

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS GEOLOGÍA Y
CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL



**Pavimientos Permeables como Alternativa de
Drenaje en las principales Calles de La ciudad de
Ayacucho, Perú**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

YOPER DE LA CRUZ MORALES

DIRIGIDO POR:

ING. JOSÉ ERNESTO ESTRADA CÁRDENAS

AYACUCHO - PERÚ

2017

Presentación

Esta tesis que lleva por **título “Pavimentos Permeables como Alternativa de Drenaje en las principales Calles de La ciudad de Ayacucho - Perú,”** es presentado como parte de los requisitos para optar el título profesional de Ingeniero Civil, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y no ha sido presentado previamente para la obtención de otro grado o título en esta universidad u otras. Esperando que este aporte sirva a los profesionales y estudiantes inmersos en este campo.

De la Cruz Morales, Yober

yobciv@gmail.com

Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil Universidad
Nacional de San Cristóbal de Huamanga Ayacucho, febrero del 2017

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres Pastor ,
María Dolores y a mis hermanos.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y a la Escuela de Formación Profesional Ingeniería Civil por haberme albergado en sus aulas durante estos años de formación.

Agradezco a mis padres Pastor y María Dolores por su apoyo incondicional y por su paciencia durante la elaboración de este trabajo.

Al Ing. José Ernesto Estrada Cárdenas, amigo y asesor de esta tesis, por su orientación y apoyo constante, por sus acertadas sugerencias que direccionaron al éxito de este trabajo de investigación.

Al Ing. Victor Portal Quicaña, amigo, por su guía y ayuda incesante, por sus atinadas recomendaciones que orientaron al término de este trabajo de investigación.

Al Ing. Carlos Aire, por el apoyo en los textos y e investigaciones respecto a este tema.

A los ingenieros: Norbertt Quispe Auccapuella, Adolfo Linares Flores, por sus apreciadas sugerencias durante la revisión del borrador de esta tesis.

Al personal técnico y de ingeniería del laboratorio INGEOTECON, por facilitarme sus instalaciones y por sus consejos.

Finalmente, a mis compañeros y amigos que me ayudaron durante el proceso de este trabajo.

Resumen

En la presente investigación se ha desarrollado el estudio del pavimento permeable como alternativa de drenaje en las principales calles de la ciudad de Ayacucho, se presenta un resumen del estudio realizado al material proveniente del rio cachi, con miras a utilizarlos como agregados en el diseño de mezcla de concreto poroso.

Este material proveniente de esta cantera es el más usado en la ciudad. En la presente investigación se revisara la adecuada aplicación de concreto poroso para pavimentos como alternativa de drenaje en calles con trafico ligero. Para lograrlo, se realizara una serie de pruebas para dos tipos de mezclas de concreto permeable, con 15 % y 25 % con poco o nada de agregados finos, para medir su resistencia a compresión y a flexión, permeabilidad, modulo de elasticidad, módulo de rotura, porcentaje de vacíos, entre otros, con el fin de verificar las características del concreto permeable que se debe utilizar en obras de construcción para infraestructura vial y como alternativa de drenaje.

Para desarrollar el presente tesis, se abordan tres fases, la primera, una de tipo hermenéutico, con la recopilación, análisis y estructuración de información de tipo bibliográfica, fruto de fuentes científicas de investigación, que brindan la posibilidad de respaldar la investigación con argumentos científicos; En la segunda fase se detallara la metodología con la cual se procede a verificar el adecuado diseño de la mezcla, según sus relaciones agua cemento llegando a los valores apropiados de resistencia a la compresión, en esta fase se exponen los procedimientos, las herramientas y demás factores involucrados en el trabajo; Finalmente, se discuten los resultados de las pruebas realizadas sobre diferentes mezclas, con los cuales se analizan las características de permeabilidad, resistencia y compresión de las diferentes muestras.

Contenido

Índice de Tablas	3
Índice De Figuras.....	4
Capítulo 1	7
Introducción	7
1.1. Antecedentes	7
1.2. Planteamiento del problema	11
1.2.1. Problema principal	11
1.2.2. Problemas Secundarios	11
1.3. Justificación e Importancia	11
1.4. Objetivos de la Tesis	12
1.4.1. Objetivo General	12
1.4.2. Objetivos Específicos.....	12
1.5. Organización del Estudio	13
Capítulo 2	16
Estado Del Arte de los Pavimentos permeables	16
2.1. Desarrollo Histórico	17
2.1.1. Antecedentes	19
2.2. Pavimento Permeable	23
2.2.1. Drenaje Sostenible.....	23
Capítulo 3	63
Materiales y Métodos	63
3.1. Consideraciones Generales	63
3.2. Materiales.....	63
a) Concreto Hidráulico.....	64
a.1) Cemento.....	64
a.2) Agregados	73
Capitulo 4	86
Modelamiento y Análisis del Problema	86
4.1. Generalidades.....	86
4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla.....	86
4.2.1. Selección y análisis Granulométrico de los Agregados	87
Análisis Granulométrico de los Agregados:	89
1. Agregado Grueso	89
4.3. Proporción de Mezcla	93
4.3.1. Procedimiento de Diseño	95
Elección del porcentaje de vacíos	95
Diseños de Mezcla de la Investigación	96

4.4.1. Peso Unitario y Contenido de Vacíos de Mezclas frescas de Concreto Permeable (Density and Void Content of Freshly Mixed Pervious Concrete-(ASTM-C1688).....	96
4.5. Ensayos en Estado Endurecido del Concreto Poroso	101
4.5.1. Resistencia a Compresión	102
4.5.2. Permeabilidad	105
4.6. Ensayo de resistencia a la colmatación	106
4.6.1. Descripción del ensayo de colmatación	106
Capítulo 5	127
Análisis y Discusión de los Resultados de los Ensayos	127
5.1. Ubicación de la cantera FRANKEKA	127
5.2. Diseño de mezcla	128
5.2.1. Análisis de resultados ensayos en estado fresco peso unitario en estado fresco del concreto poroso.	129
5.2.2. Porcentaje de vacíos en el concreto poroso:.....	130
5.3. Resistencia a compresión	134
5.3.1. Resistencia a Compresión Agregado Angular	135
5.3.1.1. Resistencia a Compresión Agregado, Huso Granulométrico #08	135
5.3.1.2. Resistencia a Compresión, Huso Granulométrico #06.....	136
5.4. Comparación de Resultados de la Resistencia a Compresión	138
5.4.1. Comparación de la Resistencia a Compresión por el Huso Granulométrico.....	138
5.5. Variación del Coeficiente de Permeabilidad en el concreto poroso	142
5.5.1. Coeficiente de Permeabilidad en el Agregado	143
5.6. Resistencia a la colmatación	145
5.6.1 Resistencia a la colmatación de finos en función de cantidad de Agua almacenada.....	145
Capítulo 6	159
Diseño De Pavimento Permeable	159
6.1 Diseño De Pavimento	159
6.2. Parámetros de diseño	161
6.3. Diseño de la carpeta de concreto.....	165
6.3.1. Análisis de tráfico	166
6.3.2. Resistencia de concreto poroso	167
6.4. Dimensionamiento de la rasante	169
6.4.1. Método de la Portland Cement Association (PCA).....	170
Capítulo 7	183
Conclusiones y Recomendaciones.....	183
7.1. Conclusiones.....	183
7.2 Recomendaciones	184

Índice de Tablas

Tabla 2. 1 Clasificación Propuesta De Técnicas De Drenaje Sostenible	30
Tabla 2. 2 Clasificación propuesta de pavimentos permeables.	40
Tabla 2. 3 Categorías De Tráfico Pesado	53
Tabla 2. 4 Selección de carga	55
Tabla 2. 5 Ajuste de los espesores con en caso de un CBR menor al 5 %	58
Tabla 2. 6 Registro De Precipitaciones Diarias (Mm), Estacion Huamanga.	62
Tabla 3. 1 Valores máximos de sales y sustancias contenidos en el agua	75
Tabla 3. 2 Rangos típicos de las proporciones de materiales en el concreto permeable.	78
Tabla 3. 3 Valores efectivos de b/bo.	81
Tabla 4. 1 Propiedades físicas del agregado grueso de 4 usado en la investigación.	87
Tabla 4. 2 Propiedades físicas del agregado grueso de 6 usado en la investigación.	88
Tabla 4. 3 Propiedades físicas del agregado grueso de 8 usado en la investigación.	88
Tabla 4. 4 Propiedades físicas del agregado grueso de 6 usado en la investigación.	88
Tabla 4. 5 Propiedades físicas del agregado grueso de 8 usado en la investigación.	89
Tabla 4. 6 Granulometría del Agregado Grueso de Huso N° 4 (ASTM C33)	90
Tabla 4. 7 Granulometría del Agregado Grueso de Huso N° 6 (ASTM C33)	91
Tabla 4. 8 Granulometría del Agregado Grueso de Huso N° 8 (ASTM C33)	92
Tabla 4. 9 Diferencias entre Diseño ACI de concreto convencional y el Diseño del Concreto Poroso	94
Tabla 4. 10 Cantidad de probetas para realizar el diseño	96
Tabla 4. 11 Resumen de Diseño de mezclas, según su huso granulométrico	96
Tabla 4. 12 Resumen de pesos unitarios, según su huso granulométrico	99
Tabla 4. 13 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al estacionamiento de la Facultad de Enfermería.	116
Tabla 4. 14 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de las "H".	116
Tabla 4. 15 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de la Escuela de Medicina Veterinaria	117
Tabla 4. 16 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de la FACEAC	117
Tabla 4. 17 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de La Biblioteca Central.	118
Tabla 4. 18 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de la Escuela de Ingeniería Civil	118
Tabla 4. 19 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de la Escuela de Ingeniería de Minas.	119
Tabla 4. 20 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de la Escuela de Ingeniería Agrónoma	119
Tabla 4. 21 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de la Escuela de la facultad de Educación	120
Tabla 4. 22 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento posterior a las aulas de las "H".	120
Tabla 4. 23 Análisis Granulométrico del contaminante que se emplea para cada una de las muestras para el ensayo de Colmatación de Finos.	122
Tabla 5. 1 Curva de peso unitario con respecto al porcentaje de vacíos	130
Tabla 5. 2 Resumen de Porcentajes de vacíos obtenidos en estado fresco y endurecido para cilindros de 15 cm diámetro y 30 cm de alto obtenidos en laboratorio	130
Tabla 5. 3 Tabla de comparación de los porcentajes de vacíos entre metodologías y porcentaje de vacíos de diseño huso granulométrico #08, #06, #04.	131
Tabla 5. 4 Resumen de Resistencias a Compresión, Huso Granulométrico #08	135
Tabla 5. 5 Resumen de Resistencias a Compresión, Huso Granulométrico #06	136
Tabla 5. 6 Resumen de Resistencias a Compresión, Huso Granulométrico #4	137
Tabla 5. 7 Resumen de resistencias a compresion.	141

Tabla 5. 8 Resultados del coeficiente de permeabilidad de mezclas elaboradas con agregado.....	144
Tabla 5. 9 Tabla de resistencia de colmatación	146
Tabla 5. 10 Superficie recién colodada con pendiente 0	147
Tabla 5. 11 Superficie recién colodada con pendiente 2	147
Tabla 5. 12 Superficie recién colodada con pendiente 4	148
Tabla 5. 13 Superficie recién colodada con pendiente 6	148
Tabla 5. 14 Superficie recién colodada con pendiente 10	149
Tabla 5. 15 Superficie Colmatada al Máximo con pendiente 0	151
Tabla 5. 16 Superficie Colmatada al Máximo con pendiente 2	151
Tabla 5. 17 Superficie Colmatada al Máximo con pendiente 4	152
Tabla 5. 18 Superficie Colmatada al Máximo con pendiente 6	152
Tabla 5. 19 Superficie Colmatada al Máximo con pendiente 10	153
Tabla 5. 20 Superficie Colmatada al Máximo con Mantenimiento con pendiente 0	155
Tabla 5. 21 Superficie Colmatada al Máximo con Mantenimiento con pendiente 2	155
Tabla 5. 22 Superficie Colmatada al Máximo con Mantenimiento con pendiente 4	156
Tabla 5. 23 Superficie Colmatada al Máximo con Mantenimiento con pendiente 6	156
Tabla 5. 24 Superficie Colmatada al Máximo con Mantenimiento con pendiente 10	157
Tabla 6. 1 Aforo vehicular de estacionamiento de centro comercial de 400 estacionamientos	166
Tabla 6. 2 Distribucion de transito de ejes cargados	167
Tabla 6. 3 Porcentaje de infiltracion de agua respecto a la pendiente	168
Tabla 6. 4 Espesor del pavimento de la PCA	171
Tabla 6. 5 K- Modulo de reacción sub-rasante(kg/cm2).....	174
Tabla 6. 6 K- Modulo de reacción sub-rasante(kg/cm2).....	174
Tabla 6. 7 Pavimento obstruido	179
Tabla 6. 8 Resumen de diseño hidraulico.....	181
Tabla 6. 9 Resumen de diseño de pavimento permeable	181

Índice De Figuras

Figura 2. 1 Aspectos que involucra el desarrollo sostenible	24
Figura 2. 2 Adoquines	41
Figura 2. 3 Aplicación de mezcla bituminosa porosa.....	42
Figura 2. 4 Aplicación de concreto poroso.....	42
Figura 2. 5 Descripción de los contenidos de las diferentes capas que conforman el pavimento permeable	43
Figura 2. 6 Aplicación de concreto poroso.....	43
Figura 2. 7 Espesores de la capa de almacenamiento para el caso infiltración total y parcial	56
Figura 2. 8 Espesores de la capa de almacenamiento para el caso infiltración cero.	57
Figura 3. 1 Agregados usados en concreto permeable	74
Figura 3. 2 Muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua: (a) con poca agua, (b) adecuada cantidad de agua, (c) con demasiada agua.....	79
Figura 3. 3 Relación entre el contenido de vacíos y el contenido de pasta para agregado N° 8 (3/8").....	82
Figura 4. 1 Curva Granulométrica del Agregado Grueso de Huso N°4 (ASTM C33).....	90
Figura 4. 2 Curva granulométrica del agregado grueso de huso N°6 (ASTM C33).....	91
Figura 4. 3 Curva granulométrica del agregado grueso de huso N°8 (ASTM C33).....	92
Figura 4. 4 Modelo esquemático del diseño de mezcla del concreto poroso.....	94
Figura 4. 5 Relación entre la filtración y porcentaje de vacíos (Adaptado del ACI 211.3R-02).	95
Figura 4. 6 Equipos utilizados para el ensayo de peso unitario del concreto poroso.	98
Figura 4. 7 Procedimiento de ensayo de revenimiento o slump en el concreto poroso (asentamiento 0 cm)	101
Figura 4. 8 Ensayo de peso de cono invertido en el concreto poroso.	101
Figura 4. 9 Elaboracion de especímenes.	104
Figura 4. 10 Equipo utilizado para el ensayo de contenido de aire.	105

Figura 4. 11 Infiltrómetro de cántabro fijo utilizado en la tesis del doctor Jorge Rodríguez-2008	108
Figura 4. 12 Equipo de cántabro fijo empleado para el desarrollo de ensayo de colmatación de finos en la investigación.	109
Figura 4. 13 Cajones para la preparación de muestra para el ensayo de colmatación de finos.	111
Vierta el material granular mayor a 1” (25.4 cm) de la misma cantera del agregado empleado para el concreto poroso, cuando llegamos a obtener el grosor adecuado nivelamos y de esta manera preparamos la superficie o base para el concreto poroso. Figura 4. 14 Preparación de base en cajones o moldes de la muestra	112
Figura 4. 15 Finalización de preparación de muestra para el concreto poroso.	113
Figura 4. 16 Distribución de la lluvia en la muestra de concreto poroso.	113
Figura 4. 17 Croquis de distribución, se muestra la distribución para el muestreo de contaminantes en estacionamientos del campus universitario.	115
Figura 4. 18 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente a los Estacionamientos.	121
Figura 4. 19 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente a al estacionamiento de Medicina Veterinaria.	121
Figura 4. 20 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente a al estacionamiento de Agronomía.	122
Figura 4. 21 Muestras en condición recién colocada, sin contaminante, losa con agregado	125
Figura 4. 22 Muestras en condición colmatada al máximo, 6 K g/m² de contaminante, losa con agregado de la cantera de Frankeka.	126
Figura 5. 1 Ubicación de la cantera.	127
Figura 5. 2 Planta de producción de agregados Frankeka	128
Figura 5. 3 Curva de peso unitario con respecto al porcentaje de vacíos.	129
Figura 5. 4 Comparación de métodos para la obtención del % de vacíos de concreto poroso Agregado Huso #08.	131
Figura 5. 5 Agregado Huso granulométrico #08.	132
Figura 5. 6 Comparación de métodos para la obtención del % de vacíos de concreto poroso Agregado (Huso #06)	132
Figura 5. 7 Agregado Angular Reciclado-Huso granulométrico #06.	133
Figura 5. 8 Comparación de métodos para la obtención del % de vacíos de concreto poroso Agregado Huso #04	133
Figura 5. 9 Agregado Angular Reciclado -Huso granulométrico #04	134
Figura 5. 10 Flujo de diseños de mezcla de compresión.	135
Figura 5. 11 Resistencia a Compresión (f_c)- Huso Granulométrico #08.	136
Figura 5. 12 Resistencia a Compresión (f_c)- Huso Granulométrico #06.	137
Figura 5. 13 Resistencia a Compresión (f_c), Huso Granulométrico #04	138
Figura 5. 14 Comparación de resistencias a compresión a los 7 días de edad del concreto poroso según el huso granulométrico utilizado.	139
Figura 5. 15 Comparación de resistencias a compresión a los 14 días de edad del concreto poroso según el huso granulométrico utilizado.	139
Figura 5. 16 Comparación de resistencias a compresión a los 28 días de edad del concreto poroso según el huso granulométrico utilizado.	140
Figura 5. 17 Comparación de resistencias a compresión a los 28 días de edad del concreto poroso según el huso granulométrico utilizado.	143
Figura 5. 18 Comparación de coeficientes de permeabilidad entre husos granulométricos 04, 06 y 08 de las mezclas con agregado	145
Figura 5. 19 Porcentaje acumulado de agua infiltrada en las cámaras de almacenamiento correspondiente al Pavimento de Concreto Poroso con agregado en la muestra recién colocada	149
Figura 5. 20 Escorrentía superficial residual almacenada del Pavimento de Concreto Poroso con Agregado en la muestra recién colocada	150
Figura 5. 21 Porcentaje acumulado de agua infiltrada en las cámaras de almacenamiento correspondiente al Pavimento de concreto poroso con agregado en la muestra recién colmatada al máximo	153
Figura 5. 22 Escorrentía superficial residual almacenada del Pavimento de Concreto Poroso con Agregado en la muestra recién colmatada al máximo	154

Figura 5. 23 Porcentaje acumulado de agua infiltrada en las cámaras de almacenamiento correspondiente al Pavimento de Concreto Poroso con agregado en la muestra recién colmatada al máximo con mantenimiento	157
Figura 5. 24 Escorrentía superficial residual almacenada del Pavimento de Concreto Poroso con Agregado en la muestra recién colmatada al máximo con mantenimiento.	158
Figura 6. 1 Sistema de pavimento permeable.	159
Figura 6. 2 Cálculo de la escorrentía en función de la precipitación y el número de curva N.	162
Figura 6. 3 Jr bellido.....	166
Figura 6. 4 Equipos de limpieza del pavimento permeable	180
Figura 6. 5 Equipo de limpieza manual de pavimentos permeables de concreto	180

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

La Ingeniería Civil es una disciplina que tiene como finalidad aplicar conocimientos tecnológicos al desarrollo, utilización o perfeccionamiento de técnicas constructivas en beneficio de la comunidad, se hace necesario que el ingeniero se mantenga al tanto de los últimos avances en dichas técnicas, a fin de lograr aplicar nuevas ideas, nuevos procesos, nuevos materiales al propio desarrollo profesional.

La rama de la construcción, como uno de los pilares de la Ingeniería Civil, se apoya en el campo de los materiales de construcción. Estos elementos se encargan de dar forma mediante la aplicación de una tecnología, a todo tipo de construcciones ya sean rudimentarios o perfeccionadas, en cuya realización interviene en mayor o menor grado el ingeniero civil.

Para que dichas realizaciones logren los objetivos básicos que se pretenden, resistencia, seguridad, funcionalidad, economía, estética, etc., el ingeniero se ve precisado a conocer y utilizar los materiales más adecuados a la obra de que se trate y para ello debe conocer suficientemente las características y propiedades de dichos materiales, incluyéndose en estos los nuevos elementos de construcción que por sus características especiales o por la profusión de su uso han adquirido suma importancia en este campo.

La norma ACI 522R-06 (2006)¹ nos ilustra el uso del concreto permeable, los inicios del concreto permeable se revocan al año de 1852, el concreto permeable fue usado por primera vez en la construcción de dos casas en el Reino Unido.

¹ ACI 522R-06, Este informe proporciona información técnica en la aplicación de concreto permeable, métodos de diseño, materiales, propiedades, mezcla proporcional, construcción los métodos, las pruebas y la inspeccion

Este concreto consistía en solo grava gruesa cemento. En el año de 1923 se construyó un grupo de 50 casas de dos pisos; las cuales fueron construidas con Clinker y agregado de Edimburgo, Escocia, dichos materiales de construcción tenían propiedades permeables. A finales de 1930, se continuo empleando el concreto permeable en Escocia, en viviendas Especiales adoptando el uso de concreto permeable para la construcción de las mismas.

Del mismo modo, en Europa, entre 1945 y 1956, muchas casas fueron construidas con concreto permeable. Esto fue principalmente debido a la cantidad limitadas de agregados duros y la ausencia de buenos ladrillos. Antes de la Segunda Guerra Mundial, la producción de concreto permeable se limita a casas de dos pisos. En 1946, el concreto permeable fue utilizado para una gama mucho más amplia de aplicaciones. La primera notificación del uso del concreto permeable en Australia fue en 1946 Con los años, el concreto permeable se ha aplicado sustancialmente en la producción de nuevos casas en el Reino Unido, Alemania, Holanda, Francia, Bélgica, Escocia, España, Hungría, Venezuela, al Norte de Africa, el Medio Oriente, Australia y Rusia.

Alemania utilizo esta clase de concreto, ya que después de la segunda guerra mundial era difícil la eliminación de escombros, la excesiva cantidad de escombros permitió el uso de los mismo, teniendo como resultado una especie de concreto permeable, ello llevo a la determinación de la propiedad principal tal concreto que es la capacidad de filtrar agua.

Una de las razones del uso limitado del concreto permeable en América es que, después de la Segunda Guerra Mundial, América del Norte 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 lleva 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. También se utilizó en un edificio federal en Ottawa para su base estructural. 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 usó el concreto permeable desde 1999, sometido a diferentes condiciones climáticas, llegando a ser los pioneros en la creación de Normas que estandaricen la aplicación y el uso del concreto Permeable concreto. En el año 2002 el comité ACI “American Concrete Instituto”, manifestó los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en la ciudad 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. De la misma forma en el año 2009 la asociación American Society for Testing and Materials (ASTM) creo una forma para medir la taza de infiltración de un pavimento de concreto permeable plasmando sus resultados en la Norma ASTM 1701².

Aunque tuvo principios modestos, el uso del concreto permeable como sustituto del concreto convencional ha crecido hasta volverse una herramienta de funcionamientos múltiples en la industria de la construcción. El concreto permeable en pavimentos es limitado por su baja durabilidad bajo tránsito pesado, esta carencia de la resistencia restringe su uso a funciones específicas, el concreto permeable limita su uso en áreas sujetas

² ASTM 1701; Método de prueba estándar para la tasa de infiltración del concreto permeable

al tráfico de bajos volúmenes y cargas. Aunque se ha utilizado como paredes de carga hidráulica en casas junto a cortes, se recomienda utilizarlo en estacionamientos, invernaderos, calzadas banquetas, calles residenciales, canchas de tenis y mandadores de piscinas.

En los últimos años la ciudad de Ayacucho ha presentado accidentes por no contar con un sistema de drenaje adecuado en sus principales calles ya que la morfología de estas es accidentada y las precipitaciones intensas en épocas de lluvia. Los pavimentos permeables es una forma alternativa de drenaje urbano, que tiene como objetivo de capturarlos y evacuarlos hacia algún lugar aguas abajo.

El concreto permeable está formado por Cemento Portland Ordinario, agregado grueso, poco agregado no, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros conectados, que van de 2 a 8 mm, que permiten que el agua percole fácilmente. El porcentaje de vacíos puede variar de 15 % a 35 %, con una resistencia a la compresión de 28kg/cm^2 a 280kg/cm^2 , la permeabilidad puede variar con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla, pero generalmente caen en el rango de 81 a 730 l/min/m^2 .

En la presente investigación, se realizara los ensayos de laboratorio para el concreto permeable o poroso con agregado grueso y su relación con las propiedades físicas, mecánicas. Se realizara el diseño de mezclas para el concreto poroso y comprobar su resistencia mecánica de alto desempeño con agregados de la localidad y fomentar su uso en los pavimentos de la ciudad directamente en la superficie en calles peatonales o como sub-base de las calles con pavimentos adoquinados.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema principal

- ¿Podría el pavimento permeable solucionar los problemas de evacuación de agua de lluvia de las principales calles de la Ciudad de Ayacucho?

1.2.2. Problemas Secundarios

- ¿Las propiedades Físicas y mecánicas del concreto permeable es lo suficientemente resistente como para ser usados en alto tráfico?
- ¿Qué diferencias en las propiedades mecánicas y económicas entre el pavimento permeable y el pavimento adoquinado que se está usando actualmente en las principales calles?
- ¿Qué niveles de resistencia mecánica se alcanza con el concreto poroso o permeable?.
- ¿Cuál es la dosificación adecuada para la elaboración del concreto poroso o permeable?

1.3. Justificación e Importancia

La implementación de los sistemas urbanos de drenaje ayuda a contrarrestar los problemas de evacuación de agua de lluvia que se presentan frecuentemente en la ciudad de Ayacucho. Por medio de estos se mejora la evacuación de las aguas de lluvia de las calles impermeabilizándolas y evacuándolas.

Por lo tanto los pavimentos permeables pueden llegar a ser parte de la solución a los problemas de escorrentía y encharcamientos en las principales calles del centro de la ciudad. Esta es la razón por la que se requiere hacer esta tesis, por una parte encontrar y unificar métodos actuales de diseño que se adapten a las características propias de nuestra ciudad,

pero también impulsar la investigación e implementación de este sistema, con el fin de contrarrestar los problemas en la calidad de vida y salud pública que las aguas de lluvia traen a nuestra ciudad. En la ciudad de Ayacucho la construcción tradicional, permite obtener concreto convencional de buen comportamiento, la alternativa propuesta incidir en el ahorro económico para las construcciones de pavimentos y sub-base de sistemas adoquinados. Las ventajas y beneficios que presenta este tipo de concreto son:

- Permite disminuir la escorrentía y encharcamientos de aguas de lluvia.
- Superficie de rodaduras antiderrapantes.
- Bajo costo de instalación comparado con un sistema con drenaje pluvial.
- Percola el agua en vez de crear espejos de agua en la superficie de rodamiento con lo que mejora la visibilidad y reduce el hidropelano.
- Reduce el ruido del tráfico.
- Reduce el efecto invernadero ya que no conserva tanto calor como el concreto asfáltico o hidráulico tradicional.

1.4. Objetivos de la Tesis

Los objetivos que guían el desarrollo de esta investigación son:

1.4.1. Objetivo General

- Describir y analizar los pavimentos permeables como sistema alternativo para el drenaje en las principales calles de la ciudad de Ayacucho.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Establecer el estado del arte de los pavimentos permeables como alternativa para el drenaje de aguas pluviales de las principales calles de la ciudad de Ayacucho.
- Analizar y comparar los requerimientos de diseño de los pavimentos permeables como técnica alternativa de drenaje urbano.

- Establecer las diferencias en las propiedades mecánicas y económicas entre distintos tipos de pavimento y el pavimento permeable.
- Identificar la metodología de diseño de pavimentos permeables aplicables a la ciudad de Ayacucho.

1.5. Organización del Estudio

El presente trabajo de investigación está organizado de tal forma que primero se realiza un recuento de los conocimientos de los concreto, luego se explica a detalle los aspectos relacionados al concreto poroso, para proceder con los ensayos que permitan cumplir los objetivos planteados para la presente tesis. A continuación se detalla la estructura a seguir en el desarrollo de la presente investigación:

- El Capítulo 1, describe todo lo concerniente a la parte introductoria de la presente investigación. Se hace un análisis de lo que se quiere investigar, su evolución con el transcurrir de los años y se formula el problema, se describe el sustento que justifique la importancia de la investigación y se delimita los objetivos que persigue la presente investigación.
- En el Capítulo 2, se hace una mirada al estado del arte del concreto poroso y pavimento permeable, los tipos o clasificación de pavimentos permeables, caracterización del concreto poroso, principios de diseño, procesos constructivos, los actores que se deben tener en cuenta para el diseño, especialmente para su uso como pavimento permeable y finalmente se presenta un enfoque para el diseño como pavimento rígido, Los conceptos descritos en este capítulo están en concordancia con la normativa aplicada a este tipo de pavimento.
- En el Capítulo 3, en esta parte se describe ampliamente los conceptos relacionados a las generalidades de nuestro problema y planteamiento y la explicación de cada

ensayo en estado fresco y endurecido del concreto poroso y su importancia para la correcta caracterización para su uso como un pavimento permeable.

- En el Capítulo 4, se explica los ensayos de laboratorio seguidas a los agregados para el diseño de mezcla del concreto poroso, primero se procede con el análisis granulométrico de los agregados para estimar la relación que cumpla con los límites establecidos, variando contenidos de cemento dependiendo de los vacíos que se desea tener en el diseño de mezcla y siguiendo el procedimiento, se elabora los especímenes cilíndricos de concreto, las vigas y una muestra en la cual se harán pruebas de porcentaje de vacíos para su evaluación a la resistencia de compresión e infiltración que ofrece este tipo de concreto y como pavimento.
- En el Capítulo 5, se hace el análisis de todos los resultados obtenidos en el estudio.
- El Capítulo 6, se realiza el diseño del pavimento permeable y las comparaciones frente a un pavimento rígido y adoquinado como presentan nuestras calles del centro de la ciudad de ayacucho.
- El Capítulo 7, abarca las conclusiones que se obtuvieron durante la realización de la presente tesis y las recomendaciones según las experiencias adquiridas, además se menciona algunos temas afines de investigación.
- En la Bibliografía, se presenta el material e información utilizada en el presente estudio (libros, tesis, revistas, apuntes).
- En el Apéndice A, se adjunta los resultados de los ensayos de laboratorio de los agregados para el diseño de mezcla de concreto poroso realizados en laboratorio.
- En el Apéndice B, se muestra el resultado de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto poroso con los diferentes porcentajes de vacíos y resistencias a la infiltración y demás resultados de ensayos realizados en laboratorio al concreto permeable.

- En el Apéndice C, se adjunta la galería de imágenes de los ensayos realizados para el diseño de mezcla concreta porosa y los ensayos realizados como pavimento permeable

Capítulo 2

Estado Del Arte de los Pavimentos permeables

El concreto permeable, conocido también como concreto poroso es una mezcla de árido grueso, cemento y agua, en cantidades adecuadas para crear una masa de partículas de árido grueso que se mantiene adherida por una capa delgada de pasta. En general, la mezcla de concreto permeable contiene poco o nada de árido fino, lo que genera un gran contenido de vacíos, formando una estructura porosa que permite crear un sistema de vacíos interconectados con alta permeabilidad permitiendo la infiltración del agua procedente de las precipitaciones.

El concreto permeable se usa tradicionalmente en áreas de estacionamiento y en general en áreas de tránsito ligero. En la actualidad, su uso se ha incrementado debido a que se le considera un material de construcción sostenible. Debido al incremento en el uso y aplicación del concreto permeable, recientemente se han desarrollado recomendaciones sobre el diseño de mezclas, diseño de espesor de pavimento y métodos de prueba para caracterizar y validar este tipo de hormigón.

Los pavimentos permeables son un tipo especial de pavimento, debido, a que tiene en su estructura tiene un alto porcentaje de vacíos, este tipo de pavimentos empezó a ser estudiado en la década de los setenta en Estados Unidos para aliviar la contaminación del sistema sanitario por efecto de las aguas de lluvia, así también, en Europa a fines de los setenta se inician estudios de los pavimentos permeables en Francia, Reino Unido, y Alemania para la mejora de la calidad del aguas y su almacenamiento, también, para la reducción de la escorrentía superficial urbana; este tipo de pavimento ha adquirido una gran atención en la última década debido a que el fenómeno del calentamiento global estos últimos años se ha agudizado, provocando sequías en muchos países a nivel mundial; lo que genera que los países impulsen medidas de conservación del agua e implementan sistemas

sostenibles en las ciudades en donde los pavimentos permeables se ajustan muy bien a estas iniciativas por ser muy beneficiosos de manera que ayudan a construir ciudades sostenibles porque se permite el tratamiento de las aguas superficiales de lluvia donde el agua se infiltra al subsuelo para recargar los acuíferos o almacenar estas aguas en depósitos y luego utilizarla en parques, inodoros de las viviendas , como agua industrial, etc.

Los pavimentos permeables son de varios tipos, de asfalto, concreto y de adoquines, en el presente trabajo de investigación abarca el estudio de los pavimentos permeables de concreto poroso en donde se estudia la influencia de la forma y la granulometría de los agregados, para lo cual se utilizó agregado grueso subredondeado o angular, haciendo del concreto poroso una solución sostenible porque nos permite cuidar el agua, también se estudió la influencia del porcentaje de ácidos en la mezcla, el desempeño del pavimento para distintos grados de colmatación por suelos finos y finalmente se diseña un pavimento permeable para tráfico ligero de un estacionamiento.

2.1. Desarrollo Histórico

El concreto permeable se ha utilizado en la construcción de edificios por lo menos desde mediados del siglo XIX. A lo largo de este capítulo, el término concreto permeable se utiliza para describir el material, pero en las referencias e históricamente, se ha descrito como concreto sin finos o concreto con diferencia gradual. Países europeos han utilizado el concreto permeable en diferentes modos: uno es utilizando el concreto permeable para muros de carga en casas de uno y varios pisos, y en algunos casos en edificios altos; en paneles prefabricados, y en moldes de curado a vapor.

En 1852, el concreto permeable se utilizó por primera vez en la construcción de dos casas en el Reino Unido. Este concreto consistía en sólo grava gruesa y cemento.

En la década de 1930, la asociación escocesa de vivienda especial adoptó el uso del concreto permeable para la construcción residencial. Para 1942, el concreto permeable se había utilizado para construir más de 900 casas.

Los estragos de la Segunda Guerra Mundial desde 1939 hasta 1945 dejó casi toda Europa con gran necesidad de vivienda, que fomentó el desarrollo de métodos nuevos o previamente no utilizados en construcción de edificios.

Notablemente entre ellos fue el concreto permeable ya que usaba menos cemento por unidad de volumen de concreto, en comparación con el concreto convencional, y el material era ventajoso cuando la mano de obra era escasa o cara. Con los años, el sistema de concreto permeable contribuyó sustancialmente a la producción de nuevas viviendas en el Reino Unido, Alemania, Holanda, Francia, Bélgica, Escocia, España, Hungría, Venezuela, África Occidental, el Medio Oriente, Australia y Rusia.

Alemania utiliza este sistema porque la eliminación de grandes cantidades de escombros de ladrillos era un problema después de la guerra, lo que lleva la investigación sobre las propiedades del concreto permeable.

