADOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS EN EL CENTRO DEL TRAMO (NTP 339.079:2012)

Fecha de ensayo: 18 de enero del 2018

Tiempo de curado de los especímenes: 28 días.

Características del agregado usado en el concreto: Piedra chancada de TM de 3/8"

ESPECIMEN	b (mm)	h (mm)	P (N)	Mr (MPa)	Mr prom (MPa)	dosificación		
						A/C	AG/C	Aditivo (% de C)
N1	120.0	118.3	12770.55	4.11	4.50	0.27	3.90	1.65
N2	119.3	119.4	16419.28	5.22				
N3	117.9	118.3	12770.55	4.18				
T1	118.0	119.1	15279.05	4.92	5.08	0.28	3.70	1.65
T2	118.7	117.8	13454.69	4.41				
T3	119.6	118.8	18471.69	5.91				

Donde:

$$M_r = \frac{3PL}{2bh^2}$$

M_r : Módulo de rotura

P : Carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo.

L : Longitud del tramo; en todos los casos se estableció una longitud de 360 mm.

b : Ancho promedio de la viga en la sección de falla.

h : Altura promedio de la viga en la sección de falla.

Nota: El aditivo usado fue un superplastificante denominado Chema Megaplast de la marca Chema.

Anexo I.

Resultado de Ensayo de Infiltración en Muestras Cilíndricas, Usando Método
Sugerido en el Reporte ACI 522R-10 – Fabricados con Agregado de Piedra Chancada
de Tamaño Máximo de 1/2''



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS URBANOS, FABRICADO CON AGREGADOS DE PIEDRA CHANCADA DE LA CANTERA DE TACLLÁN, PROVINCIA DE HUARAZ"

**RESULTADOS DE ENSAYO DE INFILTRACIÓN, MÉTODO SEGÚN REPORTE ACI 522-10
 (Report on Pervious Concrete)**

Fecha de ensayo: 28 de mayo del 2017

Tiempo de curado de los especímenes: 28 días.

Edad de los especímenes: 33 días.

Características del agregado usado en el concreto: Piedra chancada de TM de 1/2"

ESPÉCIMEN	t (seg)	K (mm/s)	K (mm/s) promedio	Proporciones		
				A/C	AG/C	Aditivo (% de C)
I1a	21.30	13.62	11.73	0.35	4.70	0.00
I1b	29.46	9.84				
I2a	12.50	23.21	23.39	0.35	4.50	0.00
I2b	12.31	23.56				
I3a	11.76	24.66	26.11	0.35	4.25	0.00
I3b	10.52	27.57				
J1a	20.82	13.93	13.99	0.27	4.00	1.65
J1b	20.64	14.05				
J2a	16.07	18.04	19.21	0.27	3.80	1.65
J2b	14.23	20.38				

Donde:

$$K = \Delta / t$$

$$\Delta = h_{inicial} - h_{final} = 390 \text{ mm} - 100 \text{ mm} = 290 \text{ mm}$$

K : Valor de la permeabilidad del espécimen.

Δ : Diferencia de la carga inicial y la carga final de agua.

t : promedio de las mediciones de tiempo de infiltración desde $h_{inicial}$ hasta h_{final} .

Nota: El aditivo usado fue un superplastificante denominado Chema Megaplast de la marca Chema.

Anexo J.

Resultado de Ensayo de Infiltración en Muestras Cilíndricas, Usando Método
Extraído del Tomo I del Libro de Mecánica de Suelos de Juárez Badillo – Fabricados
con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 1/2''



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS URBANOS, FABRICADO CON AGREGADOS DE PIEDRA CHANCADA DE LA CANTERA DE TACLLÁN, PROVINCIA DE HUARAZ"

RESULTADOS DE ENSAYO DE INFILTRACIÓN, MÉTODO SUGERIDO EN TOMO I DEL LIBRO DE MECÁNICA DE SUELOS DE JUÁREZ BADILLO.

Fecha de ensayo: 28 de mayo del 2017

Tiempo de curado de los especímenes: 28 días.

Edad de los especímenes: 33 días.

Características del agregado usado en el concreto: Piedra chancada de TM de 1/2"

ESPÉCIMEN	t (seg)	K (mm/s)	K (mm/s) promedio	Dosificación		
				A/C	AG/C	Aditivo (% de C)
I1a	21.30	9.58	8.26	0.35	4.70	0.00
I1b	29.46	6.93				
I2a	12.50	16.34	16.46	0.35	4.50	0.00
I2b	12.31	16.59				
I3a	11.76	17.36	18.38	0.35	4.25	0.00
I3b	10.52	19.41				
J1a	20.82	9.81	9.85	0.27	4.00	1.65
J1b	20.64	9.89				
J2a	16.07	12.70	13.53	0.27	3.80	1.65
J2b	14.23	14.35				

Donde:

$$K = \frac{L}{t} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

K : Valor de la permeabilidad del espécimen.

L : Longitud de la muestra, en todos los casos es 150 mm.

h_1 : Carga hidráulica al principio de la prueba, en todos los casos es 390 mm.

h_2 : Carga hidráulica al final de la prueba, en todos los casos es 100 mm.

t : Tiempo requerido para que la carga hidráulica pase de h_1 a h_2

Nota: El aditivo usado fue un superplastificante denominado Chema Megaplast de la marca Chema.

Anexo K.

Resultado de Ensayo de Infiltración en Muestras Cilíndricas, Usando Método
Sugerido en el Reporte ACI 522R-10 – Fabricados con Agregado de Piedra Chancada
de Tamaño Máximo de 3/8''



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS URBANOS, FABRICADO CON AGREGADOS DE PIEDRA CHANCADA DE LA CANTERA DE TACLLÁN, PROVINCIA DE HUARAZ"

**RESULTADOS DE ENSAYO DE INFILTRACIÓN, MÉTODO SEGÚN REPORTE ACI 522-10
(Report on Pervious Concrete)**

Fecha de ensayo: 25 de enero del 2018

Tiempo de curado de los especímenes: 28 días.

Edad de los especímenes: 35 días.

Características del agregado usado en el concreto: Piedra chancada de TM de 3/8"

ESPECIMEN	t (seg)	K (mm/s)	K (mm/s) promedio	Proporciones		
				A/C	AG/C	Aditivo (% de C)
K1	48.90	5.93	5.34	0.27	3.9	1.65
K2	61.07	4.75				
L1	59.67	4.86	5.15	0.28	3.7	1.65
L2	53.37	5.43				

Donde:

$$K = \Delta / t$$

$$\Delta = h_{inicial} - h_{final} = 390 \text{ mm} - 100 \text{ mm} = 290 \text{ mm}$$

K : Valor de la permeabilidad del espécimen.

Δ : Diferencia de la carga inicial y la carga final de agua.

t : promedio de las mediciones de tiempo de infiltración desde $h_{inicial}$ hasta h_{final} .

Nota: El aditivo usado fue un superplastificante denominado Chema Megaplast de la marca Chema.

Anexo L.

Resultado de Ensayo de Infiltración en Muestras Cilíndricas, Usando Método
Extraído del Tomo I del Libro de Mecánica de Suelos de Juárez Badillo – Fabricados
con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 3/8''



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS URBANOS, FABRICADO CON AGREGADOS DE PIEDRA CHANCADA DE LA CANTERA DE TACLLÁN, PROVINCIA DE HUARAZ"

RESULTADOS DE ENSAYO DE INFILTRACIÓN, MÉTODO SUGERIDO EN TOMO I DEL LIBRO DE MECÁNICA DE SUELOS DE JUÁREZ BADILLO.

Fecha de ensayo: 25 de enero del 2018

Tiempo de curado de los especímenes: 28 días.

Edad de los especímenes: 35 días.

Características del agregado usado en el concreto: Piedra chancada de TM de 3/8"

ESPÉCIMEN	t (seg)	K (mm/s)	K (mm/s) promedio	Dosificación		
				A/C	AG/C	Aditivo (% de C)
K1	48.90	4.18	3.76	0.27	3.9	1.65
K2	61.07	3.34				
L1	59.67	3.42	3.62	0.28	3.7	1.65
L2	53.37	3.83				

Donde:

$$K = \frac{L}{t} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

K : Valor de la permeabilidad del espécimen.