En otros lugares, la demanda sin precedentes de ladrillo y la consiguiente imposibilidad de la industria de ladrillos para proporcionar un suministro adecuado, condujo a la adopción del concreto permeable como material de construcción.

Así mismo, en Escocia, entre 1945 y 1956, muchas casas fueron construidas con concreto permeable. Esto se debió principalmente a la presencia de cantidades ilimitadas de los agregados duros y la ausencia de buenos ladrillos. Los informes sobre el primer uso del concreto permeable en Australia datan de 1946.

Antes de la Segunda Guerra Mundial, la producción de concreto permeable se limitaba a casas de dos pisos. Después de 1946, sin embargo, el concreto permeable se utiliza para una amplia gama de aplicaciones.

El concreto permeable se utiliza ampliamente para edificios de industria, públicos y domésticos en las zonas al norte del Círculo ártico, porque el uso de materiales de construcción tradicionales resulta impráctico. Por ejemplo: los costos de transporte de ladrillo, los riesgos de incendio de la madera, y el pobre aislamiento térmico del concreto.

Aunque el concreto permeable se ha utilizado en Europa y Australia durante los últimos 60 años, su uso como material de construcción en Norte América ha sido extremadamente limitado. Una de las razones de este uso limitado es que, después de la Segunda Guerra Mundial, Norte América no experimento la escasez de materiales en la misma medida que en Europa.

Dentro de las estructuras de transito vial también se pueden destacar casos conocidos en los cuales se utiliza el concreto permeable como opción para la solución de problemas. Los grandes pioneros en estos sistemas constructivos han sido los españoles, quienes comenzaron sus estudios en las décadas de los 80 y 90, destacándose por sus investigaciones en temas de pavimentos rígidos, lo cual ha llevado a que expertos resalten el uso del concreto permeable en la estructura de pavimentos rígidos con el fin de obtener un mejor desempeño. También en Francia se conocen casos donde el concreto permeable ha sido utilizado como base drenante.

Algunos ejemplos de estructuras en las cuales se ha implementado el concreto permeable como alternativa son:

- Pato (1998)³ Menciona “Villamayor, Salamanca tramo de 300 metros ejecutado en noviembre de 1994 y por el que ha pasado un tráfico superior a dos millones de vehículos pesados de 13 toneladas en promedio”.
- Pato (1998) Menciona “Acceso a Zamarramala, Segovia, tramo de 1800 metros finalizado en mayo de 1997 la carretera tenía un tráfico superior a 300 camiones/día, antes de la restauración.

2.1.1. Antecedentes

En cuanto a trabajos que han profundizado en el tema de concreto poroso o permeable, la información de carácter bibliográfica ha permitido encontrar documentos de

³ Pato, M B (1998) “Pavimentos de concreto poroso de altas prestaciones como capa de rodadura para trafico pesado”

investigación, tesis y/o trabajos de grado, artículos de revistas, y otros que serán utilizados como referencias validas dentro del proceso de investigacion.

Los autores Meneses Ospina y Cesar Bravo (2007)⁴, graduados de la Universidad de Medellín, presentan este trabajo de grado, el cual contiene los resultados del estudio de la resistencia mecánica del concreto poroso, utilizando materiales propios de la región de Antioquia en colombia. En el diseño utilizado dentro de la mezcla, se emplea un agregado con ausencia casi total de finos, confirmando que su presencia reduce la permeabilidad en la mezcla. El agregado fino utilizado debió tener un tamaño uniforme de 5mm y el agregado grueso de 5 a 25 mm con lo cual se lograría obtener un porcentaje de vacíos en el orden de 13 al 25 %. La granulometría utilizada en el ejercicio fue de 10 y 12.5 mm (3/8, 1/2) y su relación de agregados finos fue de 0.13 a 0.25 de fuentes aluviales.

Dentro de los diferentes ensayos realizados, se aplicaron los análisis granulométrico de los agregados, peso unitario y porcentaje de vacíos, resistencia al desgaste, sanidad de los agregados, pesos específicos y absorción de agregados finos y gruesos, porcentaje de caras fracturadas, índice de aplanamiento y de alargamiento y equivalente de arena. Todos los ensayos fueron practicados según las recomendaciones y normas del Instituto Nacional de Vías.

Al concluir la investigación, se pudo afirmar que los materiales producidos en la región de Antioquia son aptos para elaborar este tipo de concreto poroso desde el punto de vista calidad, cumpliendo a su vez con las exigencias normativas del Estado.

Al finalizar el trabajo se pudo también concluir que la relación optima de a/c es de 0.7, confirmando lo que se sugiere en estudios referenciados anteriormente- te en su trabajo. Además se pudo observar que en cuanto a la manejabilidad del material se hace propenso a la segregación de la pasta, por tanto se sugiere controlar muy bien el proceso y curar lo suficiente la muestra pasadas 24 horas de acuerdo a lo que indica la norma.

⁴ Meneses Ospina, Bravo Erazo (2007); "resistencia mecanica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos segun el tipo de granulometría, Universidad de Medellin."

Flores (2010)⁵, busco la caracterización del concreto permeable considerando los requerimientos de los métodos de diseño de espesores de pavimentos más usados a nivel mundial.

Flores (2010) Hace mención que la Asociación of State Highways and Transportation Officials (AASHTO) y el de la Portland Ordinary cement y (OPC) portland Cement Association (PCA), donde una de las variables importantes que intervienen es el módulo de rotura, y dado que el desgaste surge como un aspecto discutido en la tecnología y aplicación de los concretos permeables, se permitió caracterizar las muestras usando el módulo de rotura y el ensayo Cántabro.

Dentro de su trabajo de grado, considero dos objetivos el primero, obtener el porcentaje de desgaste mediante el ensayo cántabro, y el segundo obtener el módulo de rotura según normas ASTM C 42-03⁶ y ASTM C 78-02⁷.

El presente trabajo de grado citado, es un antecedente importante para el proceso de investigación, ya que en la metodología que se siguió, inicio por caracterizar los agregados, materiales pétreos, cemento, agua, relación agua/cemento y aditivos incluidos en las pruebas. Posteriormente se definieron las mezclas a emplear en los ensayos, lo cual cumple con una estructura sistémica, que permite orientar la investigación que se quiere realizar en esta investigación

En cuanto a las conclusiones de la permeabilidad referidas al trabajo en mención, se pudo observar que cada mezcla ensayada varia de mayor a menor. Sin embargo, la mezcla con solo cemento tiene una mayor permeabilidad, aunque los demás resultados que utilizaron finos están dentro de los parámetros esperados. En cuanto a la compresión, la mezcla con solo cemento y sin aditivos obtuvo resultados cercanos a los 10 MPa, (100

⁵ Flores Prieto J.R. (2010); "caracterización del concreto permeable, usando el modulo de ruptura y el porcentaje de desgaste".

⁶ Metodo de prueba estándar para la obtención y preparación de pruebas para determinar la resistencia a compresión del concreto.

⁷ Metodo de prueba estándar para la obtención y preparación de pruebas para determinar la resistencia a flexion del concreto

Kg/cm²), es decir la resistencia de un concreto pobre que solo se puede usar en plantillas, mas no en elementos estructurales de los pavimentos.

Los resultados del módulo de rotura permitieron identificar que se presenta entre 0.54 y 2.69 MPa (5.40 a 26.90 Kg/cm²), lo que indica que las probetas que resistieron más carga son menos frágiles, también las áreas bajo la curva mayores son menos frágiles, ya que permiten más deformación antes de fallar totalmente. La prueba desgaste, realizada mediante el ensayo Cántabro, permitió reconocer cuales probetas se desgastan más que otras y cual mezcla seria la apropiada para satisfacer los estándares.

Finalmente, el ejercicio anterior es un antecedente valido, para ayudar a cumplir los objetivos de la presente investigación. Su contenido teórico y método lógico ser a considerado en la elaboración del presente documento.

Young (2008)⁸ se desarrolló un trabajo de grado, buscaba analizar la permeabilidad de cara a la fuerza, durabilidad y mantenimiento del concreto permeable, con el fin de revelar la capacidad de su utilización en áreas urbanas.

El objetivo general de este proyecto de Tesis es proporcionar herramientas para evaluar y mejorar la durabilidad y resistencia del hormigón permeable de tal forma que se pueda emplear con más confianza en estructuras de pavimento. Los objetivos específicos de este proyecto fueron: investigar el efecto de diseño de la mezcla en la fuerza de concreto permeable, evaluar el efecto de la obstrucción de los materiales de coeficiente de permeabilidad, e investigar el uso de la prueba de presurización dinámico para evaluar la durabilidad del concreto permeable.

En las conclusiones del estudio, se pudo revelar que al reducir la permeabilidad del concreto, se aumenta la fuerza, sin embargo, el riesgo de obstrucción también se aumenta, por tanto se puede asegurar que la obstrucción tiende a reducir la permeabilidad de materiales con una proporción de huecos de menos del 33 %. Este estudio propone que en

⁸ Min Joung. Y (2008) "Evaluation and optimization of previous concrete with respect to permeability and clogging"

investigaciones futuras se investigue acerca de materiales de concreto poroso, que tengan una relación de vacío a menos de 33 %.

2.2. Pavimento Permeable

2.2.1. Drenaje Sostenible

Desarrollo sostenible

La definición clásica de desarrollo sostenible tuvo sus inicios en 1987, “ Desarrollo sostenible, es aquel que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” que fue acunada en la Comisión del medio ambiente y desarrollo de las naciones Unidas (denominada Comisión Brundtland) con el informe Nuestro Futuro Común, que repercutió en la Declaración de Río⁹ sobre el medio ambiente y el desarrollo (Junio 1992), donde el Principio N° 03 establece que “El derecho al desarrollo debe ejercerse en forma tal que responda equitativamente a las necesidades de desarrollo y ambientales de las generaciones presentes y futuras”. De esta manera el desarrollo sostenible permite la armonía entre el crecimiento económico, social con el ecosistema.

Vargas (2009)¹⁰ nos dice:

“A lo largo del tiempo el desarrollo sostenible avanza con la idea de preservar los recursos naturales y comprendiendo que estos son limitados. Hoy en día el medio ambiente va reaccionando ante la acción producida por la actividad humana, a partir de la revolución industrial, la actividad humana ha exacerbado el calentamiento global a través de la acumulación acelerada de GEI (Gas del Efecto Invernadero) en la atmosfera, especialmente dióxido de carbono y metano.” (p.05)

Se ha constatado que las reservas de petróleo se agotan a causa de una fuerte inversión en energía renovable y ahorro energético, el incremento de la contaminación del aire y del

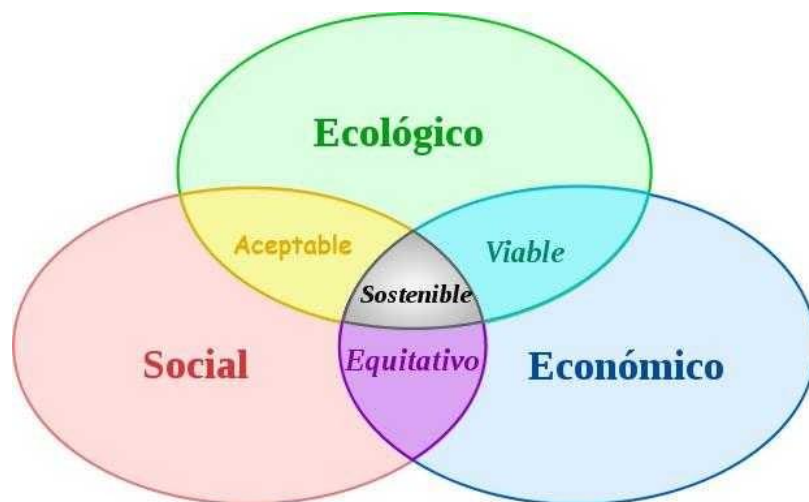
⁹ Conferencia de las naciones unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo.

¹⁰ Papers titulado “El cambio climático y sus efectos en el Perú”.

suelo ante los sistemas industriales y residuos sólidos, reduciendo la cantidad de agua dulce con la desaparición de nieve en los glaciares, por consiguiente el caudal y el curso de los ríos, desapareciendo lagunas naturales debido a la falta de afloramiento de las aguas subterráneas y desaparición de acuíferos.

Otro enfoque más amplio es el socio económico, la meta no es el nivel sostenido de la producción física de un ecosistema, sino el aumento sostenido del nivel de bienestar individual y social de una determinada comunidad. El término sustentabilidad, aplicado originalmente en un contexto biológico/físico, se traslada a un contexto socioeconómico mucho más amplio. El aspecto clave de este enfoque se encuentra en mantener el equilibrio intergeneracional: asegurar que las generaciones futuras cuenten con al menos las mismas oportunidades que las generaciones presentes.

Figura 2. 1 Aspectos que involucra el desarrollo sostenible



Fuente: Ramírez, 2004, p.55

Una forma de hacer operativo el concepto socio económico de sustentabilidad ha sido es adoptada por el Banco Mundial. De acuerdo a esta visión, se dice: “que una estrategia de desarrollo es sustentable si es que en el proceso de crecimiento económico el límite de todos los activos de una sociedad se mantiene constante o se eleva a lo largo del tiempo” Quevedo (1999).

Los activos de una sociedad incluyen bienes de capital tradicionales (maquinarias, fabricas, caminos y otra infraestructura física), capital humano (conocimientos científicos y tecnológicos, así como destrezas) y finalmente capital ambiental (recursos naturales como bosques, suelos, biomasa marina, petróleo, etc., así como la calidad de recursos como el aire y agua). Quevedo (1999)

Construcción Sostenible

Ramirez, (2005) Nos dice:

“La Construcción Sostenible se define como aquella que tiene especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de la energía, del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medioambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales.”

La construcción sostenible dependerá de la integración con su entorno para la formación de ciudades sin alterar el medio ambiente. Las ciudades actuales están desarrollando una construcción sostenible en los últimos tiempos de la siguiente manera:

- Ramirez (2005) Nos menciona:

“La presencia de áreas verdes, la vegetación abundante, tanto en el exterior como en el interior de la casa, permite disminuir los efectos de la contaminación atmosférica, los ruidos, etc. y ayudan al confort térmico, climático y de correcta humedad relativa ambiental.”

- Durante el proceso constructivo de una edificación se opta por la clasificación de residuos por medio del reciclaje y reusó de materiales.
- La construcción de sistemas de almacenamiento de agua de lluvia en zona urbana para evitar que se conviertan en aguas residuales innecesarias en las plantas de tratamiento.

- La construcción de sistemas de almacenamiento de agua de lluvia en zona urbana para evitar que se conviertan en aguas residuales innecesarias en las plantas de tratamiento.

2.2.2. Técnicas de Drenaje Sostenible

Las técnicas de drenaje sostenible describe la principales acciones para realizar una gestión eficiente del agua de lluvia (un recurso muy importante en estas épocas de sequía producidas por el calentamiento global) y además ver las ventajas contra los sistemas tradicionales, se tomará la clasificación que realizo Rodríguez (2008)¹¹, en donde muestra los distintas clasificaciones en las diferentes instituciones.

- Best Management Practice (BMPs), clasifica las prácticas y mecanismos de control de la contaminación de la escorrentía superficial urbana de la siguiente forma:

Mecanismos de infiltración:

- Depósitos y estanques de infiltración.
- Lechos, zanjas y pozos de infiltración.
- Tuberías perforadas de infiltración.
- Pavimentos porosos.
- Mecanismos de filtración:
 - Depósitos filtrantes.
 - Filtros de arena y/o turba
- Mecanismos de control por medio de vegetación:
 - Canal de drenaje de estabilización con cubierta vegetal.
 - Franja filtrante.
- Mecanismos de detención y retardo:
 - Pequeños sumideros y controles especiales.

¹¹ Rodríguez (2008) Tesis doctoral “estudio y análisis de diseño de secciones permeables de firme para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con capacidad portante necesaria para soportar traficos ligeros”.

- Estanque seco de detención extendida.
- Estanque húmedo (depósito de retención).
- Humedales artificiales.
- Almacenamiento en el sistema de drenaje (en línea y/o fuera de línea).

Environmental Alliance¹² (UK) (2001) se realiza la siguiente clasificación:

- Técnicas de control en origen (source control techniques):
 - Pavimentos porosos (porous pavements).
 - Zanjas de infiltración (infiltration trenches).
 - Depósitos de infiltración (infiltration basins).
- Sistemas de conducción permeable (permeable conveyance systems):
 - Drenes filtrantes o franceses (filter or French drains).
 - Cunetas de hierba o cunetas verdes (swales).
- Sistemas de tratamiento pasivo (passive treatment systems):
 - Franjas filtrantes (filter strips) o Depósitos de detención (detention basins).
 - Estanques de retención (retention ponds).
 - Humedales (wetlands).

Rodriguez (2008) En la publicación C523 del CIRIA¹³ (2001) se realiza una clasificación más simplificada de los SUDS:

- Superficies permeables y drenes filtrantes (permeable surfaces and filter drains).
- Franjas filtrantes y cunetas verdes (filter strips and swales).
- Mecanismos de infiltración (infiltration devices).
- Depósitos y estanques (basins and ponds).

Rodriguez (2008) posteriormente menciona las técnicas individuales publicadas en CIRIA C 609 y son:

¹² Empresa dedicada a la ingeniería y consultoría ambiental.

¹³ Una organización de investigación e información, neutral, independiente y sin fines de lucro.

- Medidas preventivas (preventative measures).
- Pavimentos permeables (pervious pavements).
- Tejados verdes (green roofs).
- Bioretención (bioretention).

Técnicas de filtrado (filtration techniques).

- Franjas filtrantes con césped (grassed filter strips).
- Cunetas de hierba o cunetas verdes (swales).
- Mecanismos de infiltración (infiltration devices).
- Depósitos de infiltración (infiltration basin).
- Drenos filtrantes (filter drains).
- Estanques y depósitos de detención (ponds and detention basins).
- Humedales artificiales (constructed storm water wetlands).
- Almacenamiento en línea o fuera de línea (en-/off-line storage)
- Separadores de aceite (oil separators).
- Sistemas de tratamiento innovadores (innovative treatment systems).

Una de las últimas y más completas descripciones de las BMPs para la gestión de aguas pluviales corresponde al Departamento de Transportes de California.

Caltrans (2007) Señala que el informe final de la división de análisis medioambiental realiza un completo repaso de ciento veinticuatro técnicas, algunas de ellas de marcas registradas, que han ido evaluadas en aplicaciones reales en el estado de California. Cada hoja técnica cuenta con los siguientes apartados: descripción, esquema, rendimiento de depuración de los distintos contaminantes, claves de diseño, análisis de costos, consideraciones de mantenimiento, ventajas, inconvenientes y referencias.

Rodríguez (2008), la clasificación de las técnicas se realiza en base a once categorías básicas

- Bioretención (dos técnicas).
- Detención/sedimentación (doce técnicas).
- Desinfección (cuatro técnicas).
- Complementos de sumideros (treinta y nueve técnicas).
- Filtrado (dieciocho técnicas).
- Separadores hidrodinámicos (catorce técnicas).
- Infiltración (once técnicas).
- Trampas de basura y sedimentos (seis técnicas).
- Superficies porosas (cuatro técnicas).
- Decantadores y separadores de aceite (once técnicas).
- Humedales artificiales (tres técnicas).

Rodríguez (2008) Indica que tras haber analizado las principales clasificaciones existentes, y como síntesis de las mismas, en la tabla 2.1 se presenta la clasificación propuesta para las técnicas de drenaje sostenible. En esta clasificación se engloban doce técnicas agrupadas en cuatro categorías. La primera categoría corresponde a las medidas preventivas que deben ser consideradas en cualquier diseño o aplicación del drenaje urbano.

Las tres categorías restantes recogen las soluciones puramente constructivas, consideradas propiamente como sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS).

Tabla 2. 1 Clasificación Propuesta De Técnicas De Drenaje Sostenible

Categoría dentro del drenaje sostenible	Técnicas de drenaje sostenible
Sistemas urbanos de drenaje Sostenible(SUDS)	A. Medida Preventivas
	1. Legislacion
	2. Formacion
	3. Inversion
	B. Sistemas de infiltracion
	4. Superficies permeables
	5. pozos de infiltracion y zanjas de infiltracion
	6. Depositos de infiltracion
	C. Sistemas de captacion y transporte
	7. Drenes filtrantes
	8. Cunetas verdes
	9. Franjas filtrantes
D.Sistemas de tratamiento pasivo	
10. Depositos de detencion	
11. Estanques de retencion	
12. Humedales artificiales	

Fuente: Rodríguez, (2008)

A. Medidas Preventivas

EPA & Temprano (1999,1996) definen como “cualquier actuación de base que evite que se produzcan los problemas asociados a la escorrentía superficial .Las medidas preventivas son consideradas no estructurales pues no requieren obra alguna”.

Campbell (2004) Nos dice “las medidas preventivas pueden clasificarse en tres categorías: legislación, educación y programación económica”. Por otra parte, Temprano, (1996) considera que “para el control de la basura en las calles son fundamentales tres puntos: una legislación adecuada, la creación de programas de educación pública y un buen servicio de recogida”. Rodriguez (2008) Menciona que “por tanto, las medidas preventivas pueden resumirse en: legislación, formación e inversión,

1. Legislación

Garcia (2007)¹⁴ Nos indica que el respeto a la ley, basado en la información y el cumplimiento de las sanciones, es fundamental. Desde el punto de vista legal, existen cinco

¹⁴ Garcia Gil, F. (2007);”Prontuario de protección del medio ambiente estatal, autonómico y municipal”. DAPP Publicaciones jurídicas. National SUDS Working.

formas de intervención municipal en el medio ambiente urbano que pueden fomentar el empleo de los SUDS:

- Regulación: ordenanzas sobre medio ambiente.
- Control preventivo: licencias y otros instrumentos de control.
- Sanciones: multas y penalizaciones.
- Información: acceso libre a la información de las administraciones públicas sobre medio ambiente.
- Planeamiento urbanístico: instrumento fundamental de protección del medio ambiente urbano.

García (2007) menciona en su publicación que el acercamiento del agua potable a la población y el alejamiento del agua residual han sido funciones típicamente municipales desde los tiempos más remotos. Así, por ley, las aguas residuales urbanas son las aguas residuales domésticas o la mezcla de estas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.

Group, (2003)¹⁵ Menciona que hoy en día es necesario reformar el marco legal para facilitar la gestión separada de las aguas pluviales mediante la generalización del uso de SUDS¹⁶, clasificando las correspondientes responsabilidades de construcción y mantenimiento. El desarrollo de la legislación adecuada y la generalización de estos sistemas tan solo son posible mediante la creación de grupos de trabajo expertos con amplias redes de colaboración.

Estos grupos generan documentos de síntesis de gran importancia, recogiendo desde los aspectos legales hasta los aspectos técnicos básicos: glosario, descripciones, normas y detalles de diseño, legislación, responsabilidades de mantenimiento, garantías, bibliografía, organizaciones vinculadas, acrónimos y sitios de Internet relacionados.

¹⁵ Group. (2003); "Framework for Sustainable Drainage Systems SUDS. England and Wales"

¹⁶ Sistemas urbanos de drenaje sostenible

2. Formación

Temprano (1996) Menciona que la limpieza de las calles se ha considerado históricamente como uno de los aspectos más importantes para la mejora de la calidad de la esorrentía. Esta limpieza depende fundamentalmente de la educación y actitud de los ciudadanos. Para asegurar una correcta limpieza urbana son fundamentales costumbres como la recogida de los excrementos de animales de campaña, el uso de las papeleras para cualquier residuo o el no sacudir el polvo doméstico por las ventanas.

Jimenez (1999) Dice *“las normativas municipales y las sanciones impuestas ayudan a instaurar estos comportamientos, pero como en todo cambio de mentalidad son fundamentales las campañas de publicidad y concienciación”*.

Se destaca el papel primordial que juega la formación de los propietarios particulares de instalaciones como gasolineras, talleres, desgrases y zonas industriales, así como de las autoridades encargadas de su control, en la gestión adecuada de las aguas de lluvia. Estos lugares deben estar provistos de separadores de hidrocarburos y balsas de retención para hacer frente a posibles vertidos accidentales. Estas instalaciones de tratamiento de la esorrentía superficial contaminada no solo sirven para evitar multas, sino también para evitar problemas ambientales de contaminación difusa. Por ello no basta únicamente con la instalación de los sistemas adecuados, sino que es necesario su correcto mantenimiento y control para asegurar su funcionamiento a lo largo del tiempo.

3. Inversión

Las administraciones públicas en especial las autoridades municipales, deben contar con una partida del presupuesto anual que permita elaborar y hacer cumplir adecuadamente las normativas pertinentes que faciliten la generalización de la aplicación del drenaje urbano sostenible, así como realizar las campañas de formación y publicidad necesarias para implicar a toda la sociedad en resolver un problema que es de todos. Sin un adecuado nivel de inversión económica por parte de las administraciones públicas no es

posible afrontar la elaboración de manuales de construcción y programas de seguimiento de los sistemas de drenaje urbano. Además, en todos los casos es necesario dedicar parte de esta inversión al mantenimiento de los sistemas construidos para asegurar su correcto funcionamiento a lo largo del tiempo.

B. Sistemas de Infiltración

Los sistemas de infiltración o de control en origen implican infiltración superficial de la escorrentía superficial. Para validar la infiltración al terreno es necesario asegurar su correcto rendimiento mediante un estudio completo del tipo de suelo, su permeabilidad y la situación del nivel freático. Además, estos sistemas no deben situarse a menos de cinco metros de distancia de un edificio o carretera para evitar que el agua infiltrada afecte a las cimentaciones de dichas estructuras. Las técnicas de control en origen están diseñadas para atajar desde el inicio la formación de la escorrentía superficial. Con la aplicación de estos sistemas se pretende recuperar la capacidad de infiltración de los suelos naturales en las ciudades. Esto se consigue aumentando el porcentaje de superficie permeable en la ciudad mediante zonas verdes, pavimentos permeables, depósitos de infiltración y pozos o zanjas de infiltración

4. Superficies permeables

Una superficie permeable es cualquier área que permite la infiltración del agua las superficies permeables pueden ser resistentes al tráfico o no, las resistentes al tráfico reciben el nombre de pavimentos permeables, siendo pavimentos permeables si todas las capas de la sección resistente permiten el paso del agua. Por su parte, las superficies permeables que no tienen misión resistente forman parte de paseos, parques, jardines, alcorques, glorietas, cubiertas verdes, etc.

5. Pozos y zanjas de infiltración

Pozos y zanjas de infiltración son perforaciones y trincheras rellenas de material drenante con un alto índice de huecos cubierto por una superficie permeable. Las zanjas son más estrechas y menos profundas que los pozos, siendo más eficientes.

6. Depósitos de infiltración

Los depósitos de infiltración son superficies permeables deprimidas que constituyen embalses superficiales donde se concentra y almacena el agua de lluvia hasta que se produce su infiltración. Su forma es irregular con taludes laterales suaves cubiertos de vegetación. Los depósitos de infiltración se diseñan para albergar volúmenes mayores que los pozos y las zanjas de infiltración gestionando cuencas mayores. Ciria (2001)

C. Sistemas de captación y transporte

Ciria & Wilson (2001,2004), hacen mención de que los sistemas de captación y transporte de aguas pluviales sirven para recoger y conducir lentamente la escorrentía superficial; estos sistemas están diseñados para permitir los procesos naturales de oxigenación, filtración, almacenamiento, infiltración y evaporación del agua a lo largo del trayecto, con la consiguiente laminación de la cantidad y mejora de calidad del agua.

Estos sistemas pueden ir recubiertos inferiormente por un geosintético que puede ser bien un geo textil permeable, si las condiciones del terreno permiten la infiltración directa, o bien una geo membrana impermeable, si la infiltración del agua al terreno no es recomendable.

Existen dos tipos principales:

- Subterráneos: drenes filtrantes (filter drains).
- Superficiales: cunetas verdes (swales) y franjas filtrantes (filter strips).

7. Drenes filtrantes

Los drenes filtrantes, también conocidos como drenes franceses, son zanjas continuas recubiertas de geosintético y rellenas de grava que captan y conducen las aguas pluviales, estas zanjas pueden contar además con una tubería permeable

embebida en el material granular para facilitar la circulación del agua en su interior, son usados comúnmente para la captación y drenaje de las aguas pluviales en carreteras.

8. Cunetas verdes

Las cunetas verdes se definen como cauces naturalizados que captan y conducen el agua de escorrentía superficial de forma lenta y controlada, fomentando la oxigenación y la retención del agua, a diferencia de las cunetas de hormigón, las cunetas verdes están cubiertas de vegetación y rocas, son más anchas y permiten la reducción de la velocidad del flujo de agua, constituyendo además un refugio natural para anfibios como sapos y tritones.

9. Franjas filtrantes

Es una superficie vegetada con cierta inclinación que permite el flujo lento de la lámina de escorrentía superficial asegurando un efecto filtro gracias a la cobertura vegetal, así por ejemplo, el césped puede filtrar la escorrentía superficial y retardar su flujo, ayudando a que se produzcan los procesos de infiltración, evaporación y evapotranspiración, generalmente, una franja filtrante con mayor anchura y densidad de vegetación se obtiene mayor capacidad filtrante y grado de depuración.

D. Sistemas de Tratamiento Pasivo.

Jimenez & Dreiseitl (1999, 2001) Nos menciona en su trabajo, que se permiten gestionar grandes cuencas urbanas proporcionando una laminación de la cantidad de aguas pluviales, una depuración de su calidad mediante procesos naturales y un servicio a la comunidad aportando un valor paisajístico y natural al entorno urbano.

Ciria & Wilson (2001,2004) nos dice que además estos sistemas suponen una medida de seguridad adicional en areas industriales, carreteras y zonas con riesgo de vertidos, dado que permiten atrapar derrames accidentales .Según la presencia continua de la lámina de agua pueden agruparse en:

- Sin lámina permanente de agua: depósitos de detención (detention ba-sins).

- Con lámina permanente de agua: estanques de retención (retention ponds) y humedales artificiales (wetlands).

10. Depósitos de detención

Son depresiones superficiales naturalizadas que permiten albergar un volumen de agua, laminando el flujo de escorrentía y reduciendo los riesgos de inundación. Pueden considerarse como tanques o depósitos de tormenta superficiales o como zonas inundables controladas. Estos depósitos deben estar adecuadamente naturalizados y contar con un sistema de desagüe que permita su completa descarga.

11. Estanques de retención

Los estanques de retención son embalses superficiales poco profundos con una lámina de agua permanente. Esta lámina de agua oculta los bancos de sedimentos antiestéticos y permite un tiempo de retención del agua en el estanque que incrementa el rendimiento de depuración. Además debe existir un mínimo de corriente controlando el caudal de entrada y de salida.

12. Humedales artificiales

Son superficies cubiertas de agua con poca profundidad, dotadas de abundante vegetación propia de pantanos y zonas húmedas. El tiempo de retención del agua en los humedales es aún mayor que en los estanques de retención por lo que se obtiene un mayor grado de depuración, es fundamental destacar que en ningún caso los humedales naturales deben recibir directamente el flujo de escorrentía superficial urbana, solo los humedales artificiales están preparados para esta tarea.

5. La cadena de drenaje sostenible

Wilson (2004) Hace mención que “la aplicación de sistemas de drenaje sostenible de forma aislada carece de sentido en la mayor parte de los casos. Estos sistemas deben ser combinados para constituir una cadena completa de tratamiento y gestión de aguas pluviales, bien unos con otros o bien complementando las infraestructuras de drenaje

convencional existentes. Por ejemplo, las franjas filtrantes pueden ser utilizadas como pre tratamiento para eliminar el exceso de sólidos previamente al transporte del agua mediante cunetas verdes hasta un estanque de retención, asegurando una adecuada laminación y depuración del flujo de aguas pluviales. Por tanto, cualquier combinación de sistemas es posible aunando y potenciando las características y ventajas de cada uno para adaptar la cadena resultante a unas condiciones específicas de aplicación.

Group (2003) Indica que la selección de los eslabones más adecuados no es sencilla, pues se trata de un proceso multidisciplinario en el que hay que tener en cuenta factores tradicionalmente relegados a un segundo plano como la calidad paisajística, el entorno arquitectónico o la influencia del uso del suelo urbano.

Ciria (2001) Menciona que debe existir una serie de objetivos claros desde el inicio que permita fijar el criterio de diseño. La planificación de la cadena de drenaje sostenible requiere de una clara voluntad de integración medioambiental de los sistemas de drenaje en el entorno. Así, el criterio de diseño debe equilibrar las componentes relacionadas con la cantidad de agua, su calidad y el servicio ofrecido a la sociedad.

Existen unas premisas básicas a la hora de planificar y seleccionar los diferentes sistemas que han de constituir los eslabones de la cadena de drenaje sostenible de las aguas pluviales de una determinada área de actuación:

- El control en origen es fundamental en todos los casos y la infiltración al terreno es deseable siempre que sea posible.
- La captación y el transporte controlado de las aguas pluviales deben implicar el máximo posible de oxigenación, filtración, retención, infiltración y evaporación para disminuir la cantidad de agua a tratar y mejorar su calidad.
- Nunca se debe verter al medio natural sin pasar previamente por el número de eslabones necesarios para asegurar que se cumplen las condiciones marcadas previamente de cantidad, calidad y servicio.

- El diseño de cualquier cadena de drenaje sostenible debe ser funcional, durable y estético, teniendo en cuenta las necesidades de mantenimiento para garantizar su aceptación y conservación a lo largo del tiempo.

2.2.3. Pavimentos Permeables

Son un tipo de pavimento que ha venido siendo estudiado desde la década de los 70 en Estados Unidos con el fin de solucionar o aliviar la contaminación debida a los vertidos de aguas de lluvia a los sistemas de saneamiento en tiempos de lluvias, también se inició el estudio en Europa a finales de la década de 1970 tanto en El Reino Unido, Francia y Alemania.

a) Definición

Los pavimentos permeables se pueden definir como secciones compuestas de varias capas de materiales de construcción que permiten el paso del agua a través suyo, desde la superficie hasta la explanada, y en conjunto ofrecen la capacidad portante necesaria para resistir un tráfico determinado. No son consideradas como pavimentos permeables aquellas secciones que cuentan con capas drenantes combinadas con capas impermeables, como por ejemplo mezclas bituminosas porosas sobre mezclas bituminosas cerradas o encerradas. Estos pavimentos quedan excluidos puesto que la misión de la capas drenantes es únicamente la evacuación del agua hacia los laterales, sin permitir su filtración ni almacenamiento en las capas inferiores del pavimento.

Además se menciona que no se consideran como pavimentos permeables las superficies de césped o pasto que aun pudiendo resistir un determinado trafico ligero, no permiten una buena infiltración del agua por una excesiva presencia de suelos finos asi como limos, arcillas o materia orgánica, Cormack (2006).

b) Clasificación

Existen diferentes clasificaciones de varios autores e instituciones a nivel mundial dentro de estas les presentaremos las más importantes. Bruce K. Ferguson en su

libro "Porous Pavements" clasifica a los pavimentos permeables en nueve tipos de pavimentos permeables.

- Áridos porosos (porous aggregate).
- Césped poroso (porous turf)
- Celdas de plástico (plastic geocells).
- Adoquines con juntas abiertas (open-jointed paving blocks).
- tramados prefabricados de hormigón (open-celled paving grids).
- Hormigón poroso (porous concrete).
- Asfalto poroso (porous asphalt).
- Superficies permeables ligeras (soft porous surfacing)
- Caminos de madera (decks).

El departamento de transportes de California (California Department of Transportation- CALTRANS) realiza la siguiente clasificación de los pavimentos permeables.