L : Longitud de la muestra, en todos los casos es 150 mm.

h_1 : Carga hidráulica al principio de la prueba, en todos los casos es 390 mm.

h_2 : Carga hidráulica al final de la prueba, en todos los casos es 100 mm.

t : Tiempo requerido para que la carga hidráulica pase de h_1 a h_2

Nota: El aditivo usado fue un superplastificante denominado Chema Megaplast de la marca Chema.

Anexo M.

Resultado de Ensayo De Infiltración En Concreto Permeable Colocado (ASTM C1701)
– en Losa Fabricada con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 1/2''



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS URBANOS, FABRICADO CON AGREGADOS DE PIEDRA CHANCADA DE LA CANTERA DE TACLLÁN, PROVINCIA DE HUARAZ"

RESULTADOS DE ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LA TASA DE INFILTRACIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE COLOCADO (Standar Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete – ASTM C1701)

Fecha de ensayo: 12 de diciembre del 2017

Tiempo de curado de los especímenes: 6 días.

Edad del espécimen: 6 días.

Características del agregado usado en el concreto: Piedra chancada de TM de 1/2"

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

Donde:

I = Tasa de infiltración, mm/h

M = masa de agua infiltrada, Kg
= 18 Kg.

D = diámetro interior del anillo de infiltración, mm
= 306.1 mm

t = tiempo requerido para que una cantidad de agua infiltre en el concreto, seg
= 13.83 seg

K = 4 583 666 000, en unidades SI, (mm³s)/(kg.h) ó 1273240.56 en (mm³s)/(kg.s)

Reemplazando valores, se obtiene el valor de la tasa de infiltración:

$$I = \frac{1273240.56 \times 18}{(306.1^2 \times 13.83)} = \mathbf{17.68 \text{ mm/s}}$$

Notas:

El aditivo usado fue un superplastificante denominado Chema Megaplast de la marca Chema.

El valor de la masa de agua infiltrada M , es de 18 Kg, debido a que en la etapa de prehumectación, 3.6 Kg de agua atravesaron el anillo en menos de 30 segundos.

La dosificación usada en el concreto fue de:

A/C	AG/C	Aditivo (% de C)
0.27	3.80	1.65

Anexo N.

Resultado de Ensayo De Infiltración En Concreto Permeable Colocado (ASTM C1701)
– En Losa Fabricada con Agregado de Piedra Chancada de Tamaño Máximo de 3/8''



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS URBANOS, FABRICADO CON AGREGADOS DE PIEDRA CHANCADA DE LA CANTERA DE TACLLÁN, PROVINCIA DE HUARAZ"

RESULTADOS DE ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LA TASA DE INFILTRACIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE COLOCADO (Standar Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete – ASTM C1701)

Fecha de ensayo: 28 de diciembre del 2017

Tiempo de curado de los especímenes: 7 días.

Edad del espécimen: 7 días.

Características del agregado usado en el concreto: Piedra chancada de TM de 3/8"

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

Donde:

I = Tasa de infiltración, mm/h

M = masa de agua infiltrada, Kg

= 3.6 Kg.

D = diámetro interior del anillo de infiltración, mm

= 306.1 mm

t = tiempo requerido para que una cantidad de agua infiltre en el concreto, seg

= 73 seg

K = 4 583 666 000, en unidades SI, (mm³s)/(kg.h) ó 1273240.56 en (mm³s)/(kg.s)

Reemplazando valores, se obtiene el valor de la tasa de infiltración:

$$I = \frac{1273240.56 \times 3.6}{(306.1^2 \times 73)} = 0.67 \text{ mm/s}$$

Notas:

El aditivo usado fue un superplastificante denominado Chema Megaplast de la marca Chema.

El valor de la masa de agua infiltrada M , es de 3.6 Kg, debido a que en la etapa de prehumectación, 3.6 Kg de agua atravesaron el anillo en más de 30 segundos.

La dosificación usada en el concreto fue de:

A/C	AG/C	Aditivo (% de C)
0.29	3.75	1.65

Anexo O.