- Asfalto poroso.
- Hormigón poroso.
- Adoquines permeables.
- Estructuras de drenaje subterráneo (subsurface drainage structures).

Rodríguez (2008) propone una clasificación en donde divide a los pavimentos permeables en dos grupos:

- Pavimentos permeables discontinuos.
 - Césped o grava con refuerzos.
 - Adoquines con ranuras.
- Pavimentos permeables continuos.
 - Mezcla bituminosa porosa.
 - Hormigón poroso.

Tabla 2. 2 Clasificación propuesta de pavimentos permeables.

Según el pavimento permeable		Según el destino final del agua
Pavimento permeable discontinuo	césped o grava con refuerzos	Infiltracion
	Adoquines con ranura	
Pavimento Permeable Continuo	Mezcla bituminosa	Almacenamiento
	Hormigon poroso	Drenaje diferido

Fuente: Rodriguez (2008)

c) Tipos de Pavimentos Permeables

Definiremos todos los tipos de pavimentos permeables según la clasificación propuesta por el doctor Jorge Rodríguez (Tabla 2.2)

I. Pavimentos permeables discontinuos

i. Césped o grava con refuerzos.

Es uno de los pavimentos más utilizados, debido a la estética de su acabado este tipo de pavimento también conocido como block grass en nuestro medio, ya que, es una estructura de concreto rellena con césped o grass; los principales problemas que afronta este tipo de pavimento es que un deficiente diseño de todo el pavimento provoca la rotura de la estructura de concreto, provocando una sensación de inestabilidad.

ii. Adoquines con ranuras.

Son bloques prefabricados de hormigón diseñados o dispuestos de forma que la superficie final disponga de canales para la infiltración vertical del agua. Estos canales pueden rellenarse con material drenante o dejarse libres. Las juntas o espacios entre adoquines suelen ser mayores cuando van a rellenarse con material drenante, pudiendo utilizar separadores entre adoquines para facilitar su colocación. Por el contrario, cuando las juntas se dejan libres, el tamaño de las ranuras para la infiltración se minimiza.

Figura 2. 2 Adoquines



Fuente: <http://www.prefabricadosalberdi.com>

II. Pavimentos permeables continuos

i. Mezclas bituminosas porosas.

Gordillo & kraemer (2001, 2004) Nos dice según el número de huecos (H), las mezclas bituminosas se agrupan en:

- Densas o cerradas: $H < 6$
- Semidensas o semicerradas: $H = 6-12$
- Abiertas: $H > 12$
- Porosas o drenantes: $H > 2$

Brule (1993) Indica que las mezclas bituminosas porosas fueron desarrolladas en Francia en 1968, donde la experiencia mostró que al cabo de diez años, aún colmatadas, mantenían una buena rugosidad superficial y un aceptable drenaje superficial. A mediados de los años setenta, la utilización de betunes modificados con polímeros permitió mejorar sus características geológicas y de adherencia aumentando su cohesión y disminuyendo su susceptibilidad térmica. No obstante, debido a la confrontación entre ventajas e inconvenientes, el desarrollo de esta técnica en Francia se bloqueó hasta 1985 cuando, gracias a la acción de determinadas asociaciones de automovilistas, se retomó su aplicación e investigación.

Figura 2. 3 Aplicación de mezcla bituminosa porosa



2) Mezclas concreto poroso.

El concreto poroso o permeable es una mezcla de agregado grueso, cemento, agua y poca o ninguna arena. También conocido como el hormigón “sin finos” poroso, esta mezcla crea una estructura de célula abierta, permitiendo al agua de lluvia filtrar al suelo subyacente. Simulando la superficie de tierra natural, el hormigón permeable es excelente para la evacuación de agua de lluvia.

Figura 2. 4 Aplicación de concreto poroso



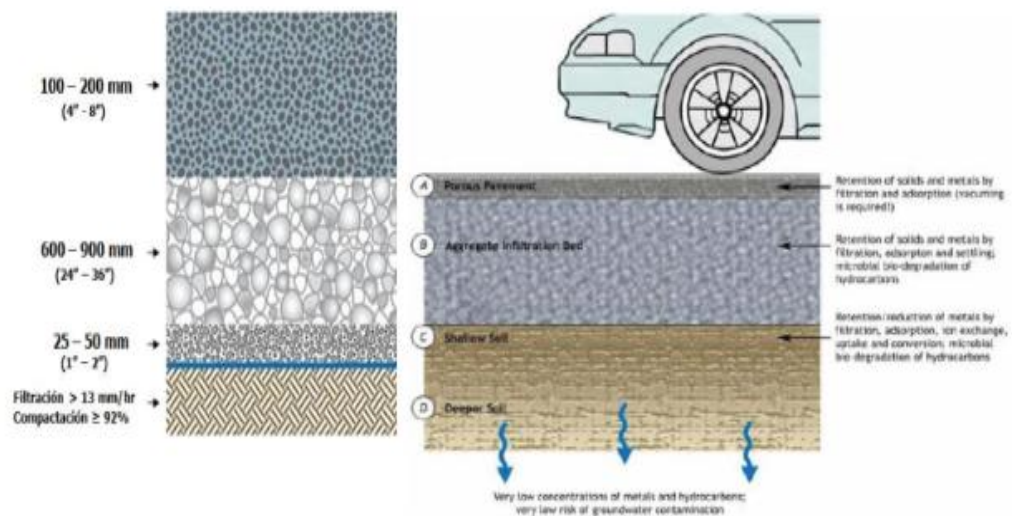
2.2.4. Secciones Permeables

La sección típica de los pavimentos permeables, es un conjunto de capas permeables que están distribuidas de la siguiente forma:

Figura 2. 5 Descripción de los contenidos de las diferentes capas que conforman el pavimento permeable



Figura 2. 6 Aplicación de concreto poroso.



2.2.5. Métodos de diseño

Teniendo en cuenta que los sistemas para diseño de pavimentos se engloban en dos grandes vertientes: por regresión y mecanicistas, el mecanicista es el que involucra las características mecánicas de los elementos de diseño y no solo mediante ensayos realizados en tramos de prueba, de donde se toman resultados que se trasladan a lo

general mediante nomogramas como es el caso del método AASHTO¹⁷ de regresión, y el de la UNAM un empírico mecanicista. El diseño de pavimentos por métodos mecanicistas es complejo, utiliza la estática en materiales y dinámica en cargas (tráfico) condicionalmente parte de las premisas de que los materiales son compuestos homogéneos (iguales) e isótropos (sin orientación preferida de los componentes), condiciones favorables para modelar, pero difícilmente naturales. El método empírico mecanicista, es decir un método que utiliza las bondades de ambos métodos predecesores será el ideal para el diseño de pavimentos.

Para entender las similitudes y diferencias entre los pavimentos rígidos permeables y los pavimentos rígidos tradicionales, es necesario primero resumir que son y cómo se diseñan los pavimentos rígidos tradicionales, acabaremos por concluir que los pavimentos permeables son una subdivisión, una forma de pavimento rígido tradicional con ciertas características y que se pueden calcular ó diseñar de igual manera.

Pavimentos Rígidos Tradicionales

Los pavimentos rígidos son un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales con calidades y espesores diferentes; deben ser funcionales en relación a la seguridad, a la eficiencia y a la rapidez de los usuarios. Además deben diseñarse para soportar las cargas que por ellos transiten y evitar las fallas provocadas tanto por las cargas como por las condiciones climáticas.

La práctica actual del análisis y diseño de pavimentos se basa en métodos básicamente empíricos, en donde el diseño se respalda en propiedades físicas de los materiales y algún índice de resistencia, como lo es el Valor Relativo de Soporte, VRS (también denominado CBR¹⁸ por sus siglas en inglés, California Bearing Ratio). Aun las metodologías basadas en métodos de regresión de resultados en tramos de prueba,

¹⁷ American Association of State Highway and Transportation Officials

¹⁸ CBR, Mide la capacidad de soporte del material a determinadas condiciones de compactación.

como lo es el método AASHTO (1993), el cual se puede considerar como empírico en el sentido de que su aplicación está rigurosamente restringida a las condiciones que se utilizaron para su calibración. Por supuesto que ya se manejan conceptos mecanicistas como el módulo de resiliencia, pero sólo como parámetro de cálculo que se correlaciona con el VRS, y no como una propiedad fundamental del material. En el mejor de los casos existen métodos de diseño que se les llama semiempíricos o empíricomecanicistas, porque ya consideran leyes de fatiga de los materiales en los cálculos de vida útil.

El problema del enfoque tradicional es que el método, siempre estará limitado por los tipos de suelos considerados, los métodos de construcción, las configuraciones vehiculares de la época, etc.

Las metodologías mecanicistas pretenden tener un enfoque puramente científico, con un marco teórico suficiente que permita el análisis completo de la mecánica del comportamiento de un pavimento antes las acciones del clima y del tránsito vehicular. Esto es un marco teórico en donde las propiedades fundamentales de los materiales se conocen y se pueden determinar en laboratorio o en campo.

Los pavimentos rígidos pueden ser de varios tipos: de concreto simple, con refuerzo continuo y los pre esforzados; además de concreto permeable.

Entre las principales ventajas de un pavimento de concreto hidráulico podemos enumerar las siguientes: Durabilidad, bajo costo de mantenimiento, seguridad, altos índices de servicio y mejor distribución de esfuerzos bajo las losas.

Existen varios métodos de diseño de pavimentos de concreto, siendo los más usados el método AASHTO, método de la PCA y el método del Catálogo Español.

➤ **Método de diseño AASHTO (1993).**

El método de diseño AASHTO es uno de métodos más utilizados a nivel internacional para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico.

El procedimiento de diseño normal es suponer un espesor de pavimento y calcular los ejes equivalentes, posteriormente evaluar todos los factores adicionales de diseño, si se cumple el equilibrio en la ecuación el espesor supuesto es el resultado del problema, en caso de no haber equilibrio en la ecuación se deberán recalcular tomando como base el valor anterior. La convergencia del método es muy rápida.

Variables de diseño de Pavimentos Rígidos

- **Espesor.-** El espesor del pavimento de concreto es la variable que pretendemos determinar al realizar un diseño, el resultado del espesor se ve afectado por todas las demás variables que intervienen en los cálculos.
- **Serviciabilidad.-** La serviciabilidad se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos y camiones) que circulan en la vía, se mide en una escala del 0 al 5 en donde 0 (cero) significa una calificación para pavimento intransitable y 5 (cinco) para un pavimento excelente. La serviciabilidad es una medida subjetiva de la calificación del pavimento.

Serviciabilidad Inicial (Po).- Es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo. Para pavimento de concreto AASHTO recomienda un valor de 4.5.

Serviciabilidad Final (Pt).- La serviciabilidad final tiene que ver con la calificación que esperamos tenga el pavimento al final de su vida útil. Para el caso de Perú se recomiendan valores entre 1.5 y 2.5.

- **Tráfico.-** La metodología AASHTO considera la vida útil de un pavimento relacionada al número de repeticiones de carga que podrá soportar el pavimento antes de llegar a las condiciones de servicio final predeterminadas para el camino. El método AASHTO utiliza en su formulación el número de repeticiones esperadas de carga de Ejes Equivalentes, es decir, que antes de entrar a las fórmulas de diseño, debemos transformar los Ejes de Pesos

Normales de los vehículos que circularán por el camino, en Ejes Sencillos Equivalentes de 18 kips (8.2 Ton) también conocidos como ESALs.

En el cálculo de esta variable intervienen varios factores como son: el Factor de Crecimiento del Tráfico (depende de la tasa de crecimiento y de los años de vida útil), Factor de Sentido (1 ó 2), Factor de Carril (0.5 a 1.0) y, finalmente el Factor de Equivalencia del Tráfico (depende del espesor del pavimento, de la carga del eje, del tipo de eje y de la serviciabilidad final).

- Transferencia de Carga.- La transferencia de carga es la capacidad que tiene una losa del pavimento de transmitir fuerzas cortantes con sus losas adyacentes, con el objeto de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento.

La efectividad de la Transferencia de Carga entre losas adyacentes depende de varios factores:

- ❖ Cantidad de Tráfico
- ❖ Utilización de Pasajuntas
- ❖ Soporte Lateral de las Losas

La utilización de pasajuntas es la manera más conveniente de lograr la efectividad en la transferencia de cargas.

Pasajuntas.- Barra de acero redondo liso $f_y = 4,200 \text{ K g/cm}^2$ la cual no se debe de adherir al concreto permitiendo el libre movimiento de losas longitudinalmente, pero si debe transferir verticalmente parte de la carga aplicada en una losa a la adyacente. Se colocan perfectamente alineadas a la mitad del espesor de la losa. El diámetro, longitud y separación de los pasajuntas está en función del espesor de las losas principalmente. Es importante considerar su empleo ya que de no hacerlo puede presentarse el efecto de “bombeo ó pumping”, que se visualiza como un desnivel o

escalonamiento entre las losas y una deformación en la base que se traduce en agrietamiento en las esquinas de las losas principalmente.

- Propiedades del Concreto.- Son dos las propiedades del concreto que influyen en el diseño de un pavimento de concreto y en su comportamiento a lo largo de su vida útil:

- a) Resistencia a la tensión por flexión ($S'c$) o Modulo de Ruptura (MR).
- b) El Módulo de Ruptura cuantifica mediante ensayos de vigas de concreto aplicándoles cargas en los tercios de su claro de apoyo. Esta prueba está normalizada por la ASTM C78.

Los valores recomendados para el módulo de Ruptura varían desde los 41 K g/cm² (583 psi) hasta los 50 K g/cm² (711 psi) a 28 días dependiendo del uso que vayan a tener.

- c) Modulo de Elasticidad del Concreto (E_c).- El módulo de elasticidad del concreto está íntimamente relacionado con su módulo de Ruptura y se determina mediante la norma ASTM C469.

Existen varios criterios con los que se puede estimar el Modulo de Elasticidad a partir del Módulo de Ruptura. Los dos más utilizados son:

- $E_c = 6,750(MR)$
- $E_c = 26,454(MR)^{0.77}$

- Resistencia de la Subrasante.- La resistencia de la subrasante es considerada dentro del método, por medio del Módulo de Reacción del Suelo K, que se puede obtener directamente mediante la prueba de placa.

El módulo de reacción de suelo de la prueba de placa corresponde a la capacidad portante que tiene el terreno natural (terreno natural y terraplén si lo hay, y se puede incrementar al tomar la contribución de la sub-base) en donde se soportara el cuerpo del pavimento.

En base a un gran número de muestras y estudios se han podido desarrollar algunos valores estimativos del módulo de reacción del suelo en función a diferentes propiedades, y correlacionando con el SUCS y VRS.

- **Drenaje.-** Es un factor determinante en el comportamiento de la estructura del pavimento a lo largo de su vida útil. Es muy importante evitar que exista presencia de agua en la estructura de soporte, dado que en caso de presentarse esta situación afectar a en gran medida la respuesta estructural del pavimento. Los valores recomendados para el coeficiente de drenaje deberán estar entre 1.0 y 1.10.
- **Confiabilidad.-** La confiabilidad está definida como la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación. Para peru los valores de confiabilidad pueden ser entre 0.50 y 0.95.
- **Método de la Portland Cement Association (PCA):** El método considera dos criterios de diseño:
 - **Fatiga.-** El Análisis por fatiga (para controlar el agrietamiento por fatiga) influye principalmente en el diseño de pavimentos de tráfico ligero (calles residenciales y caminos secundarios independientemente de si las juntas tienen o no pasajuntas) y pavimentos con tráfico mediano con pasajuntas.
 - **Erosión.-** El análisis por erosión (el responsable de controlar la erosión del terreno de soporte, bombeo y diferencia de elevación de las juntas) influye principalmente en el diseño de pavimentos con tráfico mediano a pesado con transferencia de carga por trabazón de agregados (sin pasajuntas) y pavimentos de tráfico pesado con pasajuntas.

Los factores de diseño de este método son los siguientes:

- Resistencia a la Flexión del Concreto.- La consideración de la resistencia a la flexión del concreto es aplicable en el procedimiento de diseño para el criterio de fatiga, que controla el agrietamiento del pavimento bajo la repetición de cargas. La resistencia a la flexión del concreto es determinada por la prueba del Módulo de Ruptura, norma ASTM C78.
- Terreno de Apoyo ó Base.- El terreno de apoyo está definido en términos del módulo de reacción de la subrasante de Westergaard (k). Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (psi/in) o´ más comúnmente, por libras por pulgada cubica (pci).
- Periodo de Diseño.- El periodo de diseño seleccionado afecta el espesor de diseño ya que determina por cuantos años y por ende a cuantos camiones deberá servir el pavimento.
- Numero de repeticiones esperadas para cada eje.- Toda la información referente al tráfico termina siendo empleada para conocer el número de repeticiones esperadas durante todo el periodo de diseño de cada tipo de eje. Para poder conocer estos valores tendremos que conocer varios factores referentes al tránsito como lo es el tránsito promedio diario anual, el % que representa cada tipo de eje en el TPDA, el factor de crecimiento del tráfico, el factor de sentido, el factor de carril y el periodo de diseño.

Se calcula con la fórmula:

$$Re = TPDA \times \%Te \times FS \times FC \times Pd \times FCA \times 365$$

Dónde: TPDA = Transito Promedio Diario Anual. Es importante que se especifica la composición del tráfico, es decir que se detalle el tráfico por tipo de vehículo. El método de diseño de la PCA recomienda considerar únicamente el tráfico pesado, es decir que se desprecie todo el tráfico ligero como automóviles y pick ups de 4 llantas.

FCA = Factor de Crecimiento Anual. Es el factor que nos sirve para determinar el crecimiento del tráfico para un periodo conocido de años. Para conocer el factor de crecimiento anual se requiere únicamente del periodo de diseño en años y de la tasa de crecimiento anual.

FS = Factor de Sentido. El factor de sentido se emplea para diferenciar las vialidades de un sentido de las de doble sentido, de manera que para vialidades en doble sentido se utiliza un factor de sentido de 0.5 y para vialidades en un sólo sentido un factor de 1.0.

FC = Factor de Carril. El factor de carril nos va a dar el porcentaje de vehículos que circulan por el carril de la derecha, que es el carril con más tráfico.

% Te = % del TPDA para cada tipo de eje.

Pd = Periodo de Diseño.

365 = días de un año.

- Factor de Seguridad de Carga.- Una vez que se conoce la distribución de carga por eje, es decir ya que se conoce cuantas repeticiones se tendrán para cada tipo y peso de eje, se utiliza el factor de seguridad de carga para multiplicarse por las cargas por eje. Los factores de seguridad de carga pueden tomar valores entre 1.0 y 1.3 dependiendo de volúmenes de tráfico pesado.

Además de las cargas del tráfico, las losas de concreto también están sometidas a alabeos. El alabeo por humedad es la deformación cóncava hacia arriba de la losa debido a las variaciones de contenido de humedad con la profundidad de la losa. El alabeo de las losas de concreto por variaciones de temperatura se manifiesta durante el día, cuando la superficie está más caliente que la parte inferior, desarrollando esfuerzos de tensión en la parte inferior de la losa. Durante la noche, la distribución de la temperatura se revierte y los esfuerzos de tensión se desarrollan en la parte superior de la losa.

Sin embargo, dado que los efectos combinados de los alabeos por variaciones de temperatura y de humedad son muy difíciles de medir ó evaluar, no se incorporan en este método de diseño.

Una ventaja que se debe reconocer en el método del PCA es que toma el tráfico real que estima circulará sobre el pavimento, sin convertirlo en Ejes Sencillos Equivalentes.

➤ **Método del Catálogo Español.**

Varios países europeos han desarrollado catálogos de estructuras de pavimentos, en los que en lugar de variar de forma continua los espesores en función del tránsito de diseño, se dividen en una serie de intervalos, a cada uno de los cuales se asigna un espesor fijo de cada una de las capas que componen el pavimento, con independencia del valor del tránsito dentro de dicho intervalo.

Esta tendencia se inició en Francia en 1971, habiendo sido seguida por España y Alemania en 1975, y después por otros países de la Comunidad Económica Europea.

El Catalogo Español es a base de tablas para diseño, la versión vigente está contenida en la Instrucción 6.1 y 2-1 C “Secciones de firme” (2003), aprobada en Boletín Oficial del Estado, número 297 de 12 Diciembre de 2003, referencia BOE-A-2003-2787.

Considera que el agua es desalojada rápidamente de la estructura de pavimentos, por lo que no considera el aspecto climático

Sólo considera el tráfico pesado, descarta el daño que pueden hacer los vehículos ligeros. IMDp similar al TDPA sin los ligeros.

Carril de proyecto: aquel que tenga la carga vehicular mayor. Por sobre cargas (se considera que los vehículos pesados son más o podrían ser más), o por pendiente se puede pasar a el nivel siguiente superior.

Metodología: a).- Se obtiene el IMDp (vehículos pesados por día), b).- Categorías de Tránsito Pesado, c).- Base de explanada (Subyacente, Terraplén): en función del CBR, d).- Explanada (Subrasante) con E_{v2} , e).- Se obtiene la opción 1: Sección de firme con T y E, f).- se analizan varias opciones y se elige la más económica.

Tabla 2. 3 Categorías De Tráfico Pesado

Categorías de tráfico pesado T00 a T2

Categoría de tráfico pesado	T00	T0	T1	T2
IMDp (vehículos pesados/día)	≥ 4000	< 4000 ≥ 2000	< 2000 ≥ 800	< 800 ≥ 200

Categorías de tráfico pesado T3 y T4

Categoría de tráfico pesado	T31	T32	T41	T42
IMDp (vehículos pesados/día)	< 200 ≥ 100	< 100 ≥ 50	< 50 ≥ 25	< 25

Formación de la explanada.

A los efectos de definir la estructura del firme en cada caso, se establecen tres categorías de explanada, denominadas respectivamente E1, E2 y E3. Estas categorías se determinan según el módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (E_{v2}), obtenido de acuerdo con la NLT-357 «Ensayo de carga con placa»,

Módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga

Categoría de explanada	E1	E2	E3
E_{v2} (MPa)	≥ 60	≥ 120	≥ 300

Materiales para la formación de las explanadas

Símbolo	Definición del material	Artículo del PG-3	Prescripciones complementarias
IN	Suelo inadecuado o marginal.	330	Su empleo sólo será posible si se estabiliza con cal o con cemento para conseguir S-EST1 o S-EST2.
0	Suelo tolerable.	330	CBR ≥ 3 *. Contenido en materia orgánica $< 1\%$. Contenido en sulfatos solubles (SO_3) $< 1\%$. Hinchamiento libre $< 1\%$.
1	Suelo adecuado.	330	CBR ≥ 5 * **.
2	Suelo seleccionado.	330	CBR ≥ 10 * **.
3	Suelo seleccionado.	330	CBR ≥ 20 *.
S-EST1 S-EST2 S-EST3	Suelo estabilizado in situ con cemento o con cal.	512	Espesor mínimo: 25 cm. Espesor máximo: 30 cm.

* El CBR se determinará de acuerdo con las condiciones especificadas de puesta en obra, y su valor se empleará exclusivamente para la aceptación o rechazo de los materiales utilizables en las diferentes capas, de acuerdo con la figura 1.

** En la capa superior de las empleadas para la formación de la explanada, el suelo adecuado definido como tipo 1 deberá tener, en las condiciones de puesta en obra, un CBR ≥ 6 y el suelo seleccionado definido como tipo 2 un CBR ≥ 12 . Asimismo, se exigirán esos valores mínimos de CBR cuando, respectivamente, se forme una explanada de categoría E1 sobre suelos tipo 1, o una explanada de categoría E2 sobre suelos tipo 2.

Ciria (2007) refiere que pese a que no hay normativas aprobadas para el diseño estructural de pavimentos permeables, mediante los siguientes pasos se han obtenido óptimos resultados por lo que es recomendada su aplicación. El diseño establecido ha sido generado por CIRIA mediante la recopilación de diferentes autores en el tiempo, este se basa en los guías de diseño de diferentes autores desde los años 80. Se muestra por ser el más práctico y actual.

Aspectos Importantes:

- a) El suelo debe tener la capacidad de sostener las cargas de tráfico sin deformarse excesivamente.
- b) La capa de transición y la sub-base permeable deben disipar el bulbo de esfuerzos y dar estabilidad a la superficie de rodadura.
- c) (Ciria, 2007) menciona que “la capa de rodadura, independientemente del material que se use, no debe sufrir fracturamiento bajo las cargas del tráfico”.

(Interpave, 2008) Refiere que “el diseño estructural es un proceso que consta de tres etapas”.

- i. Se selecciona el tipo de carga de 1 a 6, de acuerdo a la cantidad de vehículos grandes, a la carga expresada en ejes estándar (eje simple rueda doble de 80 KN o 8,16 Ton) o al uso.

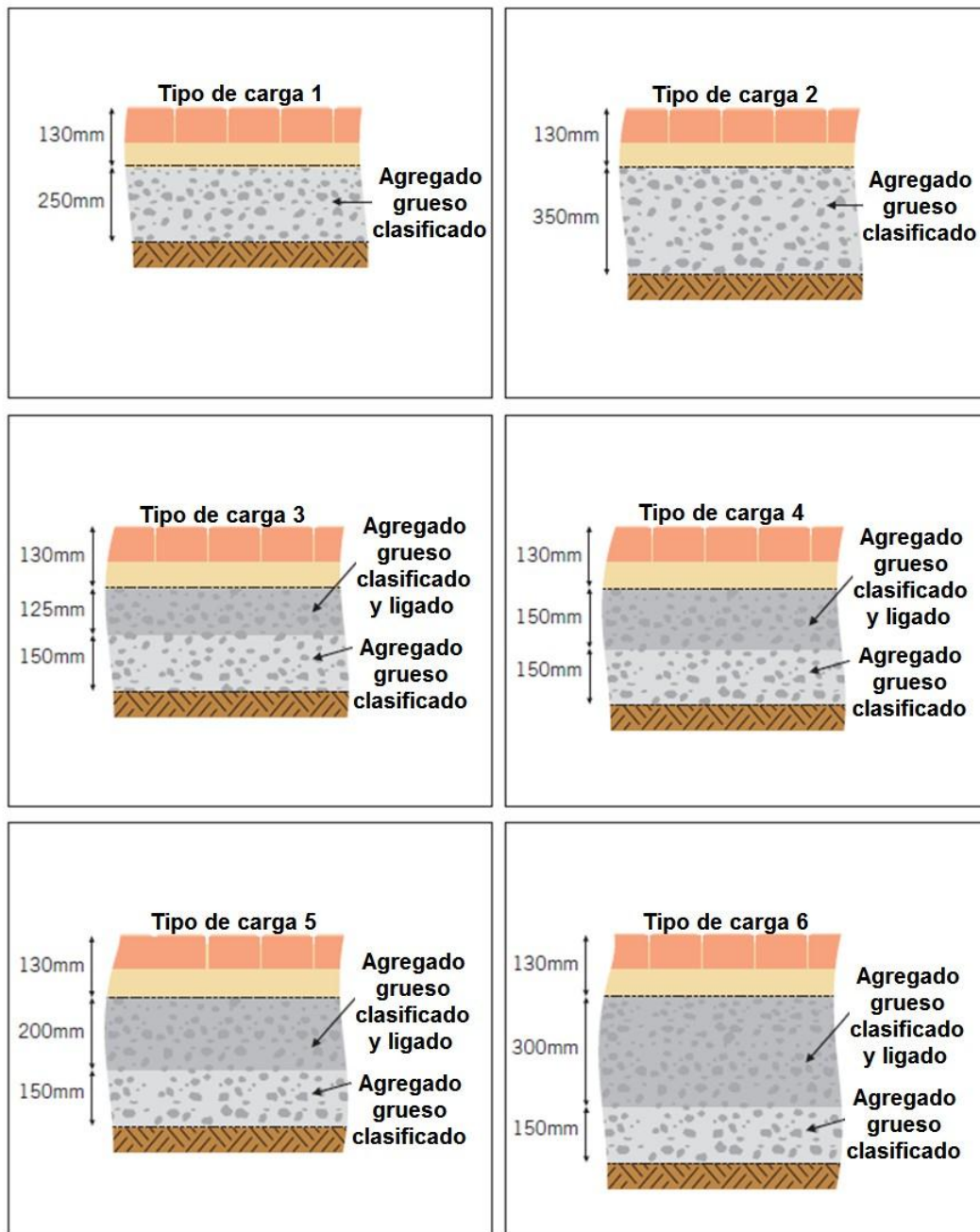
Tabla 2. 4 Selección de carga

1.Parqueaderos	2.Peatonal	3.Vehicular	4.Comercial	5.Industrial	6.Trafico Pesado
No vehiculos grandes	Vehiculos grandes solo en caso de emergencia	Un vehiculo grande por semana	Diez vehiculos grandes por semana	Cien vehiculos grandes por semana	Mil vehiculos grandes por semana
Cero ejes estandar	100 ejes estandar	1500 ejes estandar	150000 ejes estandar	1500000 ejes estandar	15000000 ejes estandar
Patio	Bahias de estacionamiento y pasillos	Calles peatonales	Rutas de acceso a pequeños mercados	Locales industriales	Via primaria
Via privada	Plataforma en estacion de tren	Acceso a guarderias	Via de acceso a colegios o universidades	Via secundaria	Bodega o centro de distribucion
Con fines decorativos	Exposicion de carros	Parqueaderos en areas residenciales	Acceso a edificio de oficinas	Desarrollo industrial ligero	Paradero de buses
Parques de recreacion	Caminos peatonales en estadios	Viveros y areas de demostracion	Acceso a complejos residencial	Mercados o industrias	Paradero de tractocamiones
Andenes	Andenes con ocasional entrada de vehiculos	Cementerios	Acceso a viveros	Plaza de la ciudad	Paradero de camiones
	Interseccion entre vias privadas y andenes	Parqueaderos de hoteles	Estacion de bomberos	Via peatonal y vehicular a la vez	Glorietas
		Parqueado de automoviles en aeropuertos	parqueadero de vehiculos en aeropuertos	Vias de acceso aeropuertos	Vias para solo buses
		Centros deportivos	Acceso a estadios antejardines		

Fuente: INTERPAVE 2008

- ii. Se selecciona de acuerdo al tipo de carga, los espesores de los materiales: Para caso de infiltración total o parcial:

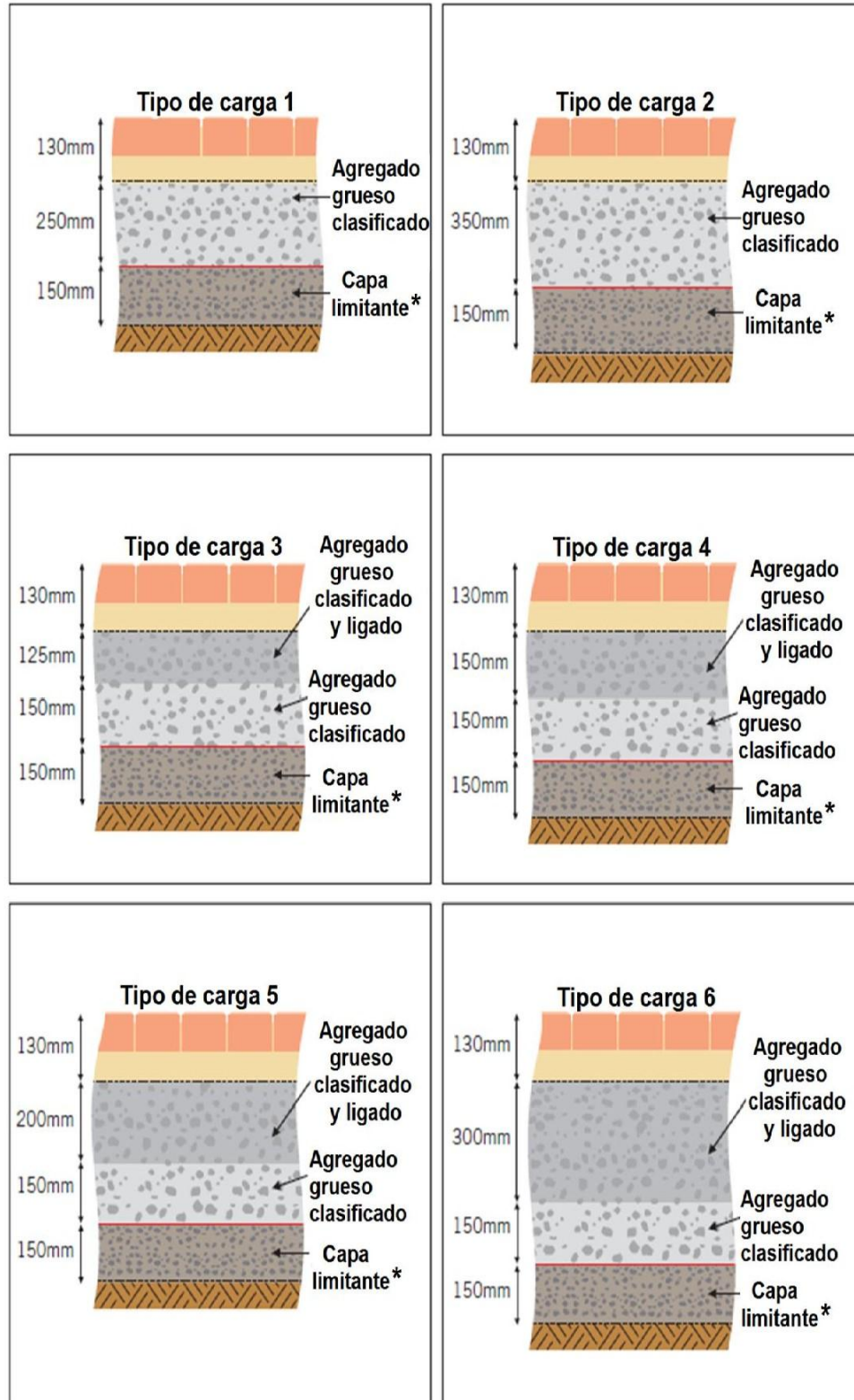
Figura 2. 7 *Espesores de la capa de almacenamiento para el caso infiltración total y parcial*



Fuente: INTERPAVE, 2008

Para el caso de infiltración cero.

Figura 2. 8 Espesores de la capa de almacenamiento para el caso infiltración cero.



Fuente: INTERPAVE, 2008

Interpave (2008) Indica que la capa limitante: Se usa como base del sistema en el caso de infiltración cero, para poder instalar adecuadamente las demás capas. Este material a parte de formar una superficie firme y estable, protege la membrana contra el punzonamiento e impermeabiliza la subrasante debido al contenido partículas finas. El material de la capa limitante es cualquier material de bajo costo, como por ejemplo, el desecho causado por el fresado del pavimento asfáltico. Los materiales que se excluyen para formar esta capa, son los materiales arcillosos y limosos, y aquellos que contienen alquitrán, betún y carbón.

- iii. Se deben ajustar los espesores en caso de tener un CBR menor al 5 %, de acuerdo a la tabla

Tabla 2. 5 Ajuste de los espesores con en caso de un CBR menor al 5 %

CBR de la Subrasante	Ajuste el espesor de la capa de agregado grueso clasificado, en el caso de infiltracion total o parcial (mm)	Espesor total de la capa limitante, en el caso de infiltracion cero (mm)
1%	+300	600
2%	+175	350
3%	+125	250
4%	+100	200
5%		
8%	use la figura para tipo de carga 1 o 2	150
10%		
15%		

Fuente: Interpave ,2008

El diseño estructural se basa en la experiencia obtenida en el Reino Unido. Debido a los buenos resultados esta se ha repetido, en la mayoría de los autores para la mayoría de los países. Su funcionamiento no está restringido a nivel mundial, pues las características de los materiales pétreos son los mismos. Por otra parte los diseños hidráulicos la mayoría de los autores los establece basándose en mapas hidrológicos de su país, por eso es que se retomaron las ecuaciones en las cuales ellos se basaron para

generar tablas y normas, y se adecuaron para poder ser utilizadas en cualquier sitio con cualquier régimen hidrológico.