Resultados de Ensayo de Densidad del Concreto Endurecido



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS URBANOS, FABRICADO CON AGREGADOS DE PIEDRA CHANCADA DE LA CANTERA DE TACLLÁN, PROVINCIA DE HUARAZ"

RESULTADOS DE ENSAYO DE DENSIDAD DEL CONCRETO ENDURECIDO

Fecha de ensayo: 15 de agosto del 2018

Tiempo de curado de los especímenes: 28 días.

Características del estado de humedad del concreto: Seco al aire.

Para el concreto permeable fabricado con piedra de TM de 1/2"

ESPÉCIMEN	W total (Kg)	W Cto (Kg)	Dens Cto (Kg/m ³)
I1a	2.850	2.439	1951.53
I1b	2.714	2.303	1842.71
I2a	2.594	2.183	1746.70
I2b	2.574	2.163	1730.70
I3a	2.558	2.147	1717.90
I3b	2.570	2.159	1727.50
J1a	2.706	2.295	1836.31
J1b	2.690	2.279	1823.51
J2a	2.714	2.303	1842.71
J2b	2.672	2.261	1809.11
		Promedio	1802.87

Para el concreto permeable fabricado con piedra de TM de 3/8"

ESPÉCIMEN	W total (Kg)	W cto (Kg)	Dens Cto (Kg/m ³)
K1	2.919	2.508	2006.73
K2	2.905	2.494	1995.53
L1	2.948	2.537	2029.94
L2	2.914	2.503	2002.73
		Promedio	2008.73

La densidad del concreto permeable se halló usando la expresión: $Densidad_{cto} = W_{cto}/V_{cto}$

Donde:

$$W_{cto} = \text{Peso del concreto} = W_{total} - W_{tuberia} = W_{total} - 0.4109 \text{ Kg}$$

$$V_{cto} = \text{Volúmen del concreto} = \frac{\pi D^2}{4} \times h = 1249843.37 \text{ mm}^3 = 0.00125 \text{ m}^3$$

Nota: Para el presente ensayo se usaron los especímenes cilíndricos de concreto moldeados en las tuberías para los ensayos de infiltración, los cuales tienen 150 mm de alto y 103 mm de diámetro (0.00125 m³ de volumen) y cada una tiene un peso de 0.4109 Kg.

Anexo P.

Hoja Técnica del Aditivo Hiperplastificante de Concreto, Chema Megaplast.



Calidad que Construye

CHEMA MEGAPLAST

Aditivo hiper plastificante de concreto

ADI.2.3.5
RMP – V.0

DESCRIPCIÓN **CHEMA MEGAPLAST** es un súper plastificante de última generación para concreto y mortero, a base de policarboxilatos. Su formulación genera un amplio efecto dispersante sobre el cemento. **CHEMA MEGAPLAST** no contiene cloruros.

- VENTAJAS**
- Alta capacidad dispersante.
 - Permite optimizar del contenido de cemento
 - Facilita la colocación de concreto en espacios de alto contenido de elementos de refuerzo.
 - Permite obtener diseños de concreto con relación agua/cemento baja.
 - Muy baja permeabilidad.
 - Aumenta la durabilidad del concreto.
 - Reduce la exudación y segregación.
 - Mejora la cohesividad
 - Mejora la adherencia del concreto sobre el acero.
 - Mejora la superficie del concreto
 - Reduce la carbonatación del concreto.

- USOS**
- Elaboración de concreto autocompactante.
 - Concreto fluido de altas resistencias a la compresión a edades tempranas.
 - Concreto plastificado de mediano y alto rango.
 - Concreto que requiere altas reducciones de agua.
 - Concreto para estructuras prefabricadas.
 - Concreto bombeable
 - Concreto lanzado (*shotcrete*).

DATOS TÉCNICOS

Apariencia: Líquida
 Color: Marrón
 Densidad: 1.05 ± 0.01 gr/ml

- PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DEL PRODUCTO**
1. Adicionar **CHEMA MEGAPLAST** al agua de la mezcla o a la mezcla húmeda de requerirse. En ningún caso adicionar **CHEMA MEGAPLAST** sobre la mezcla seca.
 2. Se deben preparar mezclas a nivel laboratorio para definir la dosis, de acuerdo al asentamiento/reducción de agua deseado. La dosis podría variar por influencia de las características de los componentes del concreto.
 3. El concreto elaborado con **CHEMA MEGAPLAST**, puede ser manejado bajo proceso constructivo convencional.
 4. Se debe vigilar el correcto proceso de curado a fin de asegurar el desarrollo de propiedades mecánicas en el tiempo en este campo.

- RENDIMIENTO** La dosis estándar es:
- 0.52% a 0.9% del peso del cemento para concretos plastificados y súper plastificados.
 - 1.00% a 2.10% del peso del cemento para la obtención de concretos fluidos y autocompactados.



Calidad que Construye

CHEMA MEGAPLAST

Aditivo hiper plastificante de concreto

ADI.2.3.5
RMP – V.0

PRESENTACIÓN Envase de 55 gal. (Código: 05007002)

ALMACENAMIENTO De almacenarse en un lugar fresco, ventilado y sellado bajo techo el tiempo de vida útil será de 12 meses.

PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES No es compatible con aditivos a base de naftalenos condensados por lo que debe de evitarse su combinación. En caso que el concreto con **CHEMA MEGAPLAST** requiera otros aditivos, estos deben ser adicionados de forma separada.

En caso de condiciones ambientales de baja temperatura, elevar la temperatura del envase hasta al menos 10 °C, con posterior agitación hasta obtener líquido homogéneo.

Evite el burbujeo de aire.

En caso de emergencia, llame al CETOX (Centro Toxicológico).

Producto tóxico, NO INGERIR, mantenga el producto fuera del alcance de los niños.

No comer ni beber mientras manipula el producto.

Lavarse las manos luego de manipular el producto.

Utilizar guantes, gafas protectoras y ropa de trabajo.

Almacene el producto bajo sombra y en ambientes ventilados.

En caso de contacto con los ojos y la piel, lávelos con abundante agua.

Si es ingerido, no provocar vómitos, procurar ayuda médica inmediata.

La información que suministramos está basada en ensayos que consideramos seguros y correctos de acuerdo a nuestra experiencia. Los usuarios quedan en libertad de efectuar las pruebas y ensayos previos que estimen conveniente, para determinar si son apropiados para un uso en particular. El uso, aplicación y manejo correcto de los productos, quedan fuera de nuestro control y es de exclusiva responsabilidad del usuario.

Anexo Q.
Ficha Técnica del Material Cementante, Cemento SOL Tipo I

CEMENTO SOL

Descripción:

- Es un Cemento Tipo I, obtenido de la molienda conjunta de Clinker y yeso.
- Cuenta con la fecha y hora de envasado en la bolsa en beneficio de los consumidores, ya que permite una mayor precisión en la trazabilidad.

Beneficios:

- El acelerado desarrollo de resistencias iniciales permite un menor tiempo en el desencofrado.
- Excelente desarrollo de resistencias en Shotcrete.
- Ideal para la producción de prefabricados en concreto.

Usos:

- Construcciones en general y de gran envergadura cuando no se requieren características especiales o no especifique otro tipo de cemento.
- Fabricación de concretos de mediana y alta resistencia a la compresión.
- Preparación de concretos para cimientos, sobrecimientos, zapatas, vigas, columnas y techado.
- Producción de prefabricados de concreto.
- Fabricación de bloques, tubos para acueducto y alcantarillado, terrazos y adoquines.
- Fabricación de morteros para el desarrollo de ladrillos, tarrajeos, enchapes de mayólicas y otros materiales.

Características Técnicas:

- Cumple con la Norma Técnica Peruana 334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C 150.

Formato de distribución:

- **Bolsas de 42.5 Kg:** 04 pliegos (03 de papel + 01 film plástico).
- **Granel:** A despacharse en camiones bombonas y Big Bags.



Recomendaciones

Dosificación:

- Se debe dosificar según la resistencia deseada.
- Respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- Realizar el curado con agua a fin de lograr un buen desarrollo de resistencia y acabado final.