Proceso constructivo

Minvu (1996)¹⁹ nos dice que como cualquier obra civil en este tipo de sistema prima la planeación y el conocimiento de la zona de aplicación para garantizar su vida útil y máximo desempeño.

1. Información básica del lugar de aplicación:

Debe hacerse un reconocimiento preliminar y detallado del sitio de aplicación y conocer datos como: Perfiles de suelo, geología, topografía y patrones de drenaje (hoyas hidrográfica o área aportante), clasificación hidrológica del suelo (A, B, C, D), antecedentes históricos de rellenos o compactaciones, humedales y pozos, etc. Entre más información preliminar se obtenga mejores resultados se tendrán al reducir la incertidumbre

2. Durante la construcción:

Ciria (2007) recomienda mantener los sedimentos lejos del área de construcción, es necesario desviar o impedir la entrada de la escorrentía al sitio mediante canales de drenaje, porque esta podría traer partículas contaminantes. Si no se controla lo anterior la estructura podría colmatarse antes de tiempo, acortando su vida útil. Por otra parte durante el transporte y en el sitio de acopio es necesario proteger los materiales contra contaminantes (materia orgánica o metales) y evitar la entrada de partículas finas

3. Preparación de la subrasante:

Minvu & Smith (1996,2006) Menciona que la clave de la estabilidad, tanto de los pavimentos permeables como de los convencionales, está en garantizar la uniformidad y resistencia de la subrasante (la compactación de la subrasante se requerirá cuando el sistema funcione como vía vehicular y tenga un CBR inferior a 5%). Se debe ser

¹⁹ Minvu (1996), Técnicas alternativas de soluciones de aguas de lluvias en sectores urbanos, guía diseño, Chile.

cuidadoso con la maquinaria pesada pues esta puede compactar la subrasante a medida que transita, este hecho se debe tener en cuenta en el diseño, pues una sobre compactación disminuirá la capacidad de infiltración de la subrrasante que para el caso de infiltración total debe ser mayor a 13 mm/hora .

4. Cuidados de la membrana impermeable:

Ciria (2007) resume que debe asegurarse no rasgar ni romper la membrana impermeable durante los procesos de construcción, además se debe garantizar su longitud de traslapo de no menos de 60 cm, esto para el caso del sistema de infiltración cero

5. Cuidados del geo textil:

Minvu (1996) recomienda que un geo textil no tejido en material sintético con una permeabilidad de 10 veces la permeabilidad de la subrasante Interpave (2008) dice que cumpla con ciertas características, se establece un traslapo mínimo de 30 cm.

6. Compactación de la sub-base permeable:

Ciria (2007) Indica que El material de la sub-base se debe ir incorporando mediante capas de 10 cm, compactándose hasta alcanzar su máxima densidad con un compactador estático con 10 Toneladas , sin excederse pues se podría aplastar o triturar el material generando partículas finas y cambiando la relación de vacíos .

7. Compactación de la capa de transición:

Interpave (2008) Dice que se debe hacer el 60% de la compactación con rodillo estático el 40% restante con vibro compactador. Para obtener el nivel óptimo de compactación el material debe estar húmedo.

8. Cuidados de la capa de rodadura:

Según sea en concreto hidráulico o concreto asfáltico es necesario garantizar algunas de las mismas técnicas de colocación que para los pavimentos convencionales, estas son:

- Smith (2006) Indica que en el caso del concreto hidráulico, evitar bombear el concreto, impedir la segregación, compactar mediante vibración sin exceso (pueden cerrarse los poros), hacer juntas de dilatación al momento de la colocación (nunca mediante cortadora después de secado porque los residuos de concreto pueden colmatar la estructura), vibrar inmediatamente después de la colocación (debido a su rápido secado un vibrado después de 15 minutos de haberse colocado contribuye a la rotura de los enlaces que desarrolla el cemento), y hacer el proceso de curado completo debido a que el concreto poroso es más susceptible a la evaporación.
- Manejar adecuadamente la temperatura de colocación y compactación del concreto asfáltico, Cahill et al, (2003).

Interpave (2008) Dice que en el caso de los adoquines y los modulares, se deben construir bajo los estándares y normas de calidad nombradas, y se debe ser cuidadoso con el llenado de las juntas, pues estas garantizan la estabilidad de las piezas.

9. Mantenimiento:

Smith (2006)²⁰ hace mención que el mantenimiento periódico de los pavimentos permeables ha demostrado una mejora en cuanto a su comportamiento y un aumento en su vida útil, la forma de hacer mantenimiento es a través del aspirado de los sedimentos en la superficie en condición seca cuando el clima lo permita, por ningún motivo se recomienda llevar a cabo procesos de lavado con agua a presión o barridos por medio de aire comprimido, pues estas dos practicas pueden remover los materiales de la capa de transición y generar vacíos, afectando la resistencia de la estructura a los esfuerzos.

²⁰ Smith, D (2006), permeable interlocking Concrete Pavements: Selection, Desing Construction, Maintenance.

2.2.6. Pluviometría de la ciudad de Huamanga

Tabla 2. 6 Registro De Precipitaciones Diarias (Mm), Estacion Huamanga.

REGISTRO DE PRECIPITACIONES DIARIAS (mm)														
ESTACION	: HUAMANGA			DISTRITO	: JESUS NAZARENC				ALTITUD	: 2761 msnm				
CODIGO	: 000661			PROVINCIA	: HUAMANGA				LATITUD	: 13°09'01"				
				DEPART.	: AYACUCHO				LONGITUD	: 74°13'01"				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX.	
1970	S/D	S/D	S/D	19.8	6.5	1	9.2	0	15	5.5	13.6	29	29	
1971	28	46.6	19.2	13.5	0.6	5.3	0.7	9.8	9.2	8	16	16	46.6	
1972	20.2	7.6	13	12.2	S/D	0	15	5	10.3	10	7.5	11.2	20.2	
1973	20.3	16.5	32	26	0	2.2	3.8	13	9.8	9.5	21	25	32	
1974	15.5	26	21	6.2	1	9.7	0	10	7	7	2.6	4	26	
1975	23	15.5	15.2	7	6	2	0.8	2	7.2	13	15	12	23	
1976	24	24	30.5	18.5	8	8	2.3	1	9.5	8.5	4	8	30.5	
1977	11.5	20	7.2	9.8	6	0	4.5	2.5	4.2	1.5	26	7.5	26	
1978	10	0	0	0	0	0	0	0	S/D	S/D	S/D	S/D	10	
1979	S/D	S/D	16	S/D	3	0	7.8	11.2	5.7	8	6.5	6.5	16	
1980	S/D	S/D	44.4	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	44.4	
1981	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	3.4	S/D	15.8	13	15.2	19.5	S/D	19.5	
1982	S/D	44.5	12.6	11	1.3	11.6	0	8	7	14.5	26	10.4	44.5	
1983	16.4	10.2	18.7	9.9	1.4	4.4	5.2	6.4	14.2	24.4	6.4	11.7	24.4	
1984	48	16.8	S/D	S/D	S/D	11.4	2.4	2.5	1.4	8.9	20.2	16.4	48	
1985	18	8.5	8.8	10.5	0	1.5	1.6	0	6.9	3.2	7.8	25.8	25.8	
1986	11.5	14.6	30	16.5	4.5	0	3	6	6	7.2	15.7	13.5	30	
1987	24.2	6.4	11.1	6.7	8.2	7.6	8.7	3	6	14.1	8.4	9.8	24.2	
1988	19.3	22.4	15.3	23	4	2.5	0	0	11	5	17	17.7	23	
1989	S/D	15.3	18	1.6	11	1	0	1.5	26	11	9.6	19.5	26	
1990	23	0.7	1.5	8	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	20	30	30	
MEDIA	20.56	17.39	17.47	11.78	3.84	3.77	3.58	5.14	9.41	9.69	13.83	15.22	20.56	

Capítulo 3

Materiales y Métodos

3.1. Consideraciones Generales

El concreto permeable, también conocido como concreto poroso, está constituido por árido grueso de un solo tamaño (típicos de 3/8 a 3/4" de tamaño máximo), materiales cementantes y agua, en la que poco o nada de árido fino se incluye en la mezcla, lo que favorece la creación de una estructura de tipo porosa (celda abierta) que permite que el agua y aire pase a través de él. Las cantidades de material cementante y agua se seleccionan y controlan cuidadosamente en la mezcla para crear una pasta capaz de recubrir las partículas del árido grueso sin perder fluidez durante el mezclado y colocación del hormigón.

Aires, (2010)²¹ Menciona que usando la pasta suficiente para cubrir las partículas se mantiene un sistema de vacíos interconectados del orden del 15 al 35 % (alta porosidad), dependiendo de los materiales y aplicación. El resultado es un hormigón que drena rápidamente con velocidades de filtración características de 100 a 750 lt/min/m² Por su elevado contenido de vacíos este hormigón es de peso ligero (1.600 a 1.900 kg/m³) y alcanzan resistencias a compresión promedio de 3.5 a 30 MPa. Las principales aplicaciones del hormigón permeable se han orientado a áreas de estacionamiento, pavimentos de bajo tráfico y pasos peatonales.

3.2. Materiales

Los materiales básicos usados para la producción del concreto poroso son los agregados (gruesos con poco o nada de finos), material cementante, agua y en circunstancias que amerite su aplicación, los aditivos. Al igual que los concretos

²¹ Aires, C. (2010); hormigón permeable: consideraciones para el diseño de mezclas, diseño de espesor de pavimento y métodos de prueba.

normales, los concretos livianos de agregados livianos tendrán que cumplir las especificaciones técnicas generales.

Definiremos algunos aspectos que considero son necesarios conocer.

a) Concreto Hidráulico

Rivva, (2000) dice que “el concreto es un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta²², dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado”.

En termino sencillos se podría entender al concreto hidráulico como la mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y cuando el caso lo requiera, aditivos.

El concreto hidráulico es un material de empleo múltiple en diversas obras de la ingeniería. Dentro de los concretos ha ido evolucionando a lo largo de los años, buscando garantizar una resistencia y durabilidad que satisfaga los requerimientos para el cual fueron diseñados.

Los materiales deben presentar las siguientes características.

a.1) Cemento

Se define como cemento a los materiales pulverizados, que por la adición de una cantidad de agua, forman una pasta capaz de endurecer bajo el agua como al aire.

El cemento a utilizar será Portland²³ y deberá cumplir con los requisitos indicados en la norma ASTM C 150.

Los tipos de cementos que fabrican y usan en el país son el I, II y V; además de los cementos combinados (puzolanicos), como son los tipos IP, IPM y IS.

²² Pasta es la combinación química del material cementante (cemento) con el agua.

²³ El cemento resulta de la combinación del clinker molido y la adición de cerca del 6 % de sulfato de calcio (yeso). El clinker resulta de la cocción de una fuente molida de cal, sílice, alúmina y óxido de hierro a una temperatura aproximada de 150°C.

a.2) Agregados

El concreto permeable o poroso no contiene agregado fino, o tal vez muy poco; y el agregado grueso utilizado debe ser de tamaño uniforme. Comúnmente las granulometrías

Ser usada para definir las granulometrías de agregado grueso utilizadas deben de cumplir con la norma ASTM C33, estas son: N°67 (3/4.a N° 4), N° 8 (3/8.a N° 16), o N° 89(3/8.a N°50). La norma ASTM D448 también puede

Tennis (2004) Menciona que los agregados grandes proporcionan una superficie más porosa. Las granulometrías del agregado usadas en el concreto permeable generalmente son, ya sea de agregados grueso de un solo tamaño o granulometría de entre $\frac{3}{4}$ 3/8" (19 y 9.5 mm). Los agregados redondeados y triturados, tanto los normales como los de peso ligero, han sido usados para hacer concreto permeable y deben satisfacer los requisitos de ASTM D448 y C33, en general, los agregados finos no deben ser usados en mezclas de concreto permeable, ya que ellos tienden a comprometer la capacidad de conexión del sistema de poros. Recientemente, el concreto permeable ha sido empleado en estacionamiento, pavimentos de tráfico ligero y andadores. Para estas aplicaciones, generalmente se usan tamaños de agregados más pequeños por razones de estética. El agregado grueso de tamaño 89 (3/8.a N° 50) según la norma ASTM C33, ha sido usado principales en estacionamientos y andadores, por más de 20 años en florida .

Rivva, (2000) Indica que se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz NTP 4.75 mm (N° 4). El agregado grueso puede consistir de piedra partida, grava natural o triturada, agregados metálicos naturales o artificiales, o una combinación de ellos. Estará conformado por partículas cuyo perfil sea preferentemente angular o semiangular, limpias, duras, compactas, resistentes, de textura preferentemente rugosa, y libres de material escamoso o partículas blandas.

Rivva, (2000) Dice que la N°67 (3/4.a N°4), del agregado grueso estará dentro de los límites especificados en las normas NTP ASTM C 33 ver tabla. La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua y deber permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla. La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5 % del agregado retenido en la malla de 1 1/2" y no más del 6 % del agregado que pasa por la malla de 1/4".

Si se utiliza otras granulometrías o tamaños de agregados, estos deben someterse a la aprobación del dueño dependiendo del material propuesto.

La imagen 3.1 muestra dos diferentes tamaños de agregados usados en concreto permeable para crear diferentes texturas.

Figura 3. 1Agregados usados en concreto permeable



Fuente: Tennis et al., 2004

El Concreto que contiene la caja es del tamaño de 1/4" (6.5 mm), mientras el que está debajo de la caja es de un tamaño más grande, 3/4" (19 mm)

El agregado grueso además de los límites granulométricos deberá cumplir los requisitos de calidad, presentados.

c) Agua

Rivva (2000) indica que el agua en combinación con el material cementante reacciona químicamente para la formación de gel²⁴ y que la masa de concreto en conjunto adquiera propiedades que en su estado no endurecido facilite manipulación y trabajabilidad, y en su estado endurecido lo convierte en un producto con las características deseadas como requisitos de carácter general y sin que ello implique la realización de ensayos que permitan verificar su calidad, se podrá emplear como agua de mezclado aquellas que se consideran potables o que por experiencia se conozca que pueden ser usados en la preparación del concreto.

A continuación se presenta los valores máximos de sales y sustancias aceptados para que el agua pueda ser usada en el concreto y esta expresado en partes por millón como se ve en la tabla 3.2.

Tabla 3. 1 Valores máximos de sales y sustancias contenidos en el agua

Sustancia	Limite
Cloruro	300
ppm Sulfatos	
300 ppm Sales de magnesio	
150 ppm sales solubles totales	
500 ppm pH	
Mayor de 7	
Solidos en suspension	1500 ppm
Materia organica	10 ppm

Fuente: diseño de mezclas 2007.p 30

²⁴ Se define como gel a la parte solida de la pasta, la cual es el resultado de la reacción química del cemento con el aguar durante el proceso de hidratación.

d) Aditivos

EG-MTC (2013) Indica que se podrán usar aditivos de reconocida calidad para modificar las propiedades del concreto, con la finalidad de adecuar a las condiciones especiales del concreto por construir. Su empleo se deberá definir por medio de ensayos efectuados con antelación a la obra, con las dosificaciones que garanticen el efecto deseado, sin que se perturben las propiedades restantes de la mezcla, ni representen peligro para la armadura que pueda tener el pavimento. Los aditivos a usar pueden ser incluso de aire, reductores de agua, acelerantes y retardantes de fragua; los cuales deben cumplir las especificaciones indicadas en las normas.

2. Hidratación y Curado del Concreto

La hidratación es la reacción química que se produce por el contacto del agua con el cemento, para cumplir con el ciclo de hidratación es necesario que se provea de un adecuado procedimiento de curado así como el tiempo necesario. Se define como curado al periodo durante el cual el concreto es mantenido húmedo y a temperatura adecuada, tales que permitan completar la hidratación del cemento, así como alcanzar las resistencias deseadas.

El curado²⁵ podrá ser mediante: humedad, productos químicos y láminas para cubrir el concreto. La porosidad del agregado liviano proporciona una fuente de agua para el curado interno del concreto y su durabilidad, sin por ello la necesidad de curado externo.

- El curado por humedad, es el método más sencillo y efectivo. Consiste en inundar a superficie con agua²⁶. Es importante que la temperatura del agua y del concreto no exceda los 7 °C para evitar un choque térmico además la superficie siempre debe estar saturada para evitar ciclos de humedecimiento y secado.

²⁵ Las formas previstas para el curado, que en este documento se señalan son descritos en EG - MTC (2013)

²⁶ El agua debe cumplir los requisitos señalados en items anteriores.

- En el caso de los productos químicos, se empleará un producto de calidad certificada que, aplicado mediante aspersión sobre la superficie del pavimento garantice el correcto curado de éste. El producto por utilizar, debe satisfacer todas las especificaciones de calidad que indique su fabricante. La efectividad de los productos de curado se debe demostrar mediante experiencias previas exitosas o ensayos al inicio de la colocación del concreto.
- Las láminas para cubrir el concreto pueden ser: cubiertas húmedas de tela, costales, paja o arena húmedas en un espesor de 25 mm, y deben permanecer húmedas durante todo el periodo de curado. Otros tipos de cubierta pueden ser de polietilenos generalmente en color blanco, los cuales deben extenderse tan pronto termine las operaciones de acabado superficial y deben sellarse con cinta o sostenerse con bloques.

3.3. Criterios De Diseño de Mezclas

Para el concreto permeable, las relaciones agregado/cemento (a/c) son las variables más importante que afectan las propiedades mecánicas. Se ha encontrado como aceptable un amplio rango de valores de cemento, dependiendo de la aplicación específica. Los aditivos químicos, además de afectar la relación a/c , se usan para influir en la trabajabilidad y los tiempos de fraguado, para mejorar las varias características del concreto permeable, y para mejorar la durabilidad a largo plazo. La tabla proporciona los rangos típicos del proporcionamiento de materiales en el concreto permeable, y son solo valores de referencia.

Tabla 3. 2 Rangos típicos de las proporciones de materiales en el concreto permeable.

Parametro	Rango
Materiales	0 a 415
Cementantes kg/m ³	
Agregado kg/m ³	1190 a 1480
Relacion agua cemento en peso	26 a 0.45
Relacion agregado cemento en peso	a 4.5:1
Relacion agregado fino agregado grueso ,en peso	0 a 1 : 1

Fuente: Tennis et al., (2004).

El adecuado diseño de mezclas dependerá de las propiedades de los materiales usados y de los resultados de las pruebas con dichos materiales.

3.3.1. Relación agua-cemento (a/c).

La dosis de agua utilizada tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla. Utilizando una cantidad insuficiente de agua da como resultado una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia. Una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellar los vacíos de la mezcla y que, además, lavará el cemento dejando expuesto al agregado, produciendo una baja resistencia al desgaste superficial. Actualmente, existe consenso sobre el hecho de que la relación agua-cemento es en realidad una variable, determinada por la cantidad y tipo de cemento y por la granulometría empleada. Se suele utilizar como criterio para determinar este valor, el encontrar la cantidad de agua con la cual la pasta adquiere un brillo metálico.

En la figura se muestra tres muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua, con apariencias diferentes. En el concreto permeable, el contenido óptimo de agua produce una pasta de cemento muy húmeda con una alta viscosidad. Para una proporción de mezcla, y tamaño y tipo de agregado dados, existe un estrecho rango óptimo para la relación a/c. La pasta de cemento de esta mezcla optima es crear una

adherencia suficiente entre las partículas del agregado sin escurrir hacia abajo a través de la red de poros y cerrando la estructura de huecos deseada. La definición de la relación a/c óptima depende principalmente de las características de granulometría y físicas de los agregados gruesos y del contenido de materiales cementantes de la mezcla. Para el concreto permeable, la relación a/c para obtener la trabajabilidad necesaria usualmente varía en el rango de 0.26 a 0.45. Se supone que la trabajabilidad del concreto permeable es satisfactoria si se usa suficiente agua de mezclado para impartir a la mezcla una apariencia de un metal mojado. Al comprimir y soltar un punado de la mezcla, se deberá tener como resultado una mezcla que no se desmorona, ni presenta huecos, y no debe fluir la pasta de cemento separándose de las partículas del agregado. La consistencia correcta usualmente se obtiene a través de un proceso de prueba e inspección, lo que asegura que cada mezcla contenga la pasta de cemento suficiente para cubrir las partículas gruesas con una delgada capa brillante, dándole un resplandor metálico.

Figura 3. 2 Muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua: (a) con poca agua, (b) adecuada cantidad de agua, (c) con demasiada agua.



Fuente: Tennis, 2004

La relación a/c es una consideración muy importante para el desarrollo de la resistencia y la estructura de vacíos del concreto.

3.3.2. Relación agregado-cemento

La relación agregado-cemento típica varía entre 4:1 a 4.5:1, pero esta depende fundamentalmente del tipo de agregado. Tanto la relación agua-cemento y la relación agregado-cemento deben satisfacer las características de permeabilidad, capacidad de carga, y durabilidad.

3.3.3. Contenido de agregado grueso

Las pruebas de peso unitario seco-compactado de agregado grueso (b/b) hecho por la National Aggregates Association - National Ready Mixed Concrete Association (NAA-NRMCA) muestra que el peso unitario seco-compactado del agregado grueso determinado de acuerdo con la norma ASTM C29 puede usarse en el proporcionamiento del concreto permeable.

Dónde:

B/b_o = volumen seco compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

b = volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

B_o = volumen de agregado grueso por unidad de volumen de agregado grueso.

ACI211 (1998) Indica que el valor b/b_o automáticamente se compensa por los efectos de las diferentes formas de las partículas de los agregados, la graduación o tamaño, y el peso específico. Además, para un rango de agregados de tamaño máximo nominal normalmente usados para concreto permeable (3/8.a 3/4") los valores b/b_o son muy similares.

La tabla muestra los valores de b/b_o para agregado grueso de tamaño N°. 8 (3/8") y No. 67 (3/4") para un contenido de agregado fino de 0 %, 10 % y 20 % del total de agregado.

Tabla 3. 3 Valores efectivos de b/bo.

Porcentaje de agregado fino (%)	b/bo	
	N° 8 (3/8")	N° 67 (3/4")
1	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: ACI 211, 1998

3.3.4. Procedimiento de proporcionamiento

ACI211, (1998) Menciona que el procedimiento de proporcionamiento para concreto permeable está basado en el volumen de pasta necesario para mantener unidas las partículas de agregado, mientras se mantiene la estructura de vacíos necesaria como se muestra en la figura La cantidad de agregado depende del peso unitario seco-compactado y de los valores de b/bo seleccionados de la tabla.

Una vez que se determina el volumen de pasta de la figura 2.3 se selecciona la relación a/c, se determinan los pesos del agua y el cemento por metro cúbico de acuerdo con las siguientes relaciones: Volumen de pasta (V_p) = volumen de cemento + volumen de agua, o bien:

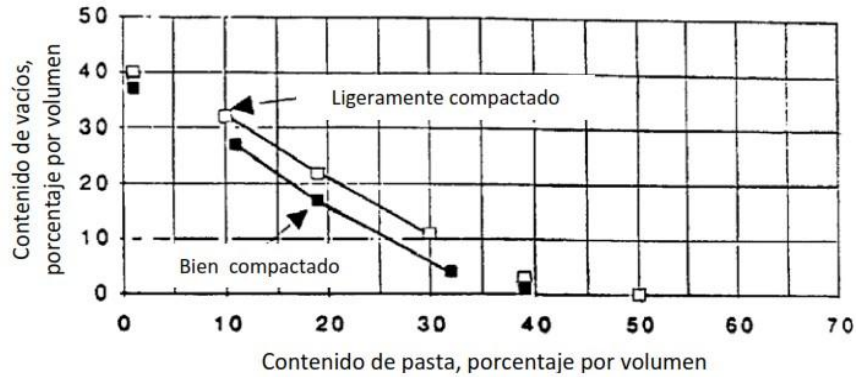
$V_p = (c / \text{peso específico del cemento}) + (a / \text{peso específico del agua})$; Considerando que el peso específico del cemento y agua es 3.12 y 1, respectivamente se tiene:

$$V_p = (c / (3.15 \times 1000)) + (a / 1000)$$

Donde, c es el peso del cemento y a es el peso del agua, si la relación agua-cemento es (a/c) entonces:

$$a = (a/c) c, \text{ y } V_p = c / (3.15 \times 1000) + [(a/c) c / 1000]$$

Figura 3. 3 Relación entre el contenido de vacíos y el contenido de pasta para agregado N°. 8 (3/8")



Fuente: ACI 211, 1998

ACI211, (1998) menciona, una vez que se determina el volumen de pasta de la figura 3.1, se pueden determinar el peso del cemento y el peso del agua. Cuando se usa agregado fino, el volumen de pasta debe ser reducido por cada 10 % de agregado fino 2 % del total de agregado para concreto permeable bien compactado, y por cada 10 % de agregado fino 1 % del total de agregado para concreto ligeramente compactado.

Estas reducciones son necesarias para mantener el mismo porcentaje de vacíos por volumen. A continuación se presenta un ejemplo sobre la aplicación del método de proporcionamiento.

Ejemplo. Se requiere determinar el proporcionamiento para una mezcla de concreto permeable bien compactada, con agregado de 3/8" que tiene un peso volumétrico seco-compactado de 1741.21 kg/m³ y una absorción de 1.2 %. La mezcla debe tener un porcentaje de vacíos de 20 % y una resistencia a la compresión de 140 kg/cm² a los 28 días. El concreto permeable debe ser proporcionado para una relación agua- cemento (a/c) de 0.38. La mezcla no contendrá agregado fino. El peso específico (SSS) del agregado grueso No. 8 es de 2.75.

Datos:

- Relación agua-cemento (a/c) = 0.38
- Porcentaje de vacíos = 20 %
- Resistencia a la compresión = 140 kg/cm²
- Cemento: Peso específico = 3.15
- Grava (3/8")
 - PVSC = 1741.21 kg/m³
 - Peso específico = 2.75
 - Absorción = 1.2 %
- Arena:
 - No contiene

Solución: De la figura 3.2, se determina el volumen de pasta para un 20 % de vacíos para una mezcla de concreto permeable bien compactada, dando como resultado 16.5 %.

Por lo tanto,

$$\text{Volumen de pasta (Vp)} = 0.165$$

$$\text{Volumen de vacíos (Vv)} = 0.200$$

$$\Sigma = 0.365$$

$$\text{Volumen de grava (Vg)} = 1 - 0.365 = 0.635 \text{ m}^3$$

$$0,635 = \frac{g}{2,75 \times 1000}$$

Dónde:

g = peso del agregado, en kg

Por lo tanto,

$$g = 1746.25 \text{ kg}$$

Por otro lado:

Volumen de pasta (V_p) = volumen de cemento (V_c) + volumen de agua (V_a) Por lo tanto,

$$0,165 = \frac{c}{3,15 \times 1000} + \frac{\left(\frac{a}{c}\right)c}{1000}$$

Donde:

c = peso del cemento, en kg

a/c = relación agua-cemento

Por lo tanto,

$$0,165 = \frac{c}{3,15 \times 1000} + \frac{0,38c}{1000}$$

$$c = 236.57 \text{ kg}$$

$$V_c = \frac{236,57}{3,15 \times 1000}$$

$$V_c = 0.075 m^3$$

Para determinar el contenido de agua,

$$a = (a/c) c$$

$$a = 0.38 c$$

$$a = 0.38 (236.57)$$

$$a = 89.88 \text{ kg}$$

Para determinar el volumen de agua (V_a),

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

$$V_a = \frac{89.88}{1000}$$

$$V_a = 89.88 m^3$$

Finalmente, los pesos por m^3 son:

$$\text{Cemento (c)} = 236.57 \text{ kg}$$

Grava 3/8" (g) = 1746.25 kg

Agua (a) = 89.88 kg

$$\Sigma = 2072,70 \text{ kg}$$

Los volúmenes por m³ son:

Cemento (Vc) = 0.075 m³

Grava 3/8" (Vg) = 0.635 m³

Agua (Va) = 0.090 m³

$$\Sigma = 0,800$$

Para confirmar el porcentaje de vacíos:

$\% \text{ de vacios} = (1 - 0.800) \times 100 = 20 \%$ Las proporciones de la mezcla calculadas deben ser verificadas en el laboratorio por un conjunto de pruebas y hacer los ajustes necesarios hasta encontrar las propiedades requeridas del concreto.

Capítulo 4

Modelamiento y Análisis del Problema

4.1. Generalidades

Las propiedades de resistencia del concreto permeable dependen del contenido del material cementante (c), la relación agua-material cementante (a/c), el nivel de compactación, la granulometría y calidad del agregado. Aunque por más de 20 años se ha usado concreto permeable para pavimentar en los Estados Unidos, solo se han llevado a cabo algunas investigaciones para determinar su desempeño. Estas investigaciones se han basado principalmente en pruebas de laboratorio obteniéndose pocos datos reales de las instalaciones de campo. Actualmente, existen pocos procedimientos estándar para fabricar y ensayar especímenes de concreto permeable en el laboratorio o en el campo.

Los agregados a utilizarse inicialmente fueron de la cantera de Chillico, de lecho de río, se sometió al ensayo granulométrico dos calcadoras de la zona como es el de CHV²⁷ Ingenieros y la chancadora FRANKEKA²⁸ la principal proveedora del proyecto del Hospital de la Regional, pero de ambas canteras el de mejor distribución granulométría es la de chancadora FRANKEKA con la cual se realizó los diseños.

4.2. Procedimiento de Diseño de Mezcla

Independientemente que las características finales del concreto sean indicadas en las especificaciones y método, las cantidades de materiales por metro cúbico de concreto pueden ser determinadas, siguiendo la secuencia que a continuación se indica:

²⁷ Empresa de la región posee una chancadora en el valle de la compañía, extrae material petreo del río compañía.

²⁸ Empresa de la región con una planta chancadora en el valle la compañía principal abastecedor de agregado para la construcción del hospital regional.

4.2.1. Selección y análisis Granulométrico de los Agregados

Selección de los agregados

Los agregados fueron tomados de las fuentes antes indicadas y llevadas a laboratorio, donde se realizaron las pruebas correspondientes a cada agregado, siguiendo las pruebas establecidas en las normas ASTM , NTP - MTC y se comprobaron los resultados con las normas ya mencionadas en el capítulo anterior, pruebas tendientes a determinar la aceptación de los agregados para el empleo en el diseño de mezclas de concreto se tomaron tres husos granulométricos para este ensayo el huso granulométrico de 4, huso granulométrico de 6 el uso granulométrico de 8 pero este último no se encuentra dentro de los para metros como se mostrara a continuación.

Características Físicas

En las tablas que a continuación se muestran se resume de las características físicas de los dos tipos de agregados con los que se van a trabajar, obtenidos por distintos ensayos y los cuales reúnen los requerimientos de calidad de la norma ASTM C 33 para agregado, los resultados que se muestran fueron obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio para este trabajo de investigación.

Agregado de huso 4, Chancadora Frankeka

Tabla 4. 1Propiedades físicas del agregado grueso de 4 usado en la investigación.

Ensayos de laboratorio	Resultados
Peso unitario suelto seco (PUSS)(ASTM C -29) Agregado Grueso	1267.75 kg/m ³
Peso unitario compactado seco (PUCS) (ASTM C-29) Agregado grueso	1442.41 kg/m ³
Peso especifico y absorcion del agregado grueso	
Peso especifico.	2.61
Absorcion	1.31%
Contenido de humedad	
Agregado grueso	0.67%

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio

2. Agregado de huso 6, Chancadora Frankeka

Tabla 4. 2 Propiedades físicas del agregado grueso de 6 usado en la investigación.

Ensayos de laboratorio	Resultados
Peso unitario suelto seco (PUSS)(ASTM C -29) Agregado Grueso	1345.62 kg/m ³
Peso unitario compactado seco (PUCS) (ASTM C-29) Agregado grueso	1535.06kg/m ³
Peso específico y absorción del agregado grueso	
Peso específico.	2.61
Absorción	1.97%
Contenido de humedad	
Agregado grueso	0.29%

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio

3. Agregado de huso 8, Chancadora Frankeka

Tabla 4. 3 Propiedades físicas del agregado grueso de 8 usado en la investigación.

Ensayos de laboratorio	Resultados
Peso unitario suelto seco (PUSS)(ASTM C -29) Agregado Grueso	1325.14 kg/m ³
Peso unitario compactado seco (PUCS) (ASTM C-29) Agregado grueso	1504.24kg/m ³
Peso específico y absorción del agregado grueso	
Peso específico.	2.52
Absorción	1.33%
Contenido de humedad	
Agregado grueso	0.78%

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

4. Agregado de huso 6, Chancadora CHV Ingenieros

Tabla 4. 4 Propiedades físicas del agregado grueso de 6 usado en la investigación.

Ensayos de laboratorio	Resultados
Peso unitario suelto seco (PUSS)(ASTM C -29) Agregado Grueso	1507.00 kg/m ³
Peso unitario compactado seco (PUCS) (ASTM C-29) Agregado grueso	1684.00 kg/m ³
Peso específico y absorción del agregado grueso	

Peso específico.	2.56
Absorción	1.39%
Contenido de humedad	
Agregado grueso	0.51%

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

5. Agregado de huso 8, Chancadora CHV Ingenieros

Tabla 4. 5 Propiedades físicas del agregado grueso de 8 usado en la investigación.

Ensayos de laboratorio	Resultados
Peso unitario suelto seco (PUSS)(ASTM C - 29)	1359.00 kg/m ³
Agregado Grueso	
Peso unitario compactado seco (PUCS) (ASTM C-29)	1532.00 kg/m ³
Agregado grueso	
Peso específico y absorción del agregado grueso	
Peso específico.	2.58
Absorción	2.11%
Contenido de humedad	
Agregado grueso	0.60%

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

De acuerdo a su perfil las partículas de los agregados son de perfil angular.

Análisis Granulométrico de los Agregados:

Se realizó el análisis granulométrico de los agregados, deben estar dentro de los límites especificados por norma ASTM C 33.

1. Agregado Grueso

En el Tabla 4.6 se presenta la granulometría obtenida para el agregado grueso con el cual se realizarán los demás diseños, y en las figuras, se presenta su respectiva curva granulométrica, donde se muestra que la curva para los agregados en estudio está dentro de los límites establecidos por la norma ASTM C 33.

Es preciso indicar que el ACI 522R (2003) recomienda que el tamaño máximo nominal no debe superar los 3/4" (19.1 mm), el agregado para el estudio cumple con esta recomendación

tal como se puede apreciar en tabla y se trata de un agregado de roca triturada o piedra chancada como es denominada comúnmente.