Manipulación:

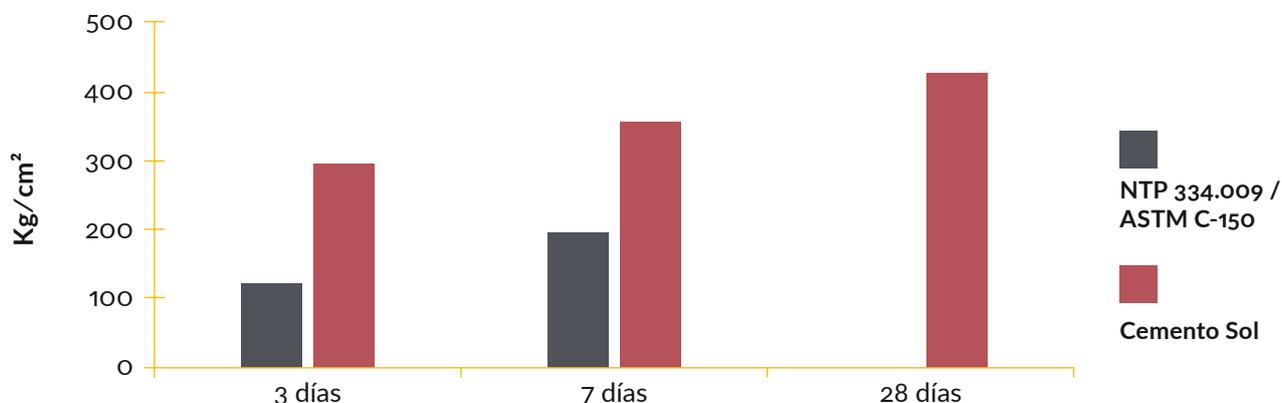
- Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- Se recomienda utilizar equipos de protección personal.
- Se debe evitar el contacto del cemento con la piel, los ojos y su inhalación.

Almacenamiento:

- Almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes y pisos. Protegerlas de las corrientes de aire húmedo.
- No apilar más de 10 bolsas para evitar su compactación.
- En caso de un almacenamiento prolongado, se recomienda cubrir los sacos con un cobertor de polietileno y en dos pallet de altura.

Requisitos mecánicos

Comparación resistencias NTP 334.009 / ASTM C-150 vs. Cemento Sol



Propiedades físicas y químicas

Parámetro	Unidad	Cemento Sol Tipo I	Requisitos 334.009 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	6.62	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie específica	cm ² /g	3361	Máximo 2600
Densidad	g/ml	3.12	No Especifica
Resistencia a la Compresión			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	296	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ²	357	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ²	427	No especifica
Tiempo de Fraguado			
Fraguado Vicat inicial	min	127	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	305	Máximo 375
Composición Química			
MgO	%	2.93	Máximo 6.0
SO ₃	%	3.08	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	2.25	Máximo 3.0
Residuo insoluble	%	0.68	Máximo 1.5
Fases Mineralógicas			
C ₂ S	%	13.15	No especifica
C ₃ S	%	53.60	No especifica
C ₃ A	%	9.66	No especifica
C ₄ AF	%	9.34	No especifica

Anexo R.
Método de Prueba Estándar para la Tasa de Infiltración para Concreto Permeable
Colocado (Norma ASTM C1701)



Designation: C 1701/C 1701M – 09

Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete¹

This standard is issued under the fixed designation C 1701/C 1701M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the field water infiltration rate of in place pervious concrete.

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.4 The text of this standard references notes that provide explanatory material. These notes shall not be considered as requirements of the standard.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates

C 920 Specification for Elastomeric Joint Sealants

2.2 Other Standards

Federal Specification A-A-3110 (TT-P-1536A) Plumbing Fixture Setting Compound³

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 The terms used in this test method are defined in Terminology C 125.

4. Summary of Test Method

4.1 An infiltration ring is temporarily sealed to the surface of a pervious pavement. After prewetting the test location, a given mass of water is introduced into the ring and the time for the water to infiltrate the pavement is recorded. The infiltration rate is calculated in accordance with 9.1.

5. Significance and Use

5.1 Tests performed at the same location across a span of years may be used to detect a reduction of infiltration rate of the pervious concrete, thereby identifying the need for remediation.

5.2 The infiltration rate obtained by this method is valid only for the localized area of the pavement where the test is conducted. To determine the infiltration rate of the entire pervious pavement multiple locations must be tested and the results averaged.

5.3 The field infiltration rate is typically established by the design engineer of record and is a function of the design precipitation event.