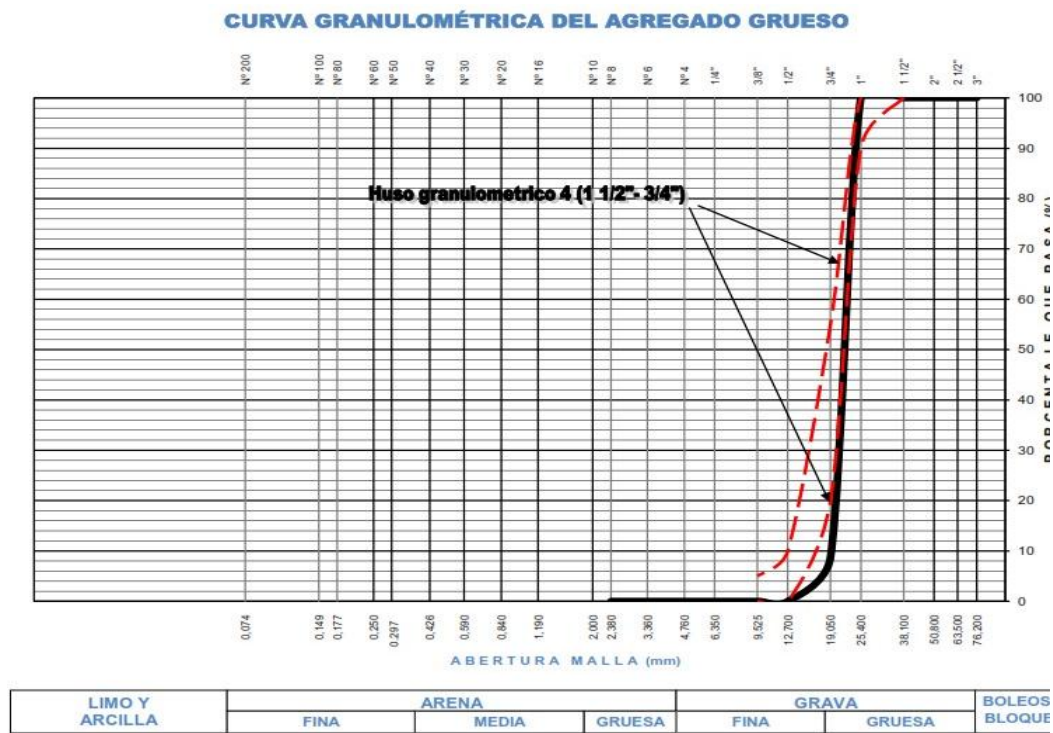
a) Agregado grueso de Huso N°4

Tabla 4. 6 Granulometría del Agregado Grueso de Huso N° 4 (ASTM C33)

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO 4 (1 1/2" a 3/4")	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3"	76.200	-	-	100.00		PESOS (gr) Peso seco inicial 4328.0 Peso seco lavado 4327.1 Pérdida por lavado 0.9	
	2 1/2"	63.500	-	-	100.00	100 - 100		
	2"	50.800	-	-	100.00	90 - 100		
	1 1/2"	38.100	-	-	100.00	20 - 55	ENSAYOS ESTÁNDAR	
	1"	25.400	-	-	100.00	0 - 15		% Grava 100.0
	3/4"	19.050	3,948.00	91.22	91.22	8.78	0 - 5	% Arena 0.0
	1/2"	12.700	378.44	8.74	99.96	0.04		% de Finos 0.0
	3/8"	9.525	-	-	99.96	0.04		D ₁₀ = D _{e(mm)} = 19.1349
	1/4"	6.350	-	-	99.96	0.04		D _{30(mm)} = 20.5272
	N° 4	4.760	-	-	99.96	0.04		D _{60(mm)} = 22.6155
	N° 8	2.380	-	-	99.96	0.04		Cu = 1.18
	N° 10	2.000	-	-	99.96	0.04		Cc = 0.97
	N° 16	1.190	-	-	99.96	0.04		D _{15(mm)} = 19.4830
	N° 20	0.840	0.08	0.00	99.97	0.03		D _{50(mm)} = 21.9194
	N° 30	0.590	0.08	0.00	99.97	0.03		D _{85(mm)} = 24.3558
	N° 40	0.426	0.48	0.01	99.98	0.02		Clasificación SUCS GP
	N° 50	0.297	-	-	99.98	0.02		GRAVA MAL GRADUADA
	N° 60	0.250	-	-	99.98	0.02		Tamaño Maximo (Pulg)" 1
	N° 80	0.177	-	-	99.98	0.02		Tamaño Maximo Nominal (Pulg)" 3/4
	N° 100	0.149	-	-	99.98	0.02		Gravedad específica 2.58
N° 200	0.075	-	-	99.98	0.02		Módulo de Fineza 7.91	
Lavado		0.90	0.02	100.00	0.00		Superficie específica (cm ² /gr) 1.22	
TOTAL		4328.0	100.0					

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

Figura 4. 1 Curva Granulométrica del Agregado Grueso de Huso N°4 (ASTM C33)



Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

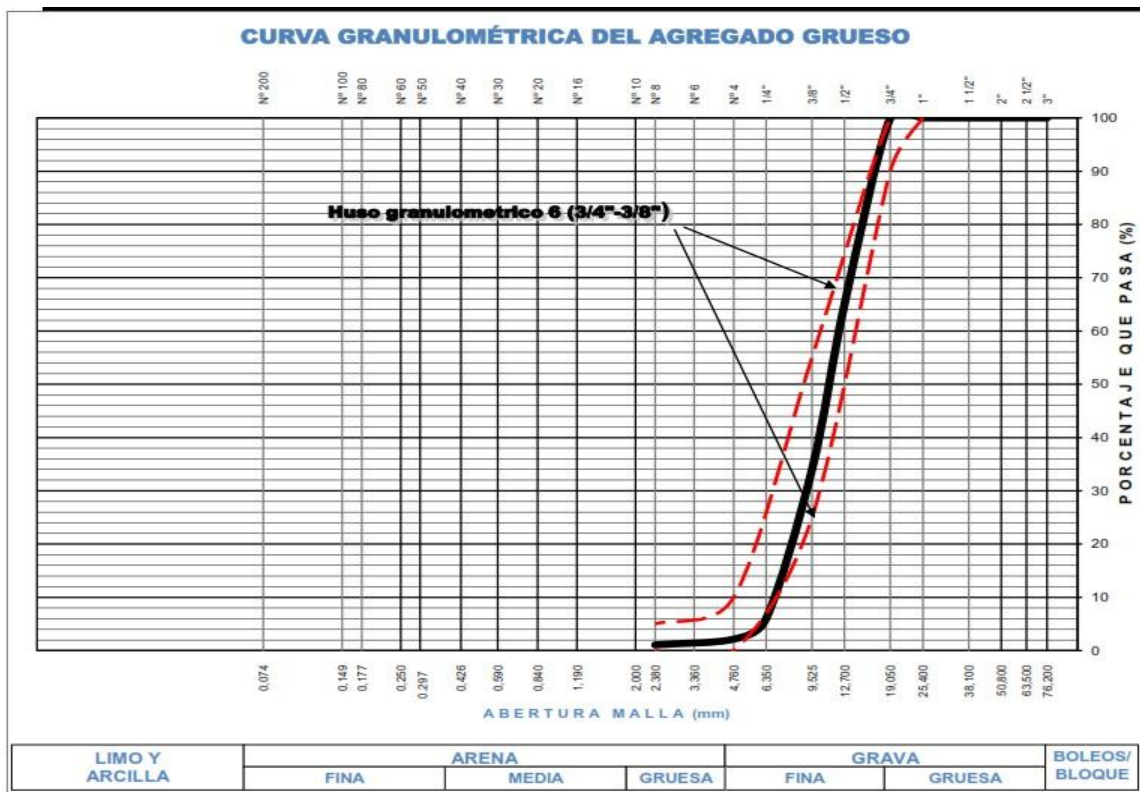
b) Agregado grueso de Huso N°6

Tabla 4. 7 Granulometría del Agregado Grueso de Huso N° 6 (ASTM C33)

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO 6 (3/4" a 3/8")	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
3"	76.200	-	-	-	100.00		PESOS (gr)
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.00		Peso seco inicial 2529.2
2"	50.800	-	-	-	100.00		Peso seco lavado 2508.9
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.00		Pérdida por lavado 20.3
1"	25.400	-	-	-	100.00	100 - 100	ENSAYOS ESTÁNDAR
3/4"	19.050	-	-	-	100.00	90 - 100	% Grava 97.9
1/2"	12.700	884.88	34.99	34.99	65.01	20 - 55	% Arena 1.3
3/8"	9.525	784.26	31.01	65.99	34.01	0 - 15	% de Finos 0.8
1/4"	6.350	707.54	27.97	93.97	6.03		D ₁₀ = D _{60(mm)} = 6.8005
N° 4	4.760	98.18	3.88	97.85	2.15	0 - 5	D _{30(mm)} = 9.0704
N° 8	2.380	27.28	1.08	98.93	1.07		D _{60(mm)} = 12.1867
N° 10	2.000	0.44	0.02	98.95	1.05		Cu = 1.79
N° 16	1.190	0.70	0.03	98.98	1.02		Cc = 0.99
N° 20	0.840	0.76	0.03	99.01	0.99		D _{15(mm)} = 7.3680
N° 30	0.590	-	-	99.01	0.99		D _{50(mm)} = 11.1627
N° 40	0.426	0.46	0.02	99.02	0.98		D _{85(mm)} = 16.3275
N° 50	0.297	0.50	0.02	99.04	0.96		Clasificación SUCS GP
N° 60	0.250	0.42	0.02	99.06	0.94		GRAVA MAL GRADUADA
N° 80	0.177	0.84	0.03	99.09	0.91		Tamaño Maximo (Pulg)" 3/4
N° 100	0.149	0.68	0.03	99.12	0.88		Tamaño Maximo Nominal (Pulg)" 1/2
N° 200	0.075	1.92	0.08	99.20	0.80		Gravedad específica 2.58
Lavado		20.30	0.80	100.00	0.00		Módulo de Finezza 6.59
TOTAL		2529.2	100.0				Superficie específica (cm ² /gr) 7.47

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

Figura 4. 2 Curva granulométrica del agregado grueso de huso N°6 (ASTM C33)



Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

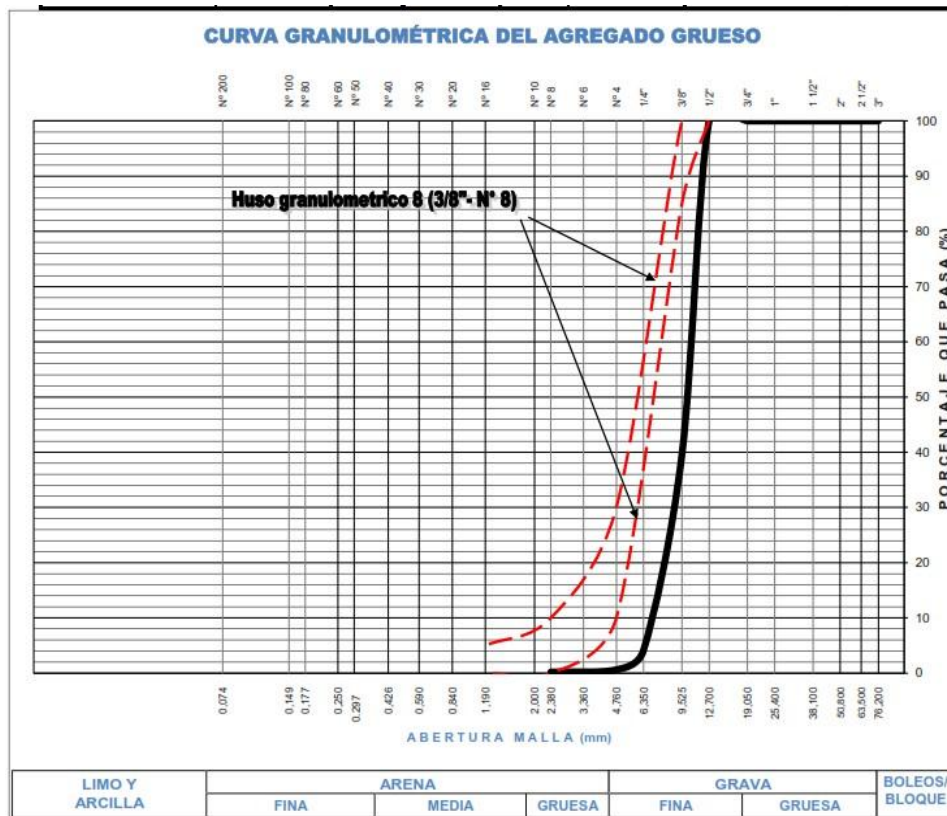
c) Agregado grueso de Huso N°8

Tabla 4. 8 Granulometría del Agregado Grueso de Huso N° 8 (ASTM C33)

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO 8 (3/8" N°8)	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
							PESOS (gr)	
3"	76.200	-	-	-	100.00		Peso seco inicial 3262.0	
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.00		Peso seco lavado 3259.5	
2"	50.800	-	-	-	100.00		Pérdida por lavado 2.5	
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.00		ENSAYOS ESTÁNDAR	
1"	25.400	-	-	-	100.00		% Grava 99.4	
3/4"	19.050	-	-	-	100.00		% Arena 0.5	
1/2"	12.700	-	-	-	100.00	100 - 100	% de Finos 0.1	
3/8"	9.525	1,970.00	60.39	60.39	39.61	85 - 100	D ₁₀ = D _{e(mm)} = 6.8724	
1/4"	6.350	1,156.00	35.44	95.83	4.17		D _{30(mm)} = 8.6642	
N° 4	4.760	116.32	3.57	99.40	0.60	10 - 30	D _{60(mm)} = 10.5971	
N° 8	2.380	14.10	0.43	99.83	0.17	0 - 10	Cu = 1.54	
N° 10	2.000	0.20	0.01	99.84	0.16	0 - 5	Cc = 1.03	
N° 16	1.190	0.54	0.02	99.85	0.15		D _{15(mm)} = 7.3204	
N° 20	0.840	0.26	0.01	99.86	0.14		D _{50(mm)} = 10.0714	
N° 30	0.590	0.26	0.01	99.87	0.13		D _{85(mm)} = 11.9114	
N° 40	0.426	0.24	0.01	99.87	0.13		Clasificación SUCS GP	
N° 50	0.297	0.18	0.01	99.88	0.12		GRAVA MAL GRADUADA	
N° 60	0.250	0.20	0.01	99.89	0.11		Tamaño Maximo (Pulg)" 1/2	
N° 80	0.177	0.26	0.01	99.89	0.11		Tamaño Maximo Nominal (Pulg)" 3/8	
N° 100	0.149	0.20	0.01	99.90	0.10		Gravedad especifica 2.49	
N° 200	0.075	0.78	0.02	99.92	0.08		Módulo de Fineza 6.59	
Lavado		2.50	0.08	100.00	-0.00		Superficie especifica (cm ² /gr) 3.15	
TOTAL		3262.0	100.0					

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

Figura 4. 3 Curva granulométrica del agregado grueso de huso N°8 (ASTM C33)



Fuente: Datos obtenidos en laboratorio.

4.3. Proporción de Mezcla

Esta describe la elaboración de especímenes cilíndricos de concreto (Probetas) de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de altura, también se usaron probetas de 4 pulgadas de diámetro y 8 pulgadas de altura para evaluar las proporciones de mezcla y su resistencia a la compresión. Los moldes empleados, el procedimiento son los mismos que para el concreto normal.

La dosificación de los componentes de la mezcla se realizó por peso y se preparó en tandas para obtener 3 probetas de (6"x12").

Curado de los especímenes: Finalizado a elaboración de las probetas, se cubre la parte superior con bolsas plásticas, con la intención de regular la pérdida de humedad. Después de 24 ± 5 horas de elaboradas las probetas se procedió a desmoldarlos y colocarlos en un tanque de almacenamiento de agua con temperatura controlada ,puesto que los especímenes deben ser curados a una temperatura de 23 ± 2 °C desde el molde hasta el momento de la prueba de los mismos.

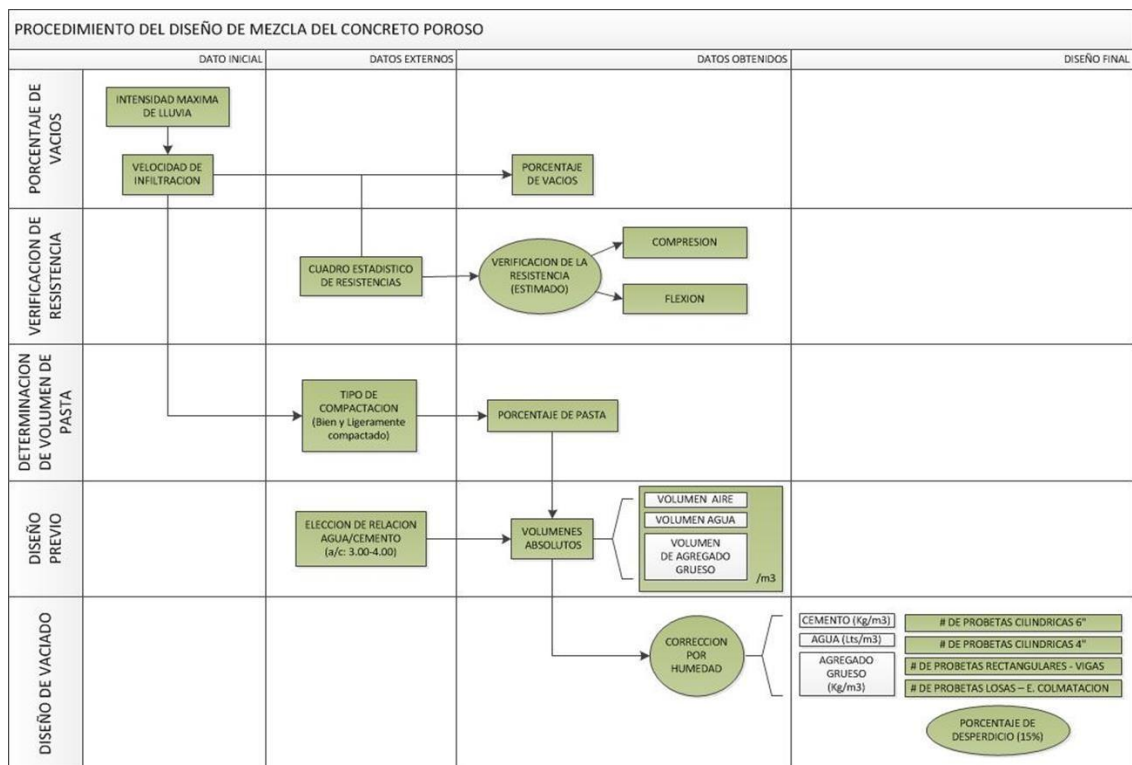
El diseño de mezclas del concreto poroso es parecido al diseño de mezclas del concreto convencional por el método del ACI, ambos utilizan tablas obtenidas empíricamente de ensayos realizados, en cuanto a alcances de ambos diseños son totalmente diferentes. En la tabla 4.9 se realiza una comparación de las diferencias entre los diseños de mezcla del concreto convencional ACI y el concreto poroso.

Tabla 4. 9 Diferencias entre Diseño ACI de concreto convencional y el Diseño del Concreto Poroso

	DISEÑO ACI CONVENCIONAL	DISEÑO DE CONCRETO POROSO
Datos iniciales	Resistencia requerida Slump revenimiento con o sin aire incluido Tamaño maximo nominal	Infiltracion (precipitacion maxima de lluvias)
Datos externos (tablas)	Agua Relacion A/C Volumen de agregado grueso	Tipo de compactacion Eleccion de A/C
Datos obtenidos	Cantidad de agregado fino	Volumen vacio Volumen pasta Porcentaje de agregado
Diseño final	Diseño por volúmenes absolutos y correccion por humedad	Diseño por volúmenes absolutos y correccion por humedad

Fuente: colca et al (2010)

Figura 4. 4 Modelo esquemático del diseño de mezcla del concreto poroso.



Fuente: colca et al (2010)

4.3.1. Procedimiento de Diseño

Elección del porcentaje de vacíos

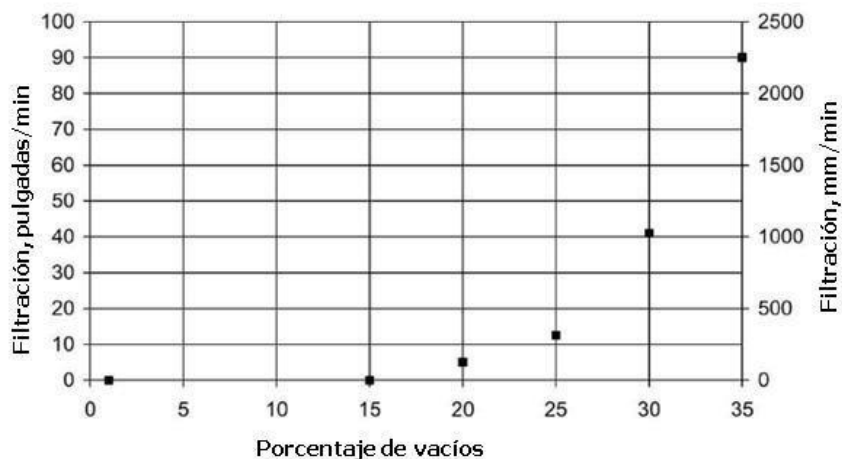
La elección del porcentaje de vacíos depende de la velocidad de infiltración, que se determina por el registro histórico de la intensidad máxima de lluvia en el lugar donde se colocará el pavimento permeable.

En la ciudad de Ayacucho la precipitación utilizada es de la Estación Huamanga, que se encuentra dentro de las instalaciones de la universidad y se puede considerar la más influyente en el centro de la ciudad. En los datos de precipitaciones históricas en los últimos 10 años, la ciudad de Ayacucho registra una precipitación máxima media en 24 horas de 20.56 mm.

Si se considera la infiltración o precipitación de 0.63 mm/min, en de la fig.04-08, se ubica en las ordenadas el valor de 0.63 y se proyecta hacia la curva, la misma que se forma por la unión de los puntos que son valores obtenidos experimentalmente y se vuelve a proyectar a las abscisas obteniendo el valor de porcentaje de vacíos.

El porcentaje de vacíos representa la cantidad de huecos que debe tener nuestro concreto

Figura 4. 5 Relación entre la filtración y porcentaje de vacíos (Adaptado del ACI 211.3R-02).



Diseños de Mezcla de la Investigación

Para la investigación se realizaron dieciocho diseños de mezcla, tres para cada tipo de agregado, con los siguientes porcentajes de vacíos: 15 % y 25 % de vacíos y una relación agua/cemento de 0.35, para lo cual se utiliza tres husos granulométrico N° 8, N° 6 y N° 4 dada por la ASTM C-33.

Tabla 4. 10 Cantidad de probetas para realizar el diseño

Probetas	4		6		8	
Días	15%	25%	15%	25%	15%	25%
7 días	3	3	3	3	3	3
14 días	3	3	3	3	3	3
28 días	3	3	3	3	3	3

Tabla 4. 11 Resumen de Diseño de mezclas, según su huso granulométrico

diseño	HUSO N°4		HUSO N° 6		HUSO N°8	
ajustado	15%	25%	15%	25%	15%	25%
Cemento IP (Kg/m ³)	497.02	369.1	499.29	369.1	499.29	369.1
Agua (L/M ³)	173.96	129.18	174.75	129.18	174.75	129.18
Ag. Grueso	1310.8	1277.57	1319.6	1286.14	1333.87	1300.04
Agua/Cemento	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35

Se realizó la selección de la proporción de mezcla para concreto poroso de agregado de la cantera de Frankeka para los husos N°4, N°6 y N°8, de las cuales se realizó los procedimientos explicados en los capítulos anteriores.. Para el diseño de mezcla para los ensayos en estado fresco y en estado endurecido se detallaran en los siguientes capítulos.

4.4. Ensayos en Estado Fresco del Concreto Poroso

4.4.1. Peso Unitario y Contenido de Vacíos de Mezclas frescas de Concreto Permeable (Density and Void Content of Freshly Mixed Pervious Concrete-(ASTM-C1688)

Este método nos permite determinar el peso unitario del concreto permeable en estado fresco y a su vez podemos calcular el porcentaje de vacíos de la muestras ya que

conocemos las propiedades físicas de los materiales y el diseño de mezclas, en donde podemos calcular el volumen que ocupan los materiales y de esta manera determinar el porcentaje de vacíos de la mezcla.

Terminología

D = Peso unitario del Concreto kg/m^3

M_s = Masa total de todos los materiales de la mezcla (kg).

M_c = Masa llenada con concreto (kg).

M_m = Masa de la medida (Olla de Washington) (kg).

T = Densidad teórica del concreto calculada al aire libre (kg/m^3).

U = Porcentaje de vacíos en estado fresco del concreto permeable, incluyendo el aire atrapado dentro de la pasta.

V_s = Suma de los volúmenes absolutos de los materiales de la mezcla.

V_m = Volumen de la medida (Olla de Washington) (m^3).

$T = M_s / V_s$

La masa total de todos los materiales de la mezcla es la suma de las masas del cemento, agregado fino en la condición saturado-superficialmente-seca, agregado grueso en la condición saturada-superficialmente-seca, el agua de la mezcla, y otros materiales sólidos o líquidos usados.

El volumen absoluto de cada ingrediente es igual al cociente de la masa de ese ingrediente dividida por el producto de su densidad relativa (la gravedad específica)

Procedimiento

- El lugar de ensayo será una superficie plana y libre de vibración, luego humecte dentro de la medida (Olla de Washington) antes de poner el concreto permeable.
- Retire cualquier sobrante de agua del fondo del recipiente con una esponja humedecida. Coloque el concreto permeable en dos capas iguales usando un

cucharon grande, durante el llenado, mueva el cucharon grande alrededor del perímetro de la apertura para asegurar una distribución igual del concreto con una segregación mínima.

- Luego compacte con el martillo (Proctor estándar) 20 veces por cada capa a una altura de 305 mm [12 in.]. Para cada capa distribuya uniformemente los golpes en toda la superficie.
- Antes de compactar la última capa, se debe llenar la medida u olla con exceso de 3mm en todo el borde de la olla y realizar la compactación de 10 golpes, luego se verifica si la cantidad de material es suficiente y si no se corrige la deficiencia y se termina de dar los 10 últimos golpes, en caso si existiera exceso se retira.
- Finalmente se enrasa con la ayuda de una varilla desde el centro hacia afuera de manera que la superficie quede nivelada.

Figura 4. 6 Equipos utilizados para el ensayo de peso unitario del concreto poroso.



Ecuaciones para el cálculo de peso unitario (Unit Weight) y porcentaje de vacíos (Void Content)

$$D = \frac{MC - Mm}{Vm}$$

$$D = \frac{T - D}{T} \times 100\%$$

Dónde: D = Peso Unitario del concreto (m3)

T = Densidad teórica del concreto calculada al aire libre (m³)

U = Porcentaje de vacíos en estado fresco del concreto permeable, incluyendo el aire atrapado dentro de la pasta.

M_s = Masa total de todos los materiales de la mezcla (kg).

M_c = Masa llenada con concreto (kg).

M_m = Masa de la medida (Olla de Washington) (kg).

V_m = Volumen de la medida (Olla de Washington) (m³).

Tabla 4. 12 Resumen de pesos unitarios, según su huso granulométrico

	HUSO 8 15% VACIO	HUSO 8 25% VACIO	HUSO 6 15% VACIO	HUSO 6 25% VACIO	HUSO 6 15% VACIO	HUSO 6 25% VACIO
PU (Kg/m ³)	1982	1924	1835	1820	1803	1770

4.4.2. Métodos de pruebas alternativos del cono invertido para concreto permeable (Concrete - ASTM C-09.49)

El método más común para determinar la trabajabilidad del concreto convencional es prueba de revenimiento o Slump (ASTM C143-00), esta prueba no puede ser aplicada a concreto poroso debido a que una de las características especiales de este tipo de concreto es que su Slump es cero; debido a las bajas relaciones agua cemento utilizadas en los diseños de mezcla, por consiguiente, ASTM proponen métodos alternativos para poder determinar la trabajabilidad del concreto poroso.

Uno de los métodos propuestos por la ASTM es el ensayo de cono invertido utilizado para concretos fluidos (autocompactantes), donde la trabajabilidad se mide por la dificultad que tiene la mezcla porosa en el paso por el orificio más pequeño del cono de Abrams sin ningún tipo de compactación únicamente por gravedad. En este trabajo de investigación se tomaron medidas del diámetro que genera la mezcla luego de pasar por el cono y la altura de asentamiento.

Equipos

- Cono de Abrams
- Plancha metálica de 50cm x 50cm
- Varilla metálica para nivelar la superficie

Procedimiento

- Colocar la plancha metálica en una superficie plana y libre de vibración.
- Colocar en cono invertido en el centro de la plancha.
- Llenar el cono con un cucharón con concreto poroso sin aplicar ningún tipo de compactación.
- Enrasar con una varilla o enrasador dejando una superficie nivelada.
- Levantar el cono hacia arriba en forma perpendicular a la superficie, luego colocar el cono al costado de mezcla sobre la plancha y medir el radio generado y la altura del asentamiento.

Figura 4. 7 Procedimiento de ensayo de revenimiento o slump en el concreto poroso (asentamiento 0 cm)



Figura 4. 8 Ensayo de peso de cono invertido en el concreto poroso.



4.5. Ensayos en Estado Endurecido del Concreto Poroso

Esta es la etapa cuando el concreto poroso adquiere propiedades mecánicas, cuyo desarrollo suele representarse con la evolución de la resistencia a la compresión simple y la resistencia a la tracción determinada en especímenes a diferentes edades. Que el concreto poroso se encuentra en estado endurecido, para poder dar respuesta a esta interrogante en la práctica cuando se realiza el diseño de cualquier estructural, se realiza en base a una resistencia mecánica del concreto y se especifica una edad a la que debe lograrse esta

resistencia, en función a los esfuerzos de diseño que va a soportar. La resistencia a la compresión, pero para este caso cualquier pavimento de concreto la resistencia a la tracción o tensión es nuestra resistencia de diseño. La edad especificada en la mayoría de casos es de 28 días ya que se considera que en este lapso el concreto alcanza el 80 por ciento de su resistencia potencial.

Es importante tener en cuenta que el uso de la resistencia mecánica como índice de asegurar un buen servicio permanente, no siempre es acertado porque hay ocasiones como la del concreto poroso en donde otras características y propiedades son también muy importantes como la permeabilidad que va de la mano del porcentaje de vacíos del concreto, que serán determinantes para determinar la servicialidad del pavimento permeable de concreto poroso a lo largo de su vida útil.

Debido a la importancia de las propiedades en estado endurecido del concreto se da a conocer los ensayos que se realizaron para poder obtener las propiedades mecánicas, físicas, permeabilidad y resistencia a la colmatación del concreto poroso.

4.5.1. Resistencia a Compresión

La resistencia a compresión del concreto ha sido tradicionalmente la propiedad más identificada con su comportamiento como material de construcción, lo cual se debe a tres principales razones:

- En la mayoría de casos, la resistencia a la compresión tiene influencia directa en la capacidad de carga de las estructuras.
- Es la propiedad más fácilmente de determinar en el concreto endurecido.
- Los resultados de su determinación pueden ser utilizados como datos índices de otras propiedades del concreto.

Al igual que el concreto convencional esta propiedad en el concreto poroso no debe ser relacionada exclusivamente con la calidad del concreto, más bien debe ser vista como

una de las diversas propiedades que el concreto poroso endurecido requiere para ser durable. La resistencia a compresión del concreto poroso no es una propiedad definida al igual que el concreto convencional como pudiera suponerse debido a varios factores y condiciones cambiantes que intervienen en su determinación por tal motivo es necesario reglamentar las condiciones y procedimientos para determinarla.

Debido a que en la actualidad se viene trabajando métodos de prueba para este ensayo (ACI 522), en el presente trabajo de investigación se tomó como referencia trabajos anteriores tanto como para la elaboración de especímenes como para el ensayo a compresión donde detallamos a continuación.

Equipos

- Moldes estándar de 15 cm de radio y 30 cm de altura.
- Martillo de Proctor Estándar de 2.4 N de peso y 0.305 m de caída.
- Varilla metálica para nivelar la superficie.
- Mezclador de concreto

Elaboración de especímenes

El procedimiento para la elaboración de especímenes para el ensayo de compresión es la siguiente; una vez obtenido la trabajabilidad requerida mediante el cono invertido y obtenido el contenido de vacíos, que posteriormente se corrobora con la ayuda del equipo que nos facilita INGEOTECON y también mediante el peso unitario, procedemos a la elaboración de especímenes, primero se realizaron pruebas utilizando la misma energía de compactación especificada en el ensayo de peso unitario donde se coloca dos capas uniformes y compactar con 20 golpes/capa con el martillo de Proctor estándar; las pruebas iniciales evidenciaron que en la parte inferior del espécimen la energía de compactación era deficiente, provocando zonas débiles (bordes de la zona inferior), estas generaban fallas locales este problema fue muy evidente en las muestras de los Husos granulométrico N° 4 y N° 6 debido a la presencia de agregados con tamaño de $3/8''$, $1/2$ $3/4''$, debido a este

problema se realiza pruebas utilizando más capas pero aplicando la misma energía de compactación donde se recalculo el número de golpes para 3 y 4 capas, se obtuvo 13 y 10 golpes/capa respectivamente y evaluando los resultados eran muy similares para ambos casos, lo más importante se solucionó el problema de fallas locales, es así que se decidió utilizar 3 capas de 10 cm y 15 golpes/capa, para compactar la última capa se utilizan collar y así evitar que la compactación sea deficiente en la última capa. En cuanto al número de especímenes realizados para cada diseño de mezclas, se realizaron tres especímenes para cada edad de ensayo.

Figura 4. 9 Elaboracion de especimenes.



Figura 4. 10 Equipo utilizado para el ensayo de contenido de aire.



4.5.2. Permeabilidad

La permeabilidad de un material se define como la facilidad con la cual los líquidos y los gases pueden viajar o pasar a través del mismo. Esta propiedad en el concreto convencional esta relacionado con la durabilidad del concreto, pero en el concreto permeable es una de las propiedades más importantes ya que esta determinará si nuestro concreto es permeable o no; en el concreto convencional esta propiedad depende de la permeabilidad de los agregados como también de la pasta, en cambio en el concreto permeable esta dependera del porcentaje de vacíos de la mezclas y este a su vez de la cantidad de pasta y la forma de los agregados mas no de la permeabilidad de los materiales.

La metodología del ensayo fue desarrollada utilizando los métodos de prueba alternativos de la (ASTM-C09.49) y (ACI-522R.10); donde nos sugiere elaborar muestras cilíndricas de 6" de diámetro y 20 cm de alto, que fueron elaboradas utilizando la

metodología para los especímenes de compresión; se utilizar un molde de 6" de diámetro y se compacto en dos capas con 7 golpes/capa, el número de golpes fue obtenido luego de realizar varias pruebas con distintos número de golpes tan igual como los especímenes de compresión.luego se vertió agua un determinado volumen constantemente por un determinado tiempo.

4.6. Ensayo de resistencia a la colmatación

4.6.1. Descripción del ensayo de colmatación

La colmatación es la acumulación de sedimentos, esta acumulación puede entenderse como el deposito del sedimento, el mismo que se transporta de un lugar a otro como por ejemplo, la arena que es arrastrada por el flujo o reflujo de las mareas llegando a depositarse en los llamados bancos de arena, otra acumulación de los sedimentos es la que se evalúa en el presente trabajo y se trata del sedimento o material fino que reduce notablemente la permeabilidad original del concreto poroso, este material fino es transportado en suspensión por el agua y va infiltrando en las etapas iniciales del proceso, el progresivo transporte tapa los poros o vacíos del concreto poroso.

La colmatación es la condición externa a la que se expone del concreto poroso, se considera una desventaja importante porque altera su principal función que es la permeabilidad para el paso del agua y se requiere de la evaluación del concreto poroso frente a esta condición.