5.4 This test method does not measure the influence on in-place infiltration rate due to sealing of voids near the bottom of the pervious concrete slab. Visual inspection of concrete cores is the best approach for determining sealing of voids near the bottom of the pervious concrete slab.

6. Apparatus

6.1 *Infiltration Ring*—A cylindrical ring, open at both ends (See Fig. 1). The ring shall be watertight, sufficiently rigid to retain its form when filled with water, and shall have a diameter of 300 ± 10 mm [12.0 ± 0.5 in.] with a minimum height of 50 mm [2.0 in.]. The bottom edge of the ring shall be even. The inner surface of the ring shall be marked or scored with two lines at a distance of 10 and 15 mm [0.40 and 0.60 in.] from the bottom of the ring. Measure and record the inner diameter of the ring to the nearest 1 mm [0.05 in.].

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.49 on Pervious Concrete.

Current edition approved Aug. 1, 2009. Published September 2009.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ <http://www.everyspec.com>

 C 1701/C 1701M - 09

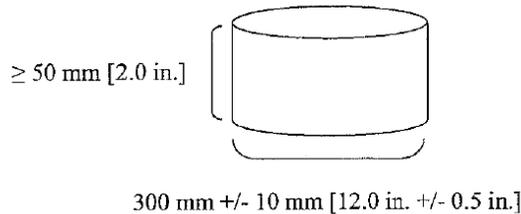


FIG. 1 Dimensions of Infiltration Ring

NOTE 1—Ring materials that have been found to be suitable include steel, aluminum, rigid plastic, and PVC.

6.2 *Balance*—A balance or scale accurate to 10 g [0.02 lb].

6.3 *Container*—A cylindrical container typically made of plastic having a volume of at least 20 L [5 gal], and from which water may be easily poured at a controlled rate into the infiltration ring.

6.4 *Stop Watch*—Accurate to 0.1 s.

6.5 *Plumbers Putty (Non-Hardening)*—Meeting Specification C 920 or Federal Specification A-A-3110.

6.6 *Water*—Potable water.

7. Test Locations

7.1 Perform tests at multiple locations at a site as requested by the purchaser of testing services. Unless otherwise specified, use the following to determine the number of tests to perform:

7.1.1 Three test locations for areas up to 2,500 m² [25,000 ft²].

7.1.2 Add one test location for each additional 1,000 m² [10,000 ft²] or fraction thereof.

7.2 Provide at least 1 m [3 ft] clear distance between test locations, unless at least 24 h have elapsed between tests.

7.3 Do not test if there is standing water on top of the pervious concrete. Do not test within 24 h of the last precipitation.

8. Procedure

8.1 *Infiltration Ring Installation*—Clean the pavement surface by only brooming off trash, debris, and other non-seated material. Apply plumbers putty around the bottom edge of the ring and place the ring onto the pervious concrete surface being tested. Press the putty into the surface and around the bottom edge of the ring to create a watertight seal. Place additional putty as needed.

NOTE 2—In a hot environment where the surface temperature is over 38 °C [100 °F] plumbers putty may not adhere to the concrete surface easily. Therefore it is advisable to perform this test during cooler temperature.

8.2 *Prewetting*—Pour water into the ring at a rate sufficient to maintain a head between the two marked lines. Use a total of $3.60 \pm 0.05 \text{ kg}$ [$8.0 \pm 0.1 \text{ lb}$] of water. Begin timing as soon as the water impacts the pervious concrete surface. Stop timing when free water is no longer present on the pervious surface. Record the amount of elapsed time to the nearest 0.1 s.

8.3 *Test*—The test shall be started within 2 min after the completion of the prewetting. If the elapsed time in the

prewetting stage is less than 30 s, then use a total of $18.00 \pm 0.05 \text{ kg}$ [$40.00 \pm 0.1 \text{ lb}$] of water. If the elapsed time in the prewetting stage is greater than or equal to 30 s, then use a total of $3.60 \pm 0.05 \text{ kg}$ [$8.0 \pm 0.1 \text{ lb}$] of water. Record the weight of water to the nearest 10 g [0.02 lb] (*M*). Pour the water into the ring at a rate sufficient to maintain a head between the two marked lines and until the measured amount of water has been used. Begin timing as soon as the water impacts the pervious concrete surface. Stop timing when free water is no longer present on the pervious surface. Record the testing duration (*t*) to the nearest 0.1 s.