Diferencia entre filtración e infiltración

El presente ensayo se relaciona con el porcentaje de infiltración o filtración de agua en las diferentes etapas de colmatación, el termino de filtración está relacionado con el paso de agua por medio de filtro (elemento de purificación del agua) condición que no presenta nuestro concreto poroso y por lo tanto no es evaluada , la infiltración de agua es el termino

más adecuado en este ensayo donde el agua atraviesa el concreto poroso y es medida en las diferentes condiciones de colmatación para la recuperación del agua de lluvia.

Área de aplicación

Ayacucho es una ciudad que está creciendo en cuanto a áreas de esparcimiento, teniendo las alternativas de centros comerciales, áreas de recreación y plazas, para la concurrencia e incremento de usuarios y a la vez dan comodidad y seguridad en los estacionamientos, a áreas verdes con veredas, que por el uso con consideradas de tráfico ligero y que en época de lluvias son afectados notoriamente al tener un sistema de pavimento impermeable.

El área de aplicación que se considera son los estacionamientos y veredas los más cercanos son los ubicados en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, es así que las muestras de concreto poroso con diferente tipo de agregado serán sometidos a las condiciones de colmatación con el sedimento que presentan los estacionamientos de las diferentes facultades de la universidad, se tiene en cuenta que los depósitos de finos o sedimento tienen un tiempo de 8 meses esto porque en época de lluvia los sedimentos son limpiados por el agua y evacuados a los jardines o trasladados a través de las cunetas laterales hacia algún lado fuera de las veredas y pavimento de la universidad.

La existencia de periodos de sequedad y lluvia crean un ambiente para el concreto poroso es por eso que estos cambios de seca a húmedo y viceversa que se produce hacen que el material de colmatación inicial se convierta en ligante del siguiente material colmatante que se deposita, esto origina la acumulación de material disminuyendo la permeabilidad a lo largo del tiempo, y dificulta la limpieza al aumentar la cohesión de los sedimentos o contaminantes.

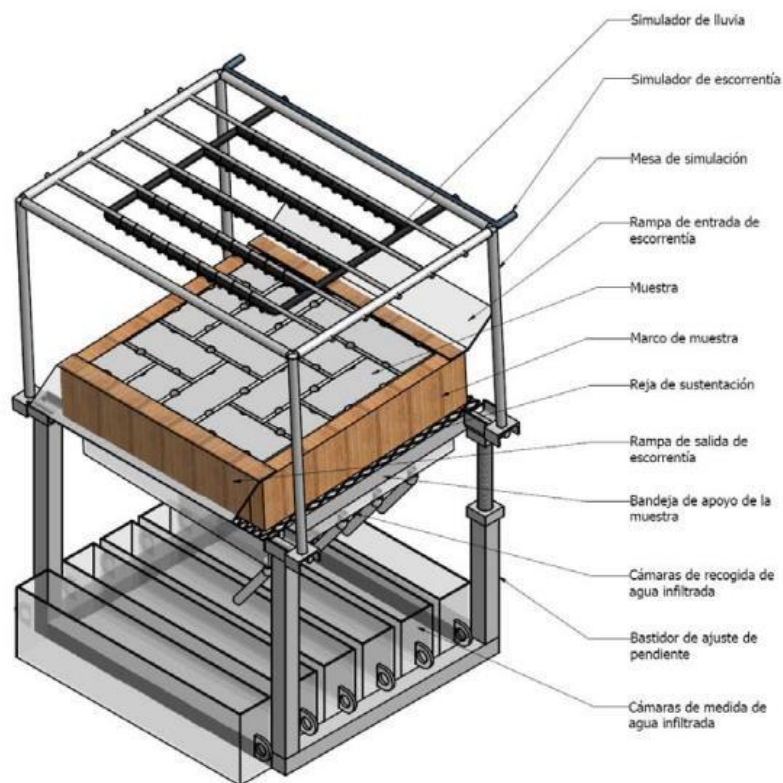
Descripción del Equipo de Ensayo:

El ensayo de Colmatación de finos se realiza con el equipo denominado INFILTROMETRO DE CANTABRO FIJO, el presente ensayo consiste en someter al concreto poroso a condiciones de colmatación de finos, la colmatación se realiza cuando el material fino del medio externo se introduce en los vacíos del concreto produciendo la reducción de espacio para la filtración del agua y alterando la función que debe cumplir el concreto poroso.

INFILTROMETRO DE CANTABRO FIJO (ICF)

Rodriguez & Hernandez (2008) mencionan que el diseño de este aparato se basen el infiltrometro empleado por Davies J.W., En sus estudios de la capacidad de infiltración de esorrentía superficial a través de los pavimentos permeables de adoquines con ranuras realizado en la Universidad de Coventry. La figura 4.6 muestra el diseño que se toma como referencia para el ensayo de colmatación.

Figura 4. 11 Infiltrómetro de cántabro fijo utilizado en la tesis del doctor Jorge Rodriguez-2008



El equipo que se emplea para el ensayo, al igual que el aparato de la Universidad de Coventry, presenta las mismas características.

El ICF permite el ensayo de losas de estructura de pavimento permeable de concreto poroso de 0.25 m², geometría cuadrada de 0.50 m cada lado.

El aparato está compuesto por:

- Bastidor regulable
- Malla donde se ubica la muestras (losa).
- Cámaras de almacenamiento del agua infiltrada y de la esorrentía superficial.
- Simuladores de esorrentía y de lluvia

Figura 4. 12 Equipo de cántabro fijo empleado para el desarrollo de ensayo de colmatación de finos en la investigación.



El bastidor con regulación de pendiente es de acero y cuenta con cuatro apoyos para la malla que soporta las muestras de pavimentos permeables, dos de los apoyos son móviles y regulables, permitiendo la variación de la pendiente de las muestras. La malla donde se ubica la muestra permite que el agua infiltrada pase y sea depositada en las cámaras de almacenamiento.

El ICF, cuenta con seis cámaras de almacenamiento, cinco de ellas se ubican debajo de la muestra, que recoge el agua infiltrada a través de la muestra y la sexta recoge el agua que no se infiltra y se ubica al final del recorrido de la escorrentía residual.

La cámara 1, recoge el agua infiltrada a través de la parte más alta de la muestra de pavimento permeable, la cámara 5 recoge el agua infiltrada a través de la parte más baja de la muestra y la cámara 6 se encarga de recoger el agua de la escorrentía residual final de la muestra.

Los simuladores de lluvia y escorrentía, presentan una distribución adecuada de la simulación de lluvia, escorrentía las que son ajustables e independientes y permiten el aporte de agua a la muestra de pavimento permeable en dos formas distintas, el simulador de lluvia está compuesto por un conjunto de tuberías perforadas situada en la parte superior, tiene cuatro apoyos regulables los mismos que permiten mantener la superficie nivelada, también permite simular una precipitación uniforme directamente sobre la superficie de la muestra de pavimento permeable.

Simulador de Escorrentía, está compuesto por un almacén de agua en la parte alta con capacidad 120 litros aproximadamente, que baja hacia una tubería horizontal perforada paralela a la superficie de la muestra y por medio de una plataforma donde el agua forma una cortina en la superficie de la muestra que se origina desde la parte alta de la muestra a hasta el termino con una escorrentía residual.

El ICF permite evaluar la capacidad de infiltración de agua en el pavimento permeable con diferentes inclinaciones, caudales entrantes de escorrentía superficial e intensidades de lluvia, de esta manera estudiamos las siguientes variables.

- Inclinación de la superficie, se evalúa las pendientes de 0 %, 2 %, 4 %, 6 % y 10 %.
- Escorrentía recibida la cantidad de agua como lamina en la superficie es la Cantidad de agua no que puede filtrarse.
- Cantidad de lluvia directa, la muestra es sometida a cinco líneas de goteros regulables que simulan la lluvia.

Los resultados que permite medir el ICF son:

- Cantidad de agua infiltrada a través de la losa o muestra cuadrada de 0.50 m De lado distribuida en cinco tramos iguales de 0.10 m de ancho cada uno.
- Cantidad de escorrentía superficial residual al final de la muestra

Figura 4. 13 Cajones para la preparación de muestra para el ensayo de colmatación de finos.



Vierta el material granular mayor a 1” (25.4 cm) de la misma cantera del agregado empleado para el concreto poroso, cuando llegamos a obtener el grosor adecuado nivelamos y de esta manera preparamos la superficie o base para el concreto poroso.

Figura 4. 14 Preparación de base en cajones o moldes de la muestra



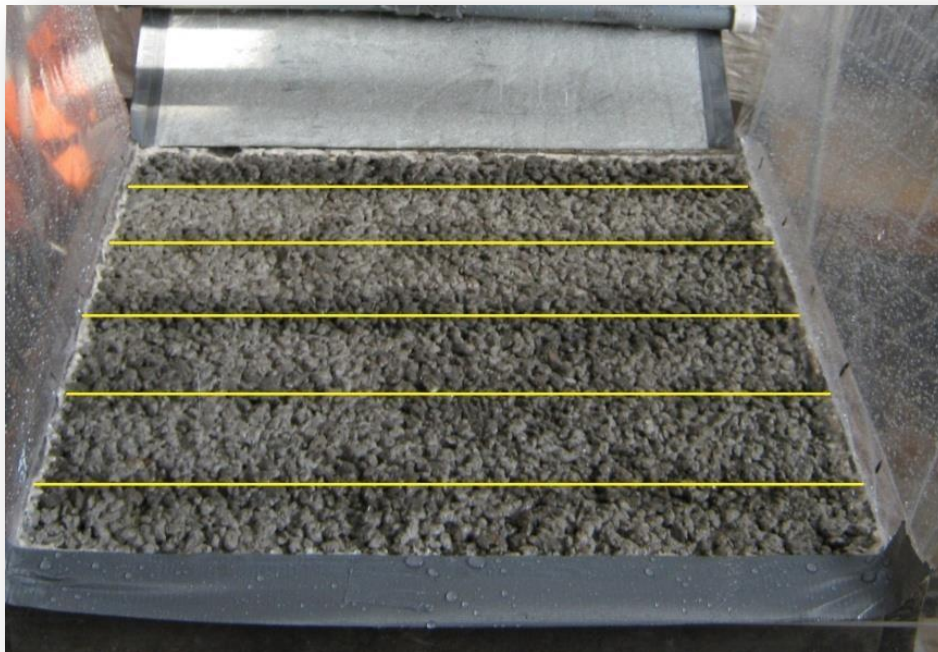
Luego de la preparación de la base granular, estamos listos para verter el concreto poroso en el molde o cajón, colocado el concreto aproximadamente a la mitad del volumen procedemos a una ligera compactación como un reglado que se realiza en la colocación de un concreto convencional, de esta manera logramos que el material llegue a las paredes y esquinas, la otra mitad de volumen es incorporado a la mezcla y logramos compactarlo con un rodillo que es adaptado a las dimensiones de la muestra, el rodillo permite la compactación adecuada del concreto así como la nivelación en la superficie de la muestra, de esta manera finalizamos con la preparación de la muestra.

Se espera dos a tres días de curado y la muestra esta en condiciones para ser colocada y ensayada en el equipo de cántabro fijo y sometida al ensayo de colmatación de finos.

Figura 4. 15 Finalización de preparación de muestra para el concreto poroso.



Figura 4. 16 Distribución de la lluvia en la muestra de concreto poroso.



Para evitar la filtración por los costados de la muestra se requiere impermeabilizar los bordes, cualquier sellador puede ser utilizado para corregir esta situación, es colocado en los bordes sin modificar el área o superficie de ensayo, de esta manera el agua solo filtra

por el área destinada. Para llevar un control homogéneo de la lluvia se mide la presión durante el ensayo, así como la precipitación que representa la lluvia simulada en la superficie de la muestra. Se requiere que una vez colocada la muestra en el equipo se debe limpiar, nivelar y centrar la superficie de la muestra respecto de la distribución de lluvia del equipo, al igual que los recipientes que se encuentran en la parte inferior de la muestra para la captación y medida de agua filtrada.

Antes de empezar a ensayar, se miden la intensidad de lluvia y se prepara el depósito con agua para la simulación de escorrentía, también se verifica la ubicación de los recipientes o cámaras de almacenamiento.

Descripción del Contaminante.

La elección del contaminante está en función del lugar donde se colocara el pavimento o estructura de concreto permeable, para la simulación se tomara muestras de material contaminante de las zonas aledañas al lugar donde se colocara el pavimento porque la composición del contaminante dependerá del tipo de materiales que se encuentren en la zona. Para la aplicación del ensayo en la investigación se realizó un muestreo en los estacionamientos de las diferentes facultades de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, se recoge la cantidad de sedimento encontrado en 1 m² de estacionamiento y de los alrededores para la determinación del tipo de granulometría que presenta.

Los estacionamientos de la universidad están rodeados de árboles en su mayoría, entonces como parte de las características de nuestro colmatante o material fino, encontramos material orgánico (semillas derivadas como parte del ciclo de los árboles), las mismas que pueden germinar dentro de nuestro concreto, esto es perjudicial para el concreto en el caso que se alojen en el interior del concreto y no sigan el recorrido, de ser el caso el crecimiento de raíces pueden alterar la permeabilidad llegando a fracturar la estructura

desde su interior. además de material restante procedente de las construcciones de los pabellones o de restos y montículos de material grueso y fino.

Ubicación de toma de muestras del contaminante. En la imagen 4.12 se muestra la ubicación de los puntos donde se tomaron las muestras de contaminantes para la investigación.

Figura 4. 17 Croquis de distribución, se muestra la distribución para el muestreo de contaminantes en estacionamientos del campus universitario.



Tabla 4. 13 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al estacionamiento de la Facultad de Enfermería.

CONTAMINANTES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA					
LUGAR:		Estacionamiento de la Escuela de Enfermería			
CODIGO:		M1			
FECHA DE MUESTREO:		01/11/2016			
MALLA N°	DIAMETRO S (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PESO RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE (%)
3/8"	9.525				100
N°4	4.760	45.91	5.44	5.44	94.56
N°8	2.380	70.53	8.36	13.80	86.20
N°16	1.190	71.93	8.52	22.32	77.68
N°30	0.590	79.7	9.45	31.77	68.23
N°50	0.297	76.35	9.05	40.82	59.18
N°100	0.149	93.3	11.06	51.88	48.12
N°200	0.074	287.12	34.03	85.90	14.10
FONDO		118.95	14.10	100.00	0.00
SUMA DE PESOS =		843.79	100.00		
MODULO DE FINEZA:				1.66	

Tabla 4. 14 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de las "H".

CONTAMINANTES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA					
LUGAR:		Estacionamiento de las aulas de las "H"			
CODIGO:		M2			
FECHA DE MUESTREO:		01/11/2016			
MALLA N°	DIAMETRO S (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PESO RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE (%)
3/8"	9.525				100
N°4	4.760	551.1	41.64	41.64	58.36
N°8	2.380	80.6	6.09	47.73	52.27
N°16	1.190	42.4	3.20	50.93	49.07
N°30	0.590	61.3	4.63	55.56	44.44
N°50	0.297	100.8	7.62	63.18	36.82
N°100	0.149	197.5	14.92	78.10	21.90
N°200	0.074	172.6	13.04	91.14	8.86
FONDO		117.3	8.86	100.00	0.00
SUMA DE PESOS=		1323.6	100.00		
MODULO DE FINEZA:				3.37	

Tabla 4. 15 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de la Escuela de Medicina Veterinaria

CONTAMINANTES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA					
LUGAR:		Estacionamiento de la escuela de Medicina Veterinaria			
CODIGO:		M3			
FECHA DE MUESTREO:		01/11/2016			
MALLA N°	DIAMETRO S (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PESO RETENIDO(%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE (%)
3/8"	9.525				100
N°4	4.760	14.3	3.57	3.57	96.43
N°8	2.380	12.9	3.22	6.79	93.21
N°16	1.190	21.1	5.27	12.06	87.94
N°30	0.590	22.5	5.62	17.68	82.32
N°50	0.297	44.5	11.11	28.80	71.20
N°100	0.149	69	17.23	46.03	53.97
N°200	0.074	100.3	25.05	71.08	28.92
FONDO		115.8	28.92	100.00	0.00
SUMA DE PESOS=		400.4	100.00		
MODULO DE FINEZA:				1.15	

Tabla 4. 16 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de la FACEAC

CONTAMINANTES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA					
LUGAR:		Estacionamiento de la FACEAC			
CODIGO:		M4			
FECHA DE MUESTREO:		01/11/2016			
MALLA N°	DIAMETRO S (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PESO RETENIDO(%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE (%)
3/8"	9.525		0.00		100
N°4	4.760	17.00	5.15	5.15	94.85
N°8	2.380	14.90	4.51	9.65	90.35
N°16	1.190	18.10	5.48	15.13	84.87
N°30	0.590	29.50	8.93	24.06	75.94
N°50	0.297	34.30	10.38	34.44	65.56
N°100	0.149	44.60	13.50	47.94	52.06
N°200	0.074	71.30	21.58	69.52	30.48
FONDO		100.70	30.48	100.00	0.00
SUMA DE PESOS=		330.40	100.00		
MODULO DE FINEZA:				1.36	

Tabla 4. 17 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de La Biblioteca Central.

CONTAMINANTES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA					
LUGAR:		Estacionamiento de la Biblioteca Central			
CODIGO:		M5			
FECHA DE MUESTREO:		01/11/2016			
MALLA N°	DIAMETRO S (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PESO RETENIDO(%)	RETENIDO ACUMULA DO (%)	PASANTE (%)
3/8"	9.525		0.00		100
N°4	4.760	28.80	3.16	3.16	96.84
N°8	2.380	65.10	7.14	10.30	89.70
N°16	1.190	85.10	9.33	19.63	80.37
N°30	0.590	153.90	16.88	36.51	63.49
N°50	0.297	197.10	21.61	58.12	41.88
N°100	0.149	136.70	14.99	73.11	26.89
N°200	0.074	116.80	12.81	85.92	14.08
FONDO		128.40	14.08	100.00	0.00
SUMA DE PESOS=		911.90	100.00		
MODULO DE FINEZA:				2.01	

Tabla 4. 18 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de la Escuela de Ingenieria Civil

CONTAMINANTES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA					
LUGAR:		Estacionamiento de Escuela de Ingenieria Civil			
CODIGO:		M6			
FECHA DE MUESTREO:		01/11/2016			
MALLA N°	DIAMETRO S (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PESO RETENIDO(%)	RETENIDO ACUMULA DO (%)	PASANTE (%)
3/8"	9.525		0.00		100
N°4	4.760	129.20	10.06	10.06	89.94
N°8	2.380	105.50	8.21	18.27	81.73
N°16	1.190	140.50	10.94	29.21	70.79
N°30	0.590	158.40	12.33	41.54	58.46
N°50	0.297	210.80	16.41	57.95	42.05
N°100	0.149	237.00	18.45	76.40	23.60
N°200	0.074	212.20	16.52	92.92	7.08
FONDO		91.00	7.08	100.00	0.00
SUMA DE PESOS=		1284.60	100.00		
MODULO DE FINEZA:				2.33	

MUESTRA 9

Tabla 4. 19 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de la Escuela de Ingenieria de Minas.

CONTAMINANTES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA					
LUGAR:		Estacionamiento de la Escuela de Ingenieria de Minas			
CODIGO:		M7			
FECHA DE MUESTREO:		01/11/2016			
MALLA N°	DIAMETRO S (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PESO RETENIDO(%)	RETENIDO ACUMULAD O (%)	PASANTE (%)
3/8"	9.525		0.00		100
N°4	4.760	84.80	14.25	14.25	85.75
N°8	2.380	99.70	16.76	31.01	68.99
N°16	1.190	101.20	17.01	48.02	51.98
N°30	0.590	94.70	15.92	63.93	36.07
N°50	0.297	69.10	11.61	75.55	24.45
N°100	0.149	52.00	8.74	84.29	15.71
N°200	0.074	48.00	8.07	92.35	7.65
FONDO		45.50	7.65	100.00	0.00
SUMA DE PESOS=		595.00	100.00		
MODULO DE FINEZA:				3.17	

Tabla 4. 20 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de la Escuela de Ingenieria Agrónoma

CONTAMINANTES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA					
LUGAR:		Estacionamiento de la Escuela de Ingenieria Agronoma			
CODIGO:		M8			
FECHA DE MUESTREO:		01/11/2016			
MALLA N°	DIAMETRO S (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PESO RETENIDO(%)	RETENIDO ACUMULA DO (%)	PASANTE (%)
3/8"	9.525		0.00		100
N°4	4.760	14.83	2.32	2.32	97.68
N°8	2.380	17.90	2.80	5.13	94.87
N°16	1.190	50.04	7.84	12.96	87.04
N°30	0.590	84.74	13.27	26.23	73.77
N°50	0.297	106.74	16.72	42.95	57.05
N°100	0.149	140.12	21.94	64.90	35.10
N°200	0.074	131.80	20.64	85.54	14.46
FONDO		92.34	14.46	100.00	0.00
SUMA DE PESOS=		638.51	100.00		
MODULO DE FINEZA:				1.54	

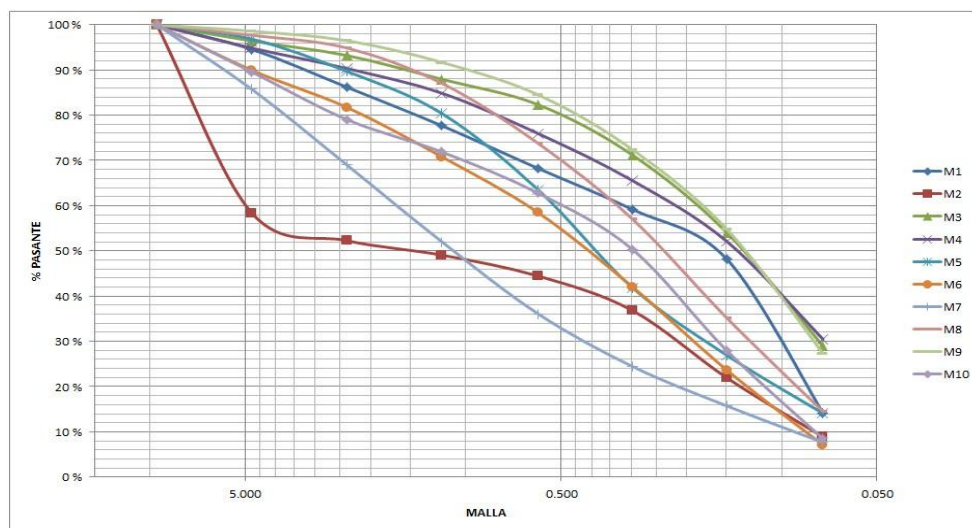
Tabla 4. 21 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento de la Escuela de la facultad de Educacion

CONTAMINANTES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA					
LUGAR:		Estacionamiento de la Facultad de Educacion			
CODIGO:		M9			
FECHA DE MUESTREO:		01/11/2016			
MALLA N°	DIAMETRO S (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PESO RETENIDO(%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE (%)
3/8"	9.525		0.00		100
N°4	4.760	6.00	1.40	1.40	98.60
N°8	2.380	9.00	2.10	3.50	96.50
N°16	1.190	20.60	4.81	8.32	91.68
N°30	0.590	30.70	7.17	15.49	84.51
N°50	0.297	51.80	12.10	27.59	72.41
N°100	0.149	75.70	17.69	45.28	54.72
N°200	0.074	117.20	27.38	72.66	27.34
FONDO		117.00	27.34	100.00	0.00
SUMA DE PESOS=		428.00	100.00		
MODULO DE FINEZA:				1.02	

Tabla 4. 22 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente al Estacionamiento posterior a las aulas de las "H".

CONTAMINANTES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA					
LUGAR:		Estacionamiento posterior de las aulas de las "H"			
CODIGO:		M10			
FECHA DE MUESTREO:					
MALLA N°	DIAMETRO S (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PESO RETENIDO(%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE (%)
3/8"	9.525		0.00		100
N°4	4.760	119.00	10.43	10.43	89.57
N°8	2.380	120.10	10.53	20.96	79.04
N°16	1.190	81.90	7.18	28.14	71.86
N°30	0.590	103.70	9.09	37.23	62.77
N°50	0.297	141.70	12.42	49.65	50.35
N°100	0.149	256.20	22.46	72.11	27.89
N°200	0.074	221.70	19.43	91.54	8.46
FONDO		96.50	8.46	100.00	0.00
SUMA DE PESOS=		1140.80	100.00		
MODULO DE FINEZA:				2.19	

Figura 4. 18 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente a los Estacionamientos.



Esta figura nos muestra todas las granulometrías de los contaminantes obtenidos como muestra de los estacionamientos dentro del campus universitario, formándose una envolvente que incluye a la curva del contaminante empleado en todas las muestras para el ensayo de colmatación de finos.

Figura 4. 19 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente a al estacionamiento de Medicina Veterinaria.



Figura 4. 20 Muestreo de contaminante en el campus de la Universidad correspondiente a al estacionamiento de Agronomía.



CURVA REPRESENTATIVA DEL CONTAMINANTE

Tabla 4. 23 Análisis Granulométrico del contaminante que se emplea para cada una de las muestras para el ensayo de Colmatación de Finos.

CONTAMINANTES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA					
LUGAR:		COMTAMINANTE GLOBAL			
CODIGO:		M11			
MALLA N°	DIAMETROS (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PESO RETENIDO(%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE (%)
3/8"	9.525		0.00		100
N°4	4.760	97.80	9.81	9.81	90.19
N°8	2.380	158.30	15.87	25.68	74.32
N°16	1.190	146.00	14.64	40.31	59.69
N°30	0.590	122.80	12.31	52.63	47.37
N°50	0.297	128.80	12.91	65.54	34.46
N°100	0.149	150.50	15.09	80.63	19.37
N°200	0.074	117.50	11.78	92.41	7.59
FONDO		75.70	7.59	100.00	0.00
SUMA DE PESOS=		997.40	100.00		
MODULO DE FINEZA:				2.75	

Los contaminantes cuentan con materia orgánica en tres tamices o tamaños están presentes en la malla # 50 # 30 y # 16, los materiales externos encontrados son vidrios metales pequeños que son eliminados por su tamaño, las ramas pequeñas que se encontraron se quedaron retenidas en la malla N° 4.

Las muestras de colmatación se clasifican de acuerdo a la cantidad de contaminante o el rango de contaminante que contienen es así que se considera la siguiente

Clasificación:

- Superficie recién colocada.
- Superficie semi colmatada.
- Superficie colmatada.
- Superficie colmatada al máximo.
- Superficie colmatada al máximo con mantenimiento.

Los 05 estados de colmatación, permiten conocer el comportamiento de la muestra ante este agente externo que son los materiales finos arrastrados en época de lluvia y se almacenan en el periodo seco; para nuestro caso solo realizaremos tres ensayos, superficie recién colocada, colmatada al máximo y colmatada al máximo con mantenimiento.

Mantenimiento del pavimento de concreto poroso

La solución a la colmatación de finos está representada por el mantenimiento y limpieza periódica en el concreto poroso, de esta manera prevenimos que se almacenen y deposite material fino en los vacíos o áreas permeables del concreto poroso.

El mantenimiento del concreto poroso pueden ser, barrido y riego con agua a presión con manguera parecido a la limpieza que se realizan en los estacionamientos de concreto convencional, la diferencia es la periodicidad con la que debe realizarse, al menos en tiempo de sequedad donde se depositan los sedimentos que no necesariamente son

traídos por el agua que al final es compensado en época de lluvia que no se necesitara limpiar o sacar el agua que se deposita en los estacionamientos con concreto convencional.

Otro tipo de mantenimiento que puede ser costoso inicialmente pero a lo largo del tiempo favorable es la adquisición de aspiradores auto propulsados, que mantiene las propiedades drenantes del concreto y permite la reducción del periodo de mantenimiento, con este equipo la limpieza se realizar cada 4 o 5 años.

Rodriguez & Hernandez, (2008) Indican que el mantenimiento más natural producido en este tipo de concreto es el que se da a través de los neumáticos vehiculares al ejercer una fuerza de succión durante su recorrido, disminuyendo la velocidad de colmatación en las zonas de rodaje, nuestro concreto poroso debe cumplir ciertas características entre ellas un mayor porcentaje de vacíos o huecos y mejor distribución de las mismas.

Desarrollo de ensayo de colmatación de finos infiltración

A. Desarrollo de ensayo de colmatación de finos infiltración: La muestra con superficie recién colocada, indica que la muestra se encuentra limpia, antes de ensayar se limpia la superficie de algún material, así se representa la muestra seca después del vaciado, la muestra es alineada según la distribución de la lluvia.

La muestra con superficie recién colocada es ensayada con inclinación de 0 %, 2 %, 4 %, 6 % y 10 %, considerada como la pendiente de la muestra. Los datos obtenidos de este primer ensayo es el punto de comparación con superficies afectos al contaminante, así se conocerá las variaciones y el comportamiento de la muestra ante la presencia de finos en su superficie.

Figura 4. 21 Muestras en condicion recién colocada, sin contaminante, losa con agregado



B. Superficie colmatada al máximo.

La superficie colmatada es aquella que contiene entre el 90 % y 100 % de contaminante en la superficie, es decir que a la muestra colmatada de 1000 gr se le adiciona 500gr de contaminante teniendo un total aproximado máximo de 1500 gr de contaminante.

Al igual que la muestra semi colmatada, esta condición presenta sobrante de material que va a ser mayor que el de la condición anterior (semi colmatada). La muestra con 1000 gr de material ya viene confinada y deja poco espacio libre para la nueva cantidad de contaminante adicionado.

En esta condición la muestra es saturada al máximo, siendo los espacios vacíos superficiales cubiertos totalmente, la muestra visualmente la textura inicial del concreto poroso y es propenso a que el agua de la escorrentía aparentemente no llegue a filtrar por el concreto, la muestra colmatada es ensayada a las pendientes de 0 %, 2 %, 4 %, 6 % y 10 %.

Figura 4. 22 Muestras en condición colmatada al máximo, 6 K g/m² de contaminante, losa con agregado de la cantera de Frankeka.



C . Superficie colmatada al máximo con mantenimiento.

El concreto poroso tiene la desventaja del mantenimiento el mismo que puede resultar perjudicial en cuanto a la economía, por la inversión que se puede realizar en el mismo, en esta característica donde la muestra de concreto poroso tiene la superficie totalmente colmatada, se realiza el mantenimiento.

El mantenimiento en la muestra se realiza por barrido y con agua a presión, el agua a presión es aplicada de la misma forma como se limpia el patio de una vivienda con piso de concreto convencional, alrededor de 10 min con presión de manguera de uso cotidiano, con aproximadamente tres veces en toda la superficie.

La muestra al ser sometida a mantenimiento se limpia de todo su contaminante superficial, y regresa aparentemente a la condición de muestra superficial sin contaminante, se considera que el material fino llega al interior de la muestra, la muestra colmatada es ensayada las pendientes de 0 %, 2 %, 4 %, 6 % y 10 %.

Capítulo 5

Análisis y Discusión de los Resultados de los Ensayos

5.1. Ubicación de la cantera FRANKEKA

La cantera a utilizarse es de la empresa FRANKEKA que es proveedor de agregados para la construcción del nuevo Hospital Regional de Ayacucho, se ubica en el distrito de Tambillo, valle de compañía, la cantera es proveniente del rio y procesado mecánicamente mediante un triturador o chancadora.

La ubicación en DATUM WGS 84 Latitud $13^{\circ}04'18.57''$ Sur Longitud $74^{\circ}16'08.96$.Este, en coordenadas PSAD 1956 UTM Zona 17 Sur E = 579, 210,82 N = 80554, 837,44, y a una altura de 2421.00 m.s.n.m.

Figura 5. 1 Ubicación de la cantera.



Figura 5. 2 Planta de producción de agregados Frankeka



5.2. Diseño de mezcla

El concreto que vamos a obtener es una mezcla de cemento, agregado grueso y agua. Las propiedades que se desean controlar para definir un método de dosificación son: densidad, trabajabilidad y resistencia a la compresión. La primera influye propiedades como: módulo de elasticidad, conductividad térmica, etc. La segunda queda determinada por los requisitos de construcción y la última es una propiedad de diseño. La trabajabilidad depende principalmente de la dosis de agua y granulometría de los agregados, y la resistencia de la razón agua/cemento.

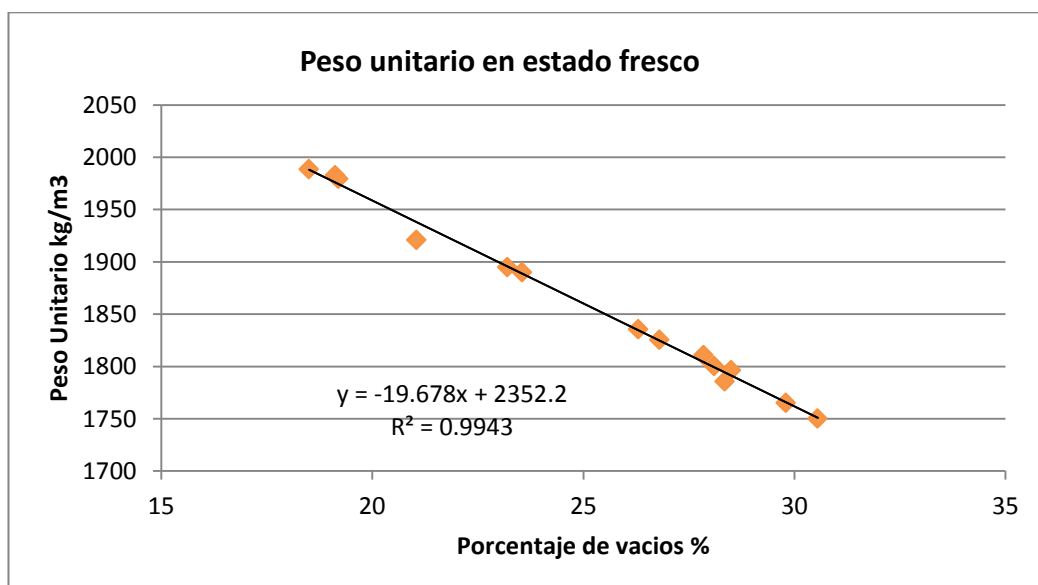
Se realizaron diseños de mezcla de acuerdo a tres husos granulométricos, y a dos porcentajes de vacío siendo estos 15% y 25%.

5.2.1. Análisis de resultados ensayos en estado fresco peso unitario en estado fresco del concreto poroso.

El peso unitario del concreto poroso es la propiedad más importante, debido que permite conocer el porcentaje de vacíos de la tanda de concreto y controlar el peso unitario como variable, también permite conocer el peso y volumen en estado fresco del concreto poroso y utilizar estos datos para realizar los metrados de carga y también estimar el volumen de concreto que se solicitara para cualquier estructura elaborada con este tipo especial de concreto.

Esta propiedad del concreto poroso esta íntimamente ligado a las propiedades del agregado (peso específico del agregado) y el porcentaje de vacíos de diseño, cabe mencionar también los datos no mostraron variaciones considerables entre los tres husos granulométricos utilizados en la investigación es por eso que muestran gráficas para los distintos tipos de agregado sin considerar el huso granulométrico.

Figura 5. 3 Curva de peso unitario con respecto al porcentaje de vacíos.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. 1 Curva de peso unitario con respecto al porcentaje de vacíos

Canteras	Forma	Peso Especifico (kg/m3)	Ecuaciones para Peso Unitario	Coeficiente Correlacion "R"	D=Peso Unitario (kg/m3)	
					U=15%	U=25%
Frankeka	angular	1272.48	2352.2-19.678*X	R=0.99	2349.25	2347.28

Fuente: Elaboracion propia

5.2.2. Porcentaje de vacíos en el concreto poroso:

Para la obtención del porcentaje de vacíos se utilizaron tres metodologías dos de las cuales para el concreto en estado fresco y tercero en estado endurecido.