NOTE 3—If a sloped pavement is being measured, maintain head between the two marked lines at the lowest point of the slope.

8.4 If a test is repeated at the same location, the repeat test does not require pre-wetting if conducted within 5 min after completion of the first test. If more than one test is conducted at a location on a given day, the infiltration rate at that location on that day shall be calculated as the average of the two tests. Do not repeat this test more than twice at the same location on a given day.

9. Calculation

9.1 Calculate the infiltration rate (*I*) using consistent units as follows:

$$I = \frac{KM}{(D^2)t}$$

where:

I = Infiltration rate, mm/h [in./h],

M = Mass of infiltrated water, kg [lb],

D = Inside diameter of infiltration ring, mm [in.],

t = time required for measured amount of water to infiltrate the concrete, s, and

K = 4 583 666 000 in SI units or 126 870 [inch-pound] units.

NOTE 4—The factor *K* has units of (mm³s)/(kgh) [(in.³s)/(lbh)] and is needed to convert the recorded data (*W*, *D*, and *t*) to the infiltration rate *I* in mm/h [in./h].

10. Report

10.1 Report the following information:

10.1.1 Identification number,

10.1.2 Location,

10.1.3 Date of test,

10.1.4 Age and thickness of concrete (label Unknown if not known),

 C 1701/C 1701M - 09

- 10.1.5 Time elapsed during prewetting, s,
- 10.1.6 Amount of rain during last event, if known, mm [in.],
- 10.1.7 Weight of infiltrated water, kg [lb],
- 10.1.8 Inside diameter of infiltration ring, mm [in.],
- 10.1.9 Time elapsed during infiltration test, s,
- 10.1.10 Infiltration rate, mm/h [in./h], and
- 10.1.11 Number of tests performed at each location, if applicable.

11. Precision and Bias

11.1 Repeatability testing was performed by a single laboratory by making 2 replicate measurements at three locations on a newly placed pervious concrete pavement. The replicate

measurements were repeated daily from day 1 to day 10. The single-operator coefficient of variation of the infiltration rate at one test location was found to be 4.7 %.

11.2 The multi-operator variability data has not been developed. The reproducibility of this test method is being determined and will be available on or before October 1, 2014.

11.3 This test method has no bias because the infiltration rate of in-place pervious concrete is defined only in terms of this test method.

12. Keywords

12.1 concrete; infiltration; pervious; water

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Anexo S.
Modelo de Proporcionamiento de Materiales en una Mezcla de Concreto
Permeable



MODELO DE PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES EN UNA MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE

Conociendo la cantidad requerida de volumen de concreto permeable, se puede estimar la cantidad de agregado grueso a utilizar. Partiendo de esta cantidad de agregado grueso (AG), las demás cantidades de los materiales restantes se pueden hallar partiendo de las relaciones deseadas. Por ejemplo:

Se sabe que la cantidad de AG a utilizar será de 91 kg, por lo tanto; conociendo de antemano las relaciones:

$$A/C = 0.27$$

$$AG/C = 3.8$$

$$\% \text{ de } D = 1.65\% \text{ del } C$$

Donde:

$$A = \text{Agua}$$

$$C = \text{Cemento}$$

$$AG = \text{Agregado Grueso}$$

$$D = \text{Aditivo}$$

Se llega a las siguientes cantidades:

$$A = 6.47 \text{ Lt}$$

$$C = 23.95 \text{ Kg}$$

$$AG = 91 \text{ Kg}$$

$$D = 0.395 \text{ Kg}$$

Además, se debe realizar la corrección respectiva por contenido de humedad y porcentaje de absorción. Si se conoce que el agregado se encuentra con un contenido de humedad de 1.20% y que posee un porcentaje de absorción de 1.326%. Las cantidades de materiales corregidas finalmente son:

$$A = 6.58 \text{ Lt}$$

$$C = 23.95 \text{ Kg}$$

$$AG = 92.09 \text{ Kg}$$

$$D = 0.395 \text{ Kg}$$