- Pesos Unitarios 2 capas de compactación y 20 golpes/capa - Estado Fresco.
- Pesos Unitarios 3 capas de compactación y 13 golpes/capa- Estado Fresco.
- Pesos Sumergidos aplicando en principio de Arquímedes- Estado Endurecido.

Tabla 5. 2 Resumen de Porcentajes de vacíos obtenidos en estado fresco y endurecido para cilindros de 15 cm diámetro y 30 cm de alto obtenidos en laboratorio

Clasificacion del Agregado		Diseño	Metodologias	
Forma	Cantera		3 capas	Peso sumergido
Angular	Frankeka	D15T8	22.5	23.0
		D25T8	28.9	29.4
		D15T6	20.5	24.6
		D25T6	25.8	29.8
		D15T4	18.7	26.4
		D25T4	22.6	30.2

Fuente: Elaboracion propia

5.2.2.1 Porcentaje de Vacíos para Huso Granulométrico #08, #06, #04

El huso granulométrico #08:

Con respecto al porcentaje de diseño para el huso granulométrico #08, se muestran para los agregados el porcentaje de vacíos final en estado endurecido se encuentra por encima de los porcentajes de vacíos obtenidos en estado fresco. De las

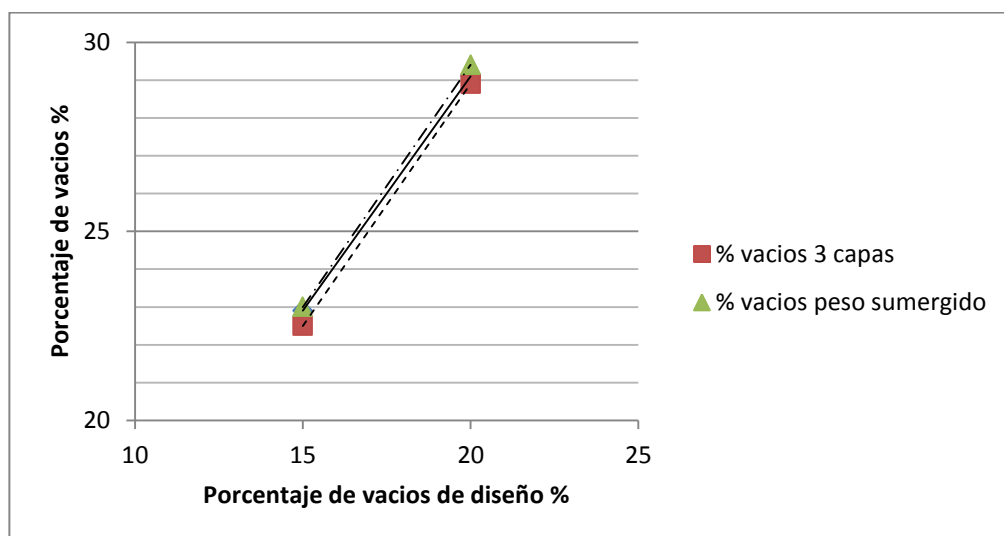
metodologías para obtener el porcentaje de vacíos en estado fresco, para el caso de los agregados (Frankeka) la que más se aproxima al porcentaje de vacíos en estado endurecido es la metodología descrita en ASTM C-1688 (Peso Unitario y Contenido de vacíos en el concreto permeable)

Tabla 5. 3 Tabla de comparación de los porcentajes de vacíos entre metodologías y porcentaje de vacíos de diseño huso granulométrico #08, #06, #04.

Clasificación del Agregado		Codigo	Diseño	Estado endurecido		diseño/Vfinal
Forma	Cantera			PU	Vacios final	
			3 Capas (Peso Sumergido)			
Angular	Frankeka	D15T8	15	22.5	23	0.65
		D25T8	25	28.9	29.4	0.85
		D15T6	15	20.5	24.6	0.61
		D25T6	25	25.8	29.8	0.84
		D15T4	15	23.9	28.4	0.53
		D25T4	25	25.8	30.2	0.83

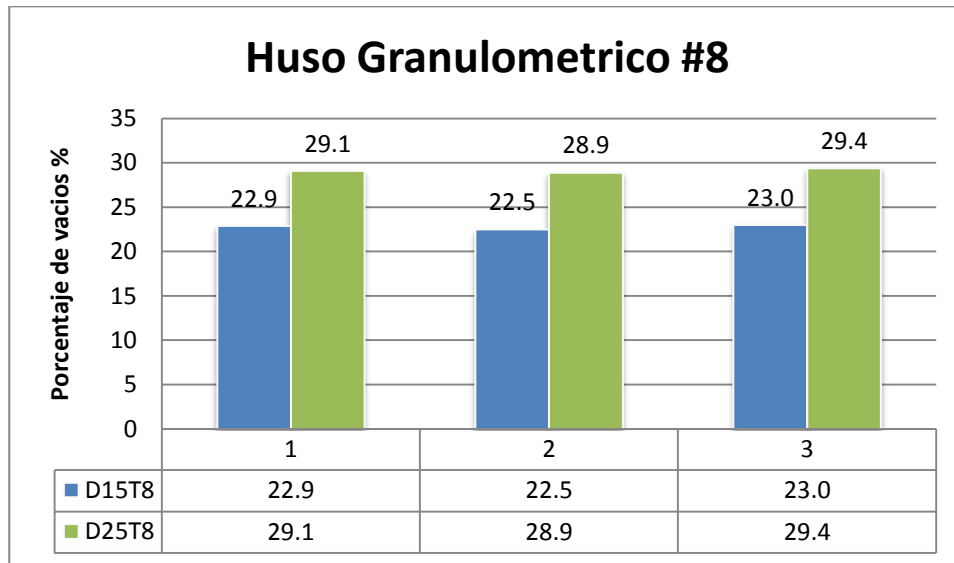
Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 4 Comparación de métodos para la obtención del % de vacíos de concreto poroso Agregado Huso #08.



Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 5 Agregado Huso granulometrico #08.

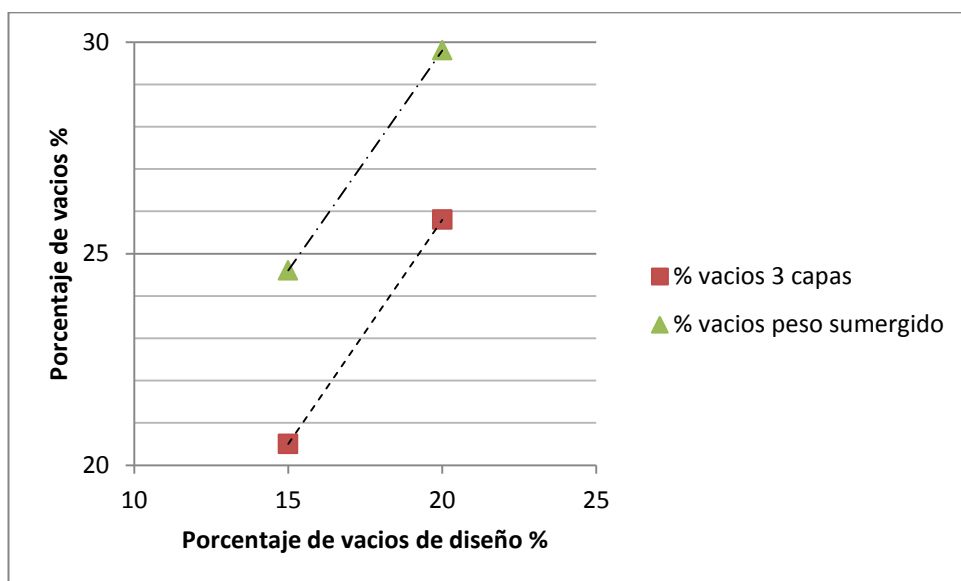


Fuente: Elaboracion propia

El huso granulométrico #06:

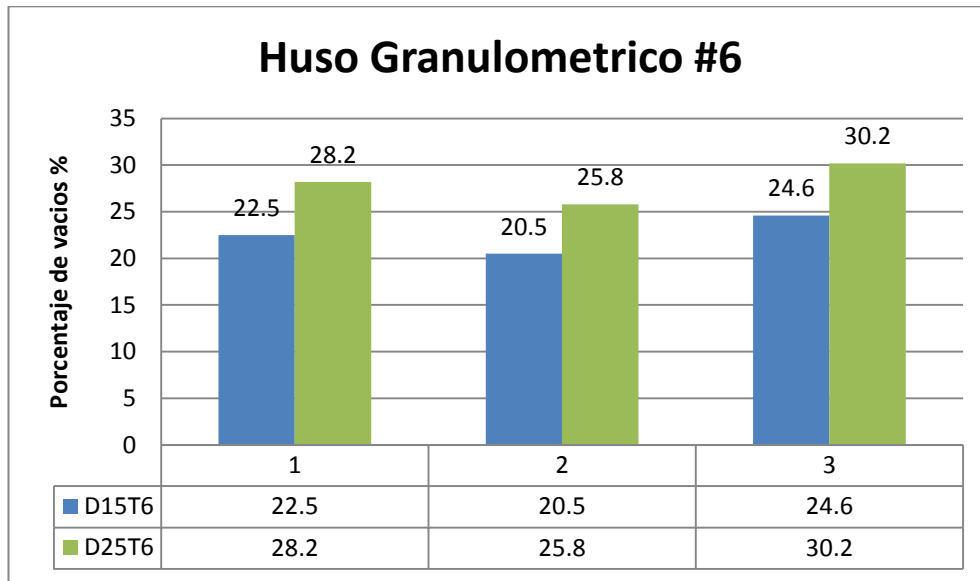
Para el caso del huso granulométrico #06 la diferencia que existe con respecto al porcentaje de diseño es 5%.

Figura 5. 6 Comparación de métodos para la obtención del % de vacíos de concreto poroso Agregado (Huso #06)



Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 7 Agregado Angular Reciclado-Huso granulometrico #06.

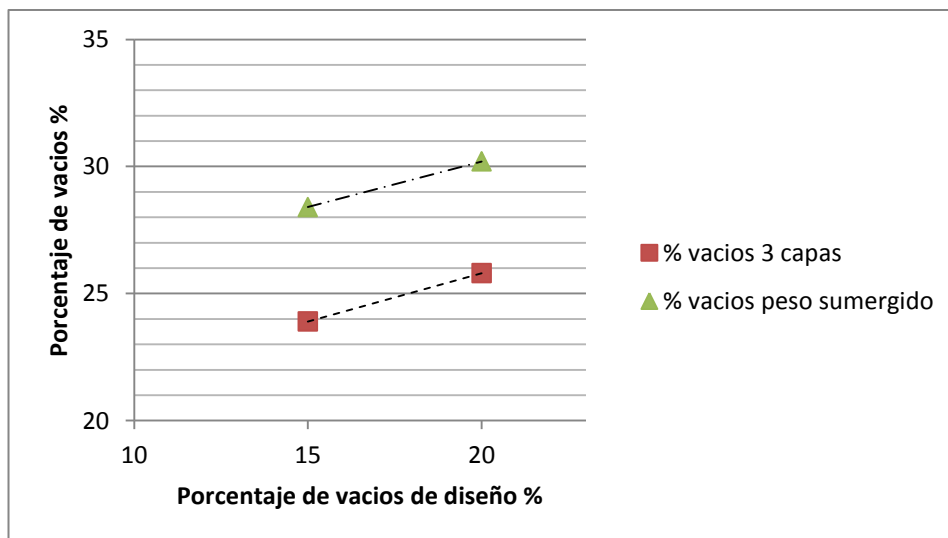


Fuente: Elaboracion propia

El huso granulométrico #04:

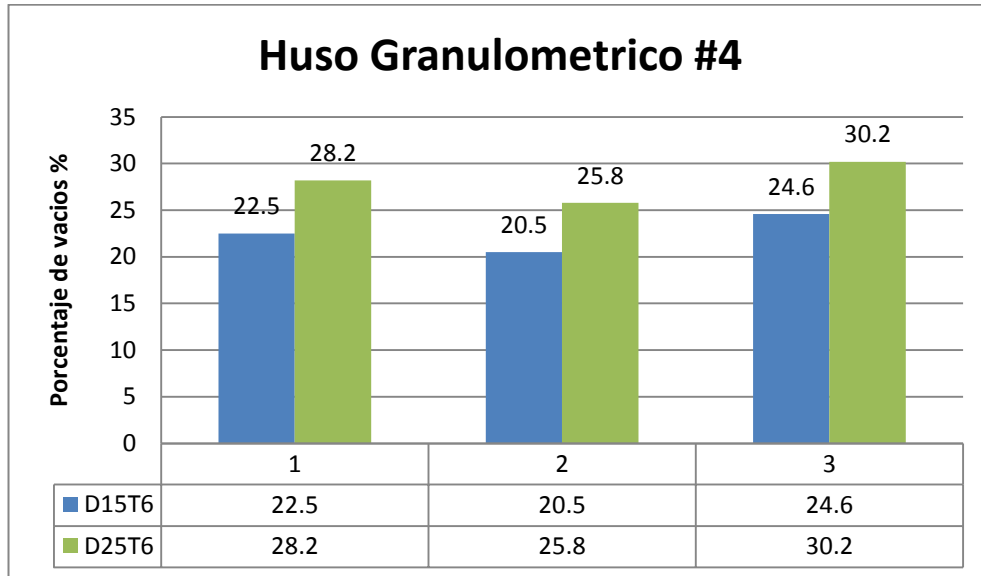
Para el caso del huso granulométrico #04 (Tabla 5.6) la diferencia que existe con respecto al porcentaje de diseño con agregado angular casi presentan casi similar diferencia de 6 % obtenida con el huso granulométrico #08

Figura 5. 8 Comparación de métodos para la obtención del % de vacíos de concreto poroso Agregado Huso #04



Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 9 Agregado Angular Reciclado -Huso granulometrico #04

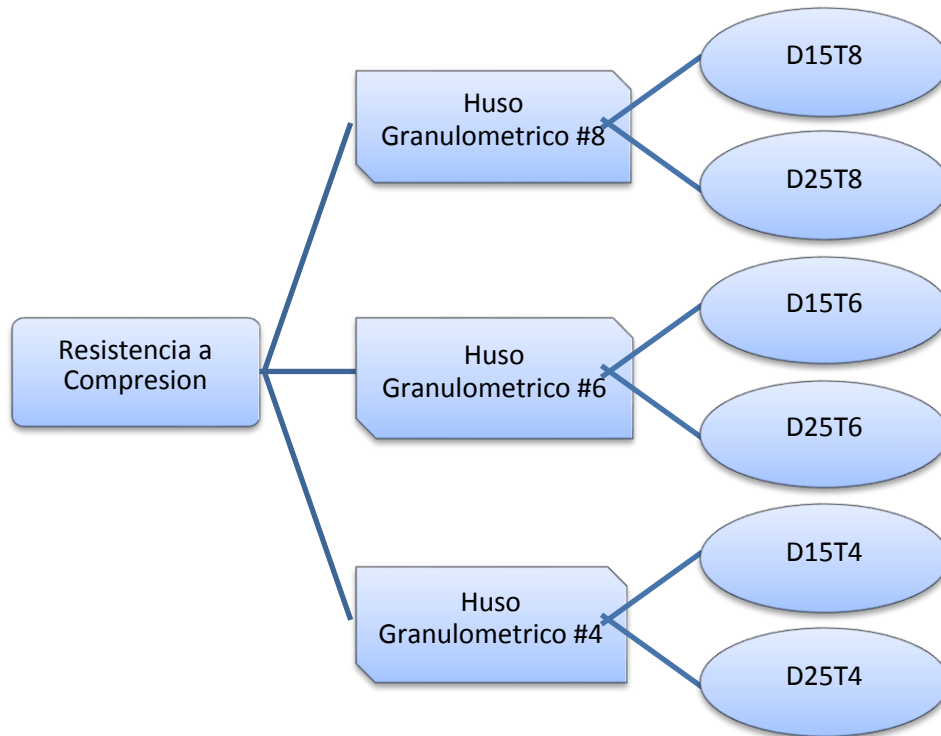


Fuente: Elaboracion propia

5.3. Resistencia a compresión

La resistencia a compresión de los especímenes fueron obtenidos siguiendo las normas NTP 339.034 y ASTM C 39. En este título primero trataremos los datos por agregado y huso granulométrico luego al final del título realizaremos una comparación de los resultados con los diferentes agregados y husos granulométricos. Los resultados de los ensayos a compresión se muestran en el siguiente diagrama de flujo.

Figura 5. 10 Flujo de diseños de mezcla de compresión.



5.3.1. Resistencia a Compresión Agregado Angular

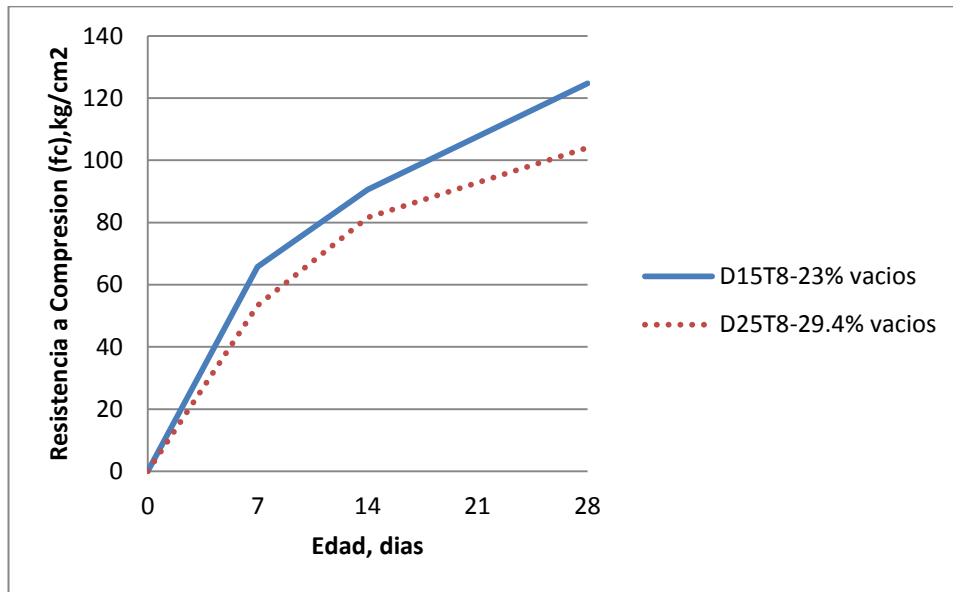
5.3.1.1. Resistencia a Compresión Agregado, Huso Granulométrico #08

Tabla 5. 4 Resumen de Resistencias a Compresión, Huso Granulométrico #08

TIPO DE MUESTRA	EDAD (Días)	% VACIOS DE DISEÑO	% VACIOS FINAL	RESISTENCIA DEL ESPÉCIMEN (Mpa)	RESISTENCIA DEL ESPÉCIMEN (Kg / cm2)
huso #8	D15T8	7	23.00	6.58	65.77
		14	23.00	9.06	90.57
		28	23.00	12.47	124.72
	D25T8	7	29.40	5.33	53.30
		14	29.40	8.17	81.66
		28	29.40	10.41	104.09

Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 11 Resistencia a Compresión (f_c)- Huso Granulométrico #08



Fuente: Elaboracion propia

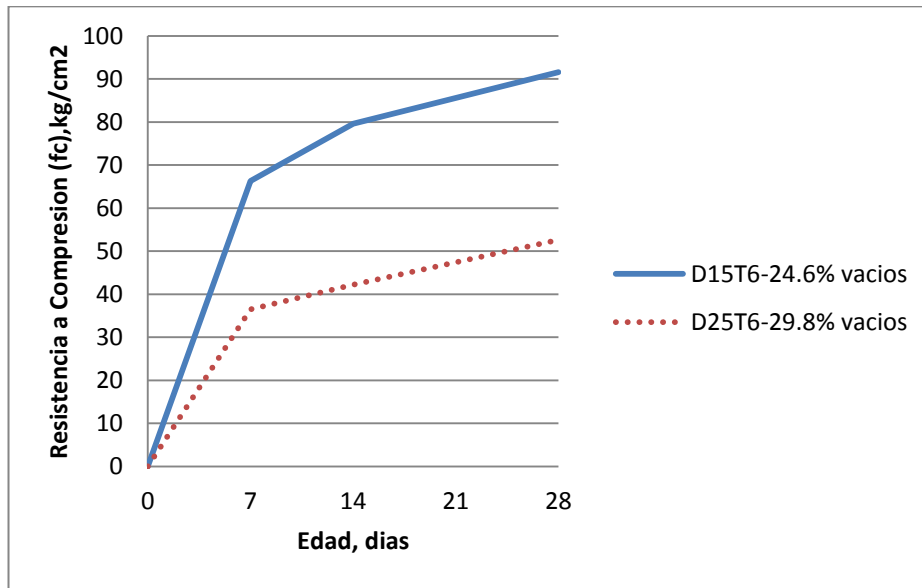
5.3.1.2. Resistencia a Compresión, Huso Granulométrico #06

Tabla 5. 5 Resumen de Resistencias a Compresión, Huso Granulométrico #06

TIPO DE MUESTRA	EDAD (Días)	% VACIOS DE DISEÑO	% VACIOS FINAL	RESISTENCIA DEL ESPÉCIMEN (Mpa)	RESISTENCIA DEL ESPÉCIMEN (Kg / cm ²)	
huso #6	D15T6	7	15	24.60	6.63	66.27
		14	15	24.60	7.96	79.60
		28	15	24.60	9.16	91.58
	D25T6	7	25	29.80	3.65	36.50
		14	25	29.80	4.22	42.23
		28	25	29.80	5.26	52.62

Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 12 Resistencia a Compresión (f_c)- Huso Granulométrico #06



Fuente: Elaboracion propia

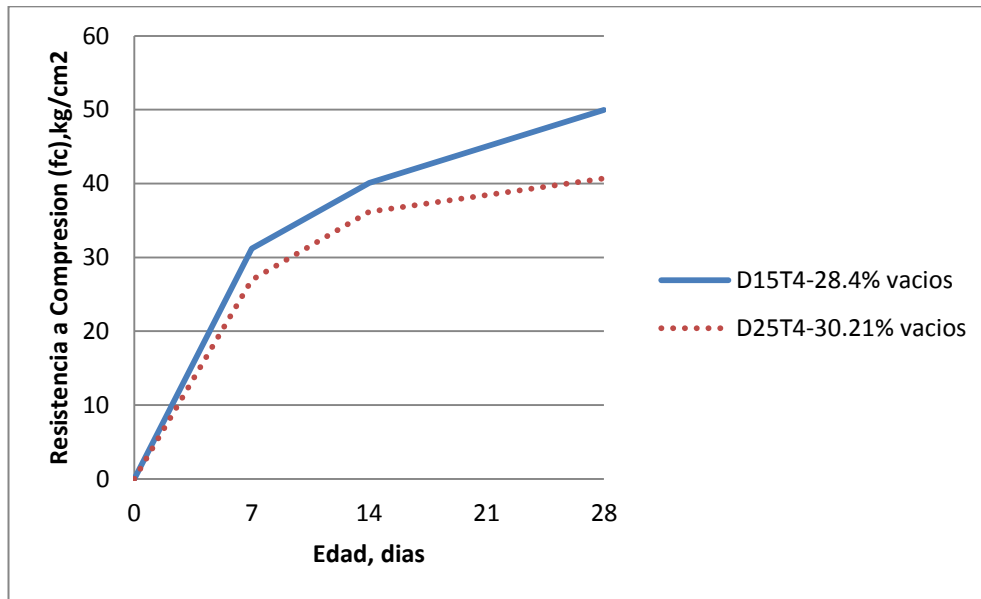
5.3.1.3. Resistencia a Compresión, Huso Granulométrico #04

Tabla 5. 6 Resumen de Resistencias a Compresión, Huso Granulométrico #4

TIPO DE MUESTRA		EDAD (Días)	% VACIOS DE DISEÑO	% VACIOS FINAL	RESISTENCIA DEL ESPÉCIMEN (Mpa)	RESISTENCIA DEL ESPÉCIMEN (Kg / cm ²)
huso #4	D15T4	7	15	28.40	3.12	31.20
		14	15	28.40	4.01	40.10
		28	15	28.40	5.00	49.96
	D25T4	7	25	30.21	2.69	26.93
		14	25	30.21	3.62	36.20
		28	25	30.21	4.07	40.70

Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 13 Resistencia a Compresión (f_c), Huso Granulométrico #04



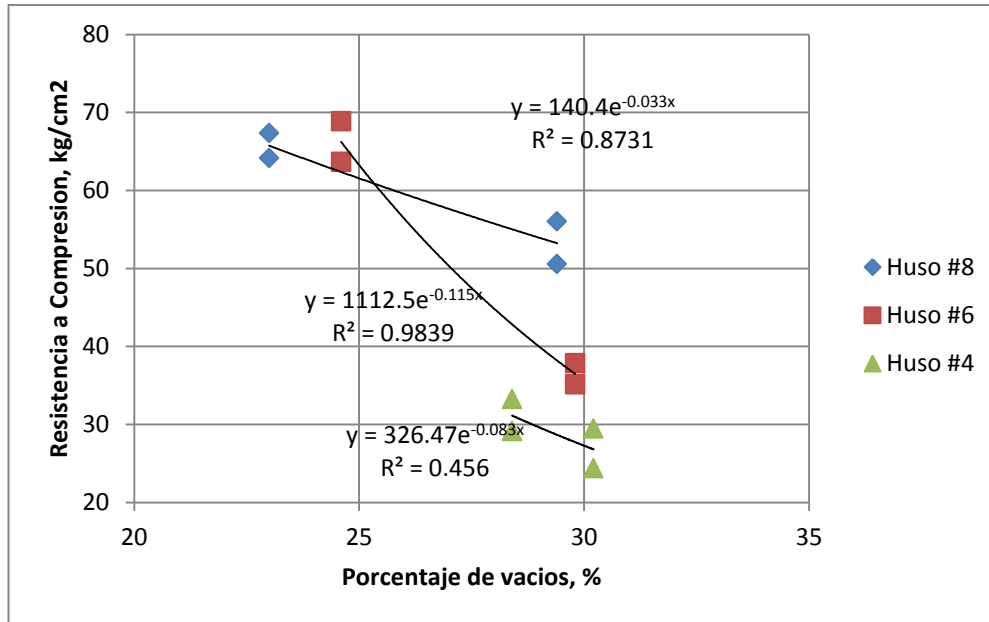
Fuente: Elaboracion propia

5.4. Comparación de Resultados de la Resistencia a Compresión

5.4.1. Comparación de la Resistencia a Compresión por el Huso Granulométrico

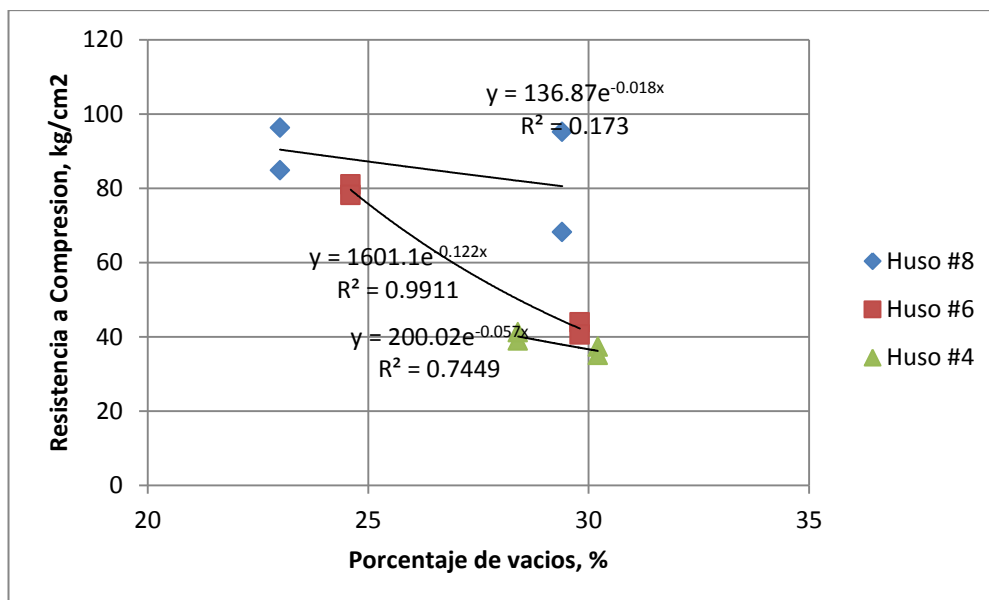
Analizando se puede notar que se obtienen mejores resistencias a edades tempranas (7, 14 y 28 días días) con el huso granulométrico #08 varian constantemente aumentando en un aproximado de 30% entre cada edad, uno de los factores que contribuyentre cada esa esto es que la resistencia predominante a estas edades es las resistencia de la pasta y nosotros sabemos en el huso granulométrico #04 trabajamos con tamaños de agregados mayores (1” a 3/4”), el huso granulométrico #06 trabajamos con tamaños de agregados mayores (1/2” y 3/8”) a los del husos granulométrico #08 (3/8” y malla #04) en donde a tener agregados grandes se necesita menor cantidad de agua por lo tanto una menor relación agua/cemento (a/c).

Figura 5. 14 Comparación de resistencias a compresión a los 7 días de edad del concreto poroso según el huso granulométrico utilizado.



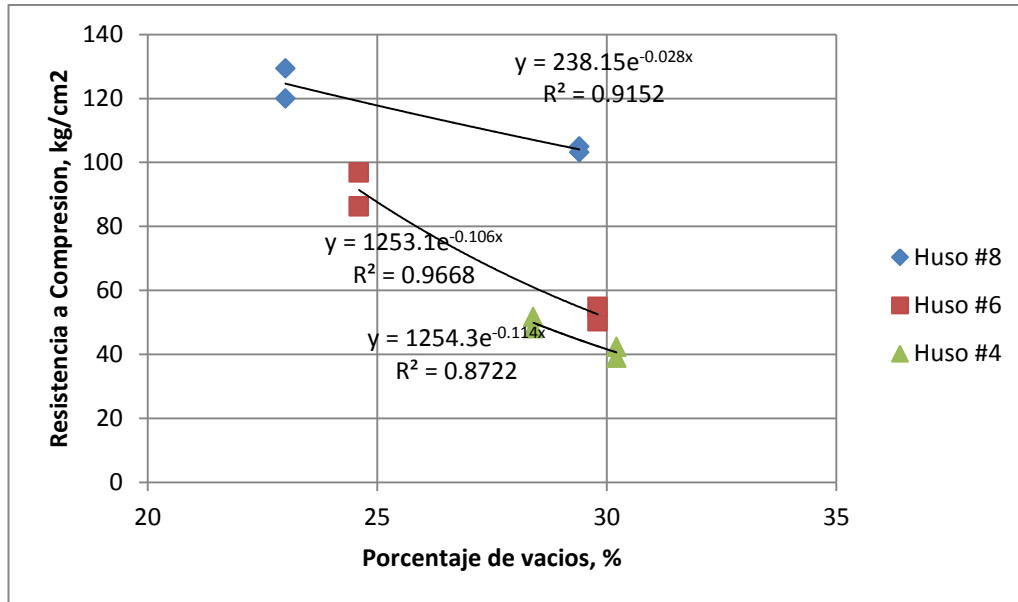
Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 15 Comparación de resistencias a compresión a los 14 días de edad del concreto poroso según el huso granulométrico utilizado.



Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 16 Comparación de resistencias a compresión a los 28 días de edad del concreto poroso según el huso granulométrico utilizado.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. 7 Resumen de resistencias a compresion.

Tipo de muestra	Fecha de moldeo	Fecha de rotura	Edad (días)	Diámetro especim. (cm)	Diámetro especim. (m)	Altura del especim. (cm)	Peso del especim. (kg)	Peso unitario aparente (tn/m3)	Lectura digital (kn)	lectura digital (kg)	Resist. del espécimen (mpa)	Resist. del espécimen (kg / cm2)	Prom. (kg / cm2)
D15 T8	22/08/16	29/08/16	7	15.124	0.151	30.287	10.753	1.98	12,104	12,104.03	673.76	67.38	65.77
	22/08/16	29/08/16	7	15.135	0.151	30.869	10.615	1.91	11,542	11,542.17	641.55	64.16	
D15 T8	22/08/16	05/09/16	14	15.198	0.152	30.271	10.742	1.96	171.01	17,473.04	9.43	96.32	90.57
	22/08/16	05/09/16	14	15.160	0.152	30.271	10.748	1.97	149.86	15,312.03	8.30	84.83	
D15 T8	22/08/16	19/09/16	28	15.218	0.152	30.652	10.745	1.93	230.40	23,541.25	12.67	129.43	124.72
	22/08/16	19/09/16	28	15.215	0.151	30.652	10.887	1.95	213.56	21,820.61	11.93	120.01	
D25 T8	22/08/16	29/08/16	7	15.212	0.152	30.652	10.769	1.93	99.68	10,184.86	5.48	56.04	53.30
	22/08/16	29/08/16	7	15.213	0.152	30.652	10.867	1.95	89.96	9,191.71	4.95	50.57	
D25 T8	22/08/16	05/09/16	14	15.212	0.152	30.652	10.877	1.95	121.36	12,387.65	6.68	68.16	81.66
	22/08/16	05/09/16	14	15.211	0.152	30.652	10.887	1.95	169.58	17,292.35	9.33	95.16	
D25 T8	22/08/16	19/09/16	28	15.125	0.151	30.547	10.742	1.96	184.65	18,866.72	10.28	105.01	104.09
	22/08/16	19/09/16	28	15.124	0.152	30.330	10.745	1.97	181.39	18,533.63	10.00	103.17	
D15 T6	22/08/16	29/08/16	7	15.167	0.152	30.748	10.743	1.93	112.56	11,500.88	6.23	63.66	66.27
	22/08/16	29/08/16	7	15.218	0.152	30.909	10.689	1.90	122.63	12,529.79	6.74	68.89	
D15 T6	22/08/16	05/09/16	14	15.214	0.152	30.881	11.026	1.96	144.15	14,728.61	7.93	81.02	79.60
	22/08/16	05/09/16	14	15.163	0.152	30.446	11.652	2.12	138.18	14,118.62	7.65	78.19	
D15 T6	22/08/16	19/09/16	28	15.167	0.152	30.748	11.109	2.00	152.36	15,583.01	8.43	86.25	91.58
	22/08/16	19/09/16	28	15.159	0.152	30.657	11.032	1.99	171.01	17,490.48	9.48	96.91	
D25 T6	22/08/16	29/08/16	7	15.167	0.152	30.321	11.524	2.10	62.16	6,351.23	3.44	35.15	36.50

	22/08/16	29/08/16	7	15.198	0.152	30.731	11.127	2.00	67.19	6,865.18	3.70	37.84	
D25 T6	22/08/16	05/09/16	14	15.178	0.152	30.652	11.325	2.04	77.74	7,935.20	4.30	43.86	42.23
	22/08/16	05/09/16	14	15.169	0.152	30.875	11.426	2.05	71.89	7,338.07	3.98	40.60	
D25 T6	22/08/16	19/09/16	28	15.204	0.152	30.760	11.050	1.98	89.56	9,141.71	4.93	50.35	52.62
	22/08/16	19/09/16	28	15.096	0.151	30.692	11.537	2.10	96.24	9,823.56	5.38	54.89	
D15 T4	22/08/16	29/08/16	7	15.083	0.151	30.616	11.130	2.03	50.91	5,206.95	2.85	29.14	31.20
	22/08/16	29/08/16	7	15.218	0.152	30.231	10.169	1.85	59.16	6,050.74	3.25	33.27	
D15 T4	22/08/16	05/09/16	14	15.214	0.152	30.482	11.056	2.00	69.25	7,082.72	3.81	38.96	40.10
	22/08/16	05/09/16	14	15.212	0.152	30.152	11.163	2.04	73.28	7,494.90	4.03	41.24	
D15 T4	22/08/16	19/09/16	28	15.211	0.152	30.098	10.986	2.01	85.64	8,759.05	4.71	48.20	49.96
	22/08/16	19/09/16	28	15.167	0.152	30.186	11.263	2.07	91.37	9,345.10	5.06	51.72	
D25 T4	22/08/16	29/08/16	7	15.159	0.152	30.215	11.253	2.06	43.02	4,399.98	2.38	24.38	26.93
	22/08/16	29/08/16	7	15.215	0.152	30.415	11.325	2.05	52.34	5,358.54	2.88	29.47	
D25 T4	22/08/16	05/09/16	14	15.443	0.154	20.584	11.025	2.86	68.24	6,993.34	3.64	37.34	36.20
	22/08/16	05/09/16	14	15.172	0.152	30.497	11.099	2.01	61.85	6,338.48	3.42	35.06	
D25 T4	22/08/16	19/09/16	28	15.214	0.152	30.265	11.145	2.03	75.29	7,715.83	4.14	42.44	40.70
	22/08/16	19/09/16	28	15.235	0.152	30.459	10.985	1.98	69.28	7,099.92	3.80	38.95	

huso
#4

5.5. Variación del Coeficiente de Permeabilidad en el concreto poroso

En este título se muestra el análisis de los resultados de coeficiente de permeabilidad, en donde compararemos el coeficiente de permeabilidad en función del huso granulométrico del agregado.

5.5.1. Coeficiente de Permeabilidad en el Agregado

Notamos en la tabla 5.7 que el huso granulométrico #06 tiene un mejor comportamiento ya muestra mejor permeabilidad que las mezclas diseñadas con el huso granulométrico #08. Ya que la variación está entre 12 a 16% entre husos granulométricos en el coeficiente de permeabilidad, y que entre el huso granulométrico #6 y el huso granulométrico #4 no existe mucha diferencia de porcentajes, es por eso que mostramos en el gráfico 5.14 una curva promedio del coeficiente de permeabilidad con respecto al porcentaje de vacíos para las mezclas diseñadas con el agregado angular.

Figura 5. 17 Comparación de resistencias a compresión a los 28 días de edad del concreto poroso según el huso granulométrico utilizado.



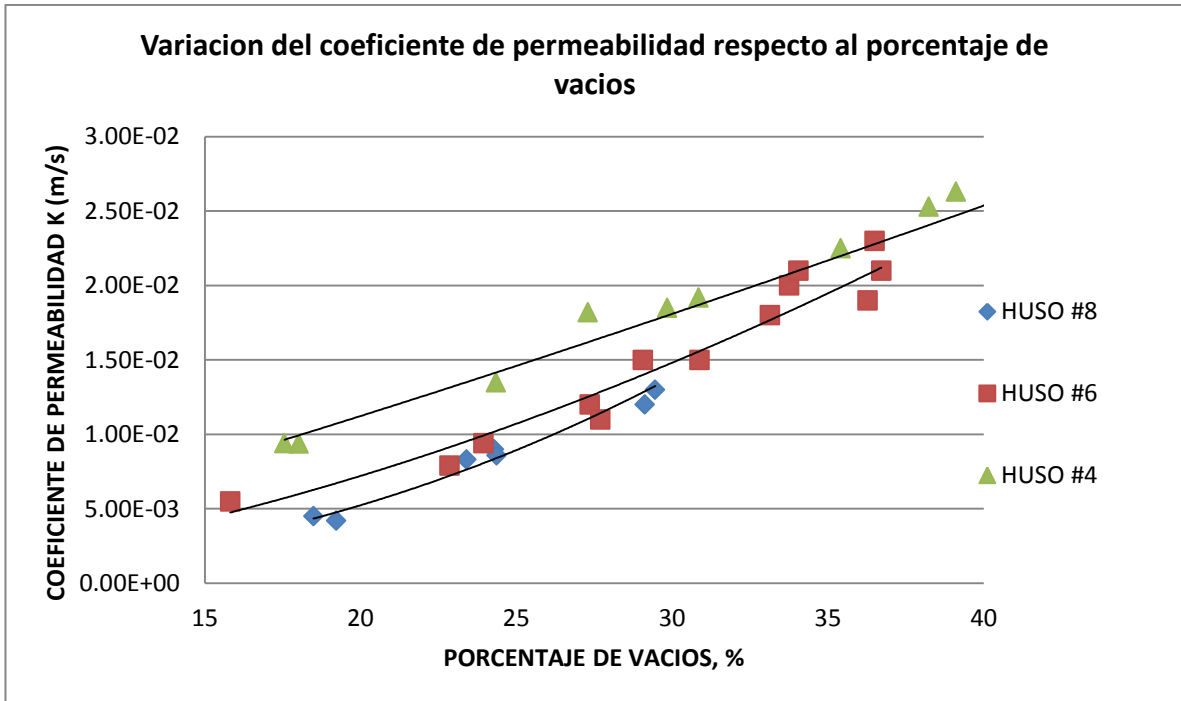
Fuente: Ensayo de laboratorio

Tabla 5. 8 Resultados del coeficiente de permeabilidad de mezclas elaboradas con agregado.

Diseño	Porcentaje de Vacios (%)	Coeficiente de Permeabilidad, K (cm/s)	Coeficiente de Permeabilidad, k(m/s)	Coeficiente de Permeabilidad, k(in/min)
HUSO #8	18.49	4.50E-01	4.50E-03	10.63
	19.22	4.20E-01	4.20E-03	9.92
	23.4	8.30E-01	8.30E-03	19.61
	24.29	9.00E-01	9.00E-03	21.26
	24.37	8.60E-01	8.60E-03	20.31
	29.13	1.20E+00	1.20E-02	28.35
	29.46	1.30E+00	1.30E-02	30.71
HUSO #6	15.82	5.50E-01	5.50E-03	12.99
	22.86	7.90E-01	7.90E-03	18.66
	23.95	9.40E-01	9.40E-03	22.20
	27.36	1.20E+00	1.20E-02	28.35
	27.7	1.10E+00	1.10E-02	25.98
	29.07	1.50E+00	1.50E-02	35.43
	30.88	1.50E+00	1.50E-02	35.43
	33.14	1.80E+00	1.80E-02	42.52
	33.76	2.00E+00	2.00E-02	47.24
	34.06	2.10E+00	2.10E-02	49.61
	36.28	1.90E+00	1.90E-02	44.88
	36.50	2.30E+00	2.30E-02	54.33
36.72	2.10E+00	2.10E-02	49.61	
HUSO #4	18.02	9.38E-01	9.38E-03	22.16
	17.56	9.40E-01	9.40E-03	22.20
	24.35	1.35E+00	1.35E-02	31.89
	27.3	1.82E+00	1.82E-02	42.99
	29.85	1.85E+00	1.85E-02	43.70
	30.85	1.92E+00	1.92E-02	45.35
	35.42	2.25E+00	2.25E-02	53.15
	38.24	2.53E+00	2.53E-02	59.76
	39.12	2.63E+00	2.63E-02	62.13
45.78	2.49E+00	2.49E-02	58.82	

Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 18 Comparación de coeficientes de permeabilidad entre husos granulométricos 04, 06 y 08 de las mezclas con agregado



5.6. Resistencia a la colmatación

Se recuerda que las muestras ensayadas tienen una superficie libre para la infiltración de agua y todas las muestras cuentan con la misma estructura, el concreto poroso mantiene el mismo espesor, las intensidades de los aguaceros simulados de treinta minutos fueron entre 150 y 200 mm/h de mayor frecuencia se y la escorrentía es medida con la cantidad de agua en litros en un determinado tiempo obteniendo el rango de 150-200 mm/h.

5.6.1 Resistencia a la colmatación de finos en función de cantidad de Agua almacenada.

En una primera instancia se evaluara las muestras por la cantidad de agua infiltrada en cada cámara ubicada en la parte inferior y la cantidad de agua almacenada como parte de la escorrentía superficial residual en la cámara 6.

El Pavimento de concreto poroso, serán ensayados como muestras cuadradas a diferentes pendientes sometidas a un simulador de lluvia y a una escorrentía superficial, como

resultado tenemos el almacenamiento de agua infiltrada en cámaras del 01 al 05 y el almacenamiento de la escorrentía superficial depositada en la cámara 06.

A continuación evaluamos cada una de las muestras en los diferentes estados de acuerdo a la cantidad de agua infiltrada y almacenada en cada una de las cámaras del 01 al 05 y además se evalúa el porcentaje de escorrentía residual acumulada en cada una de las pendientes aplicadas a la muestra.

Tabla 5. 9 Tabla de resistencia de colmatación

Estado de la muestra	Cantidad de sedimento (kg/cm ²)	Pendientes evaluadas de la muestra (%)
Superficie Recien Colocada	0	0,2,4,6,10
Superficie Colmatada al maximo	6	0,2,4,6,10
Superficie Colmatada al maximo con mantenimiento	B-PA	0,2,4,6,10

5.6.1.1 Superficie recién Colocada

La condición de superficie recién colocada viene a ser la muestra seca después del vaciado, con aproximadamente 2 días de curado como mínimo las muestras son colocadas, niveladas se les prepara según la distribución de las tuberías que simulan la lluvia y la escorrentía.

El pavimento permeable de concreto poroso con agregado de la cantera registra un comportamiento gradual porque la pendiente de la curva se mantiene constante desde la cámara 01 hasta la cámara 04, en cada inclinación o pendiente que adquiere la muestra, en la cámara 05 la pendiente de la curva cambia, debido a la variación del porcentaje de agua infiltrada, la cámara 05 muestra que la variación del porcentaje de infiltración en la muestra con 0% de pendiente es menor que la muestra que tiene 10% de pendiente, porque el recorrido del agua es diferente, se observa que, cuando la muestra se encuentra inclinada el agua realiza un mayor recorrido interno, en cambio cuando la muestra tiene 0% de

inclinación el agua realiza un recorrido en forma perpendicular a la superficie por lo tanto un recorrido menor. En cuanto a la escorrentía superficial residual la cámara 06 almacena menos del 1% del agua infiltrada en las pendientes del 0% al 6% sin embargo en la pendiente de 10% se tiene el máximo almacenamiento de agua con 2.77% de agua infiltrada.

Tabla 5. 10 Superficie recién colodada con pendiente 0

PENDIENTE 0

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL POR CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
1.000	7.5	14.51	14.51
2.000	9.8	18.96	33.46
3.000	15.4	29.79	63.25
4.000	10.6	20.50	83.75
5.000	8.4	16.25	100.00
6.000			
volumen total	51.7	100.00	

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 5. 11 Superficie recién colodada con pendiente 2

PENDIENTE 2

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	7.1	13.73	13.73
R2	9.5	18.38	32.11
R3	10.48	20.27	52.38
R4	11.67	22.57	74.95
R5	12.86	24.87	99.83
R6	0.09	0.16	
volumen total	51.7	99.99	

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 5. 12 Superficie recién colodada con pendiente 4

PENDIENTE 4

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	5.15	9.96	9.96
R2	7.73	14.95	24.91
R3	11.64	22.51	47.43
R4	13.28	25.69	73.11
R5	13.68	26.46	99.57
R6	0.22	0.43	100.00
volumen total	51.70	100.00	

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 5. 13 Superficie recién colodada con pendiente 6

PENDIENTE 6

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	4.95	9.57	9.57
R2	6.55	12.67	22.24
R3	10.52	20.35	42.59
R4	13.45	26.02	68.61
R5	15.35	29.69	98.30
R6	0.88	1.70	100.00
volumen total	51.70	100.00	

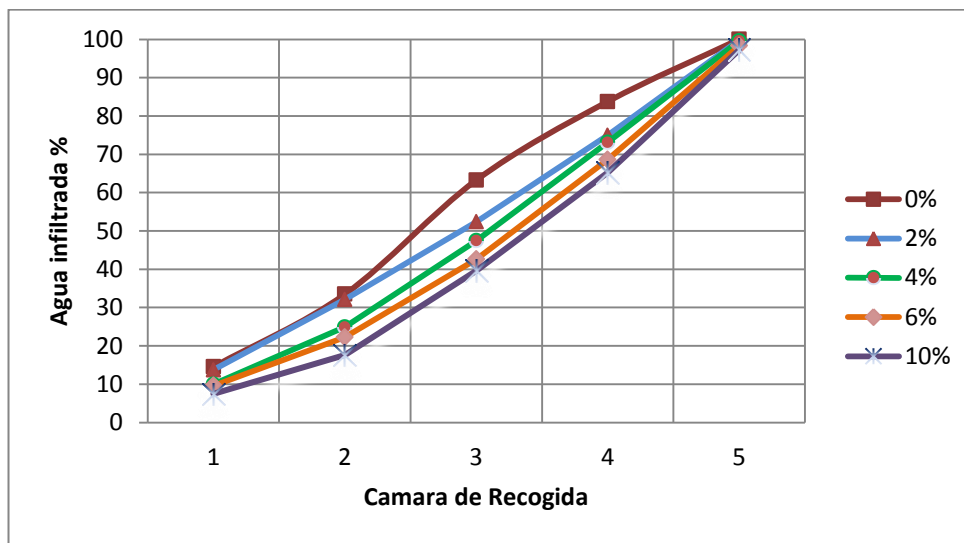
Fuente: Elaboracion propia

Tabla 5. 14 Superficie recién colodada con pendiente 10

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	3.85	7.45	7.45
R2	5.23	10.12	17.56
R3	11.39	22.03	39.59
R4	13.24	25.61	65.20
R5	16.56	32.03	97.23
R6	1.43	2.77	100.00
volumen total	51.70	100	

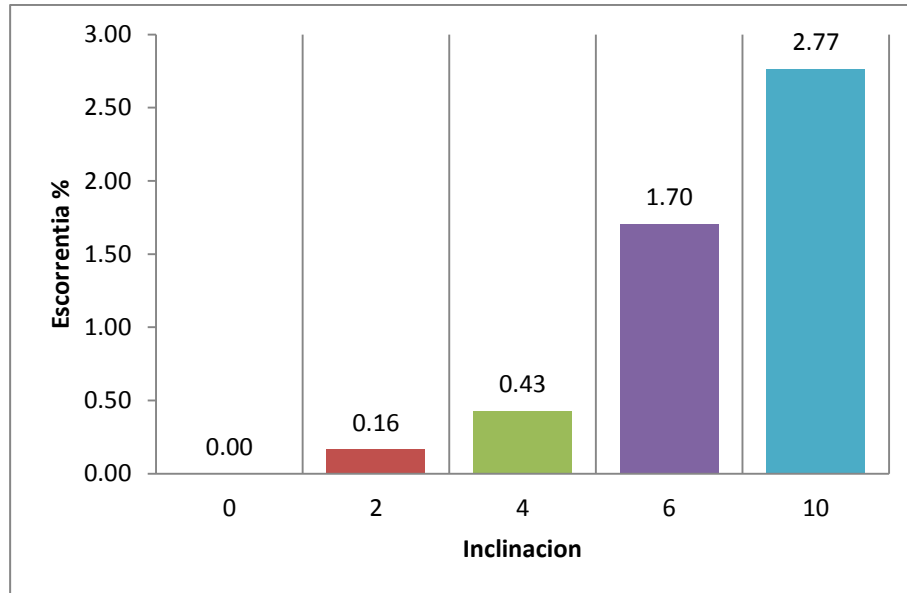
Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 19 Porcentaje acumulado de agua infiltrada en las cámaras de almacenamiento correspondiente al Pavimento de Concreto Poroso con agregado en la muestra recién colocada



Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 20 Escorrentía superficial residual almacenada del Pavimento de Concreto Poroso con Agregado en la muestra recién colocada



Fuente: Elaboracion propia

5.6.1.2 Superficie Colmatada al Máximo

La característica de superficie semi colmatada al máximo corresponde a la superficie que contiene un carga de sedimento de 6kg/m² es decir se llega a los 1500 gr aproximadamente en la superficie, se observa que el porcentaje de infiltración es mayor cuando se tiene la muestra a 0% de inclinación lo que no sucede cuando tiene inclinación desde 2% a 10%, donde el agua opta por recorrer la superficie sin almacenarse y se almacena como escorrentía residual.

La figura representa al concreto con agregado de la cantera, se aprecia una cercanía entre las curvas que representan al 6% y 10% de pendiente en las cámaras del 01 al 02 y algo distante en la cámara 03, en lo demás se muestra que la pendiente y la infiltración guardan relación por el paralelismo entre las curvas y por la tendencia a una recta en el caso de la muestra con 0% y 2% de pendiente, en la cámara 05 se vuelve nuevamente a marca diferencia de esta manera las pendiente de 4 6 y 10 se incrementen en el último tramo y las de 0% y 2% se mantienen como en la cámara anterior, pero en todas las pendientes el agua no llega a

infiltrarse al 100% en la estructura de esta manera los valores de la escorrentía residual están de 28.03 % a 58.10% desde 0% y 10% de pendiente respectivamente, la diferencia es de 18.43% entre las pendientes en una muestra colmatada al máximo.

En resumen la muestra colmatada al máximo con agregado tiene 41.80%, como máximo porcentaje de agua residual almacenada.

Tabla 5. 15 Superficie Colmatada al Máximo con pendiente 0

PENDIENTE 0

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL POR CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
1.000	5.36	10.37	10.37
2.000	7.24	14.00	24.37
3.000	8.67	16.77	41.14
4.000	9.36	18.10	59.25
5.000	6.58	12.73	71.97
6.000	14.49	28.03	
volumen total	51.7	100.00	

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 5. 16 Superficie Colmatada al Máximo con pendiente 2

PENDIENTE 2

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	5.28	10.21	10.21
R2	6.57	12.71	22.92
R3	7.26	14.04	36.96
R4	7.33	14.18	51.14
R5	8.52	16.48	67.62
R6	16.74	32.38	
volumen total	51.70	100.00	

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 5. 17 Superficie Colmatada al Máximo con pendiente 4

PENDIENTE 4

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	3.25	6.29	6.29
R2	5.20	10.06	16.34
R3	6.32	12.22	28.57
R4	6.74	13.04	41.61
R5	7.84	15.16	56.77
R6	22.35	43.23	100.00
volumen total	51.70	100.00	

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 5. 18 Superficie Colmatada al Máximo con pendiente 6

PENDIENTE 6

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	2.8	5.42	5.42
R2	4.26	8.24	13.66
R3	5.36	10.37	24.02
R4	5.45	10.54	34.56
R5	6.53	12.63	47.20
R6	27.30	52.80	100.00
volumen total	51.70	100.00	

Fuente: Elaboracion propia

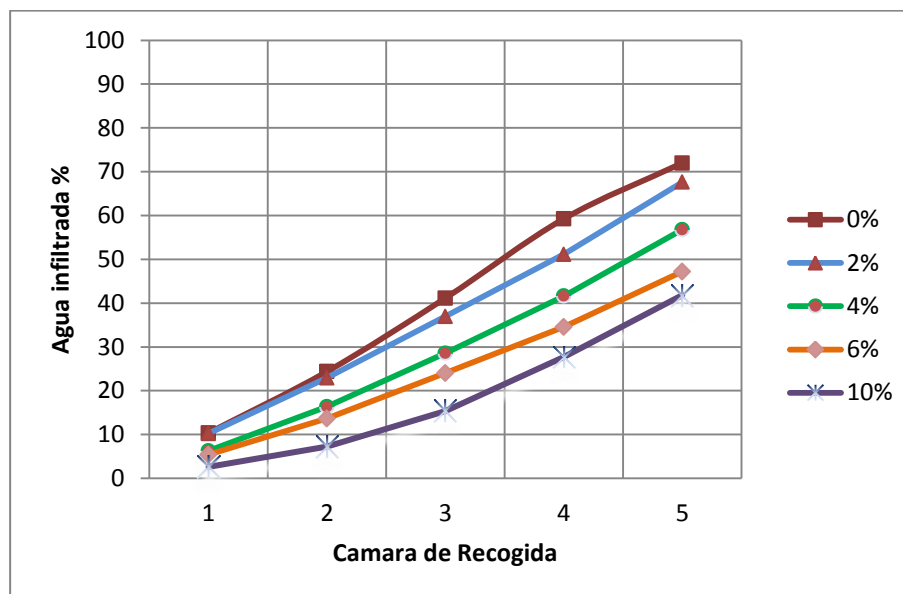
Tabla 5. 19 Superficie Colmatada al Máximo con pendiente 10

PENDIENTE 10

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	1.35	2.61	2.61
R2	2.38	4.60	7.21
R3	4.21	8.14	15.36
R4	6.38	12.34	27.70
R5	7.29	14.10	41.80
R6	30.09	58.20	100.00
volumen total	51.70	100.00	

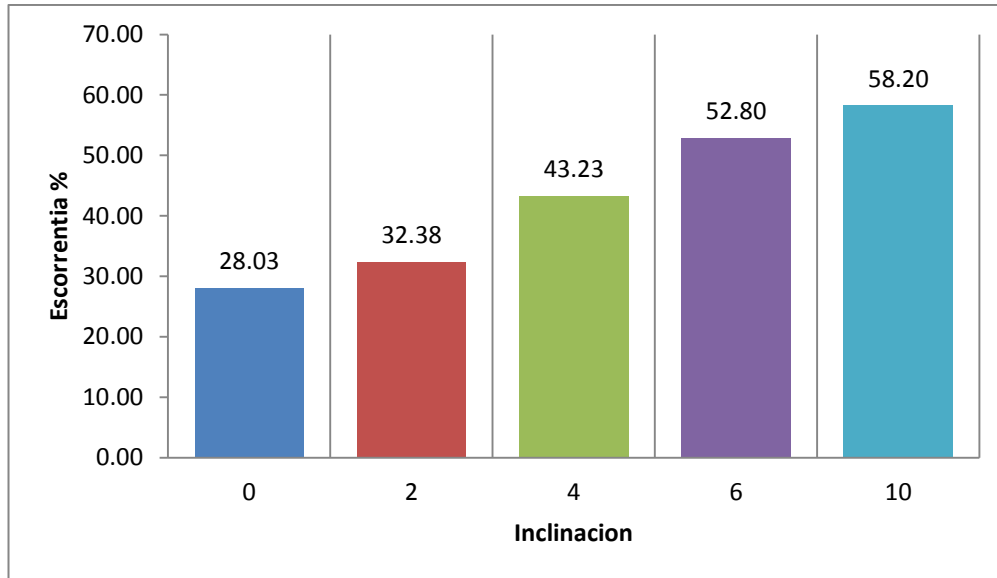
Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 21 Porcentaje acumulado de agua infiltrada en las cámaras de almacenamiento correspondiente al Pavimento de concreto poroso con agregado en la muestra recién colmatada al máximo.



Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 22 Escorrentía superficial residual almacenada del Pavimento de Concreto Poroso con Agregado en la muestra recién colmatada al maximo



Fuente: Elaboracion propia

5.6.1.3 Superficie Colmatada al Máximo con Mantenimiento

La superficie colmatada al maximo con mantenimiento permite evaluar la muestra frente a una condicion externa necesaria como es el mantenimiento, se realiza por medio de un barrido tradicional como si se tratase de una vereda donde se usa el concreto convencional y adicionalmente se considera la presion de agua como el caso de riego o limpieza de en un estacionamiento, evaluamos todas las muestras a las mismas condiciones para conocer el comportamiento.

La cantidad de agua infiltrada, se mantiene constante desde la camara 02 hasta la 04, llegando al 100% en la cámara 05 y de las muestras con inclinaciones desde 0% hasta 4%, la muestra con pendiente de 6% y 10% tiene un incremento en la cantidad de agua acumulada, los resultados de la escorrentia superficial estan por debajo del 1% en las inclinaciones desde 0% hasta 4%, en 6% el porcentaje de escorrentia crece hasta el 1.90 % y el valor máximo del porcentaje de infiltracion es de 4.95% cuando la muestra tiene 10% de inclinacion.

Tabla 5. 20 Superficie Colmatada al Máximo con Mantenimiento con pendiente 0

PENDIENTE 0

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL POR CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
1.000	9.3	17.99	17.99
2.000	10.2	19.73	37.72
3.000	11.5	22.24	59.96
4.000	10.35	20.02	79.98
5.000	10.35	20.02	100.00
6.000			
volumen total	51.7	100.00	

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 5. 21 Superficie Colmatada al Máximo con Mantenimiento con pendiente 2

PENDIENTE 0

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL POR CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
1.000	9.3	17.99	17.99
2.000	10.2	19.73	37.72
3.000	11.5	22.24	59.96
4.000	10.35	20.02	79.98
5.000	10.35	20.02	100.00
6.000			
volumen total	51.7	100.00	

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 5. 22 Superficie Colmatada al Máximo con Mantenimiento con pendiente 4

PENDIENTE 4

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	6.15	11.90	11.90
R2	7.73	14.95	26.85
R3	11.3	21.86	48.70
R4	12.7	24.56	73.27
R5	13.4	25.92	99.19
R6	0.42	0.81	100.00
volumen total	51.70	100.00	

Fuente: Elaboracion propia

Tabla 5. 23 Superficie Colmatada al Máximo con Mantenimiento con pendiente 6

PENDIENTE 6

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	6.34	12.26	12.26
R2	7.20	13.93	26.19
R3	10.28	19.88	46.07
R4	12.55	24.27	70.35
R5	14.35	27.76	98.10
R6	0.98	1.90	100.00
volumen total	51.70	100.00	

Fuente: Elaboracion propia

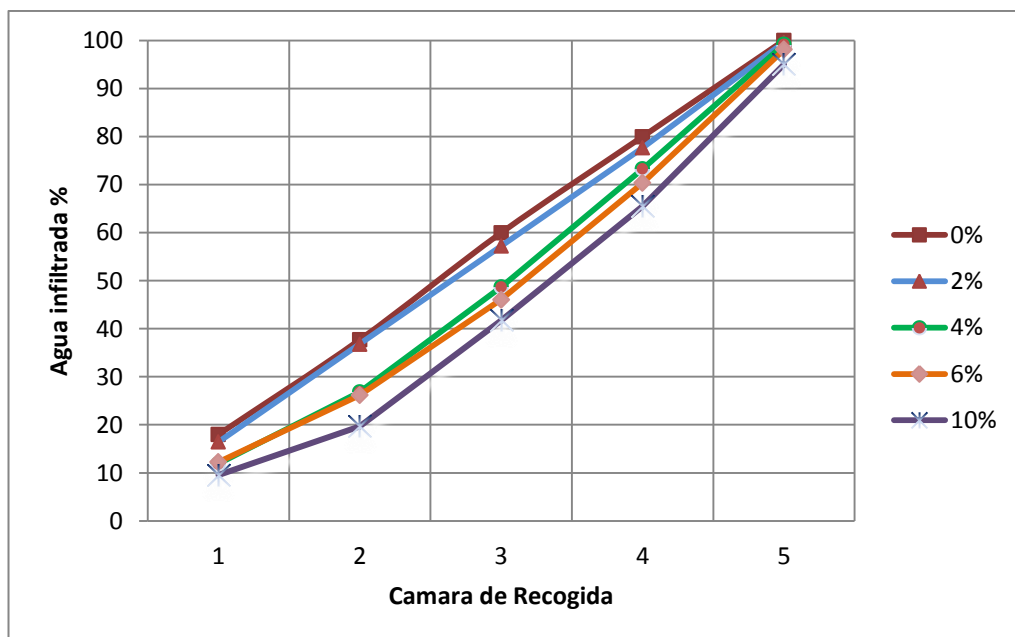
Tabla 5. 24 Superficie Colmatada al Máximo con Mantenimiento con pendiente 10

PENDIENTE 10

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	4.95	9.57	9.57
R2	5.25	10.15	19.73
R3	11.4	22.05	41.78
R4	12.27	23.73	65.51
R5	15.27	29.54	95.05
R6	2.56	4.95	100.00
volumen total	51.70	100.00	

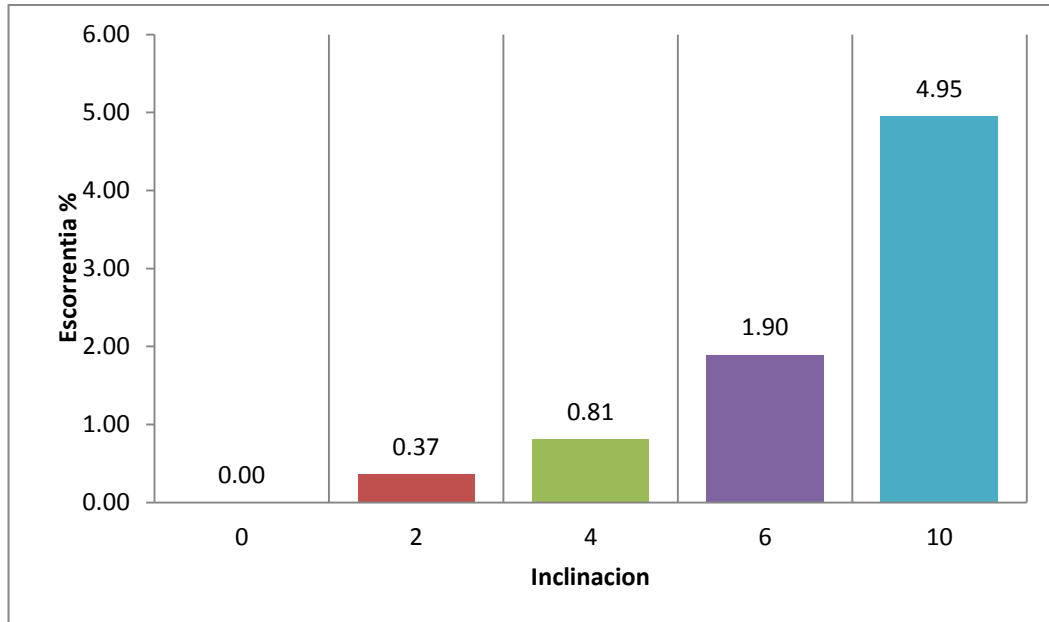
Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 23 Porcentaje acumulado de agua infiltrada en las cámaras de almacenamiento correspondiente al Pavimento de Concreto Poroso con agregado en la muestra recién colmatada al máximo con mantenimiento



Fuente: Elaboracion propia

Figura 5. 24 Escorrentía superficial residual almacenada del Pavimento de Concreto Poroso con Agregado en la muestra recién colmadata al máximo con mantenimiento.



Fuente: Elaboracion propia

Capítulo 6

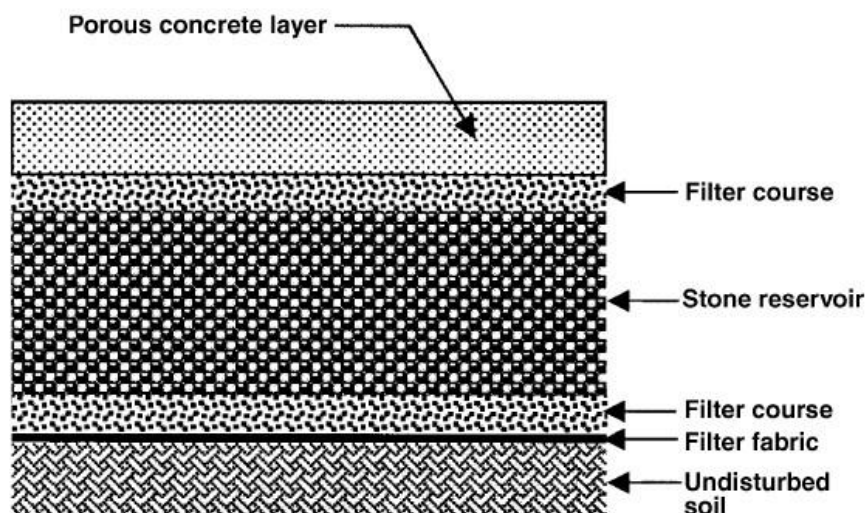
Diseño De Pavimento Permeable

6.1 Diseño De Pavimento

Los pavimento permeables de concreto son un tipo especial de pavimento que a diferencia del pavimento convencional rígido no solo cumple un función estructural, también debe controlar la escorrentía superficial y para eso tiene un estructura muy especial que está compuesta por varias capas permeables.

Para el diseño de toda la estructura del pavimento seguiremos la recomendaciones de la Asociación de Concretos & Productos de Florida (FCPA) y la Comisión Regional de Atlanta (ARC) que da recomendaciones para el diseño de sistemas de pavimentos permeables en la Fig.6.1 se muestras un ejemplo esquemático de un sistema de pavimento permeable publicado en el Manual de Administración de Agua Pluviales de Georgia.

Figura 6. 1 Sistema de pavimento permeable.



Recomendaciones de la Florida Concrete & Products Association (FCPA) para el manejo de las aguas pluviales:

- El pavimento debe ser el primero en almacenar 1/2" in (13 mm) de escurrimiento sin tratar y recuperar ese volumen dentro de un periodo de 72 horas después de una tormenta
- El pavimento en una primera lluvia debe ser capaz de almacenar el 80% de la esorrentía de un intensidad para un periodo de diseño de 3 años en 1 hora

El volumen de almacenamiento requerido V_r en el pavimento permeable puede ser calculado como:

$$V_r = \text{precipitación}(mm) \times A \times 1/1000 \frac{(m)}{(mm)}$$

para una precipitación de $\frac{1}{2}$ (in) ó 13(mm)

$$V_r = \frac{13(mm) \times A \times 1(m)}{1000(mm)} = 0.013A(m^3)$$

Dónde:

V_r = Volumen de almacenamiento requerido, m^3

A = Área de almacenamiento (m^2)

The Florida Concrete & Products Association (FCPA), sugiere que la capacidad de almacenamiento de un pavimento permeable en un sistema de suelos arenosos de la subrasante debe incluir el espacio vacío del suelo por encima de la capa freática en la estación más alta.

Cualquier volumen de almacenamiento se puede calcular de la siguiente forma:

$$V_p = A \times d_1 \times \frac{P_1}{100}$$

$$V_s = A \times d_2 \times \frac{P_2}{100}$$

Dónde:

V_p : Volumen de almacenamiento disponible en el pavimento, m^3

V_s : Volumen de almacenamiento disponible en la subrasante, m^3

- A : Área del pavimento, m²
- d_1 : Espesor del pavimento, m
- d_2 : Espesor de la sub-base
- p_1 : Porcentaje de vacíos del pavimento, %
- p_2 : Porcentaje de vacíos en la sub-base, %.

Al completar el cálculo de la cantidad de agua requerida, el volumen de almacenamiento V_r y deduciendo el volumen de la sub base y volumen de almacenamiento disponible en el pavimento V_p , la diferencia será negativa si se reúnen todos los requisitos o positivo si es que se requiere almacenamiento adicional. Una sub-base granular tal como #57 ASTM con un 30% de vacíos puede proporcionar almacenamiento adicional, el área por encima del pavimento también está disponible para el almacenamiento, el diseñador debe considerar cuando aplique esta técnica de diseño que el nivel de agua puede estar por encima del nivel del pavimento en un evento extremo, por eso el nivel del pavimento debe ser inferior al piso de las edificaciones adyacentes para evitar inundaciones.

6.2. Parámetros de diseño

Para poder diseñar un pavimento permeable de concreto primeramente se tiene que conocer la escorrentía superficial y se puede calcular por los siguientes métodos:

- Método Racional
- Método del número de curva (SCS)

También, se considera la absorción, evaporación, intensidad de la lluvia y la duración de la Tormenta.

Método Racional

Este método es aceptado para el cálculo de la escorrentía en los pavimentos permeables porque área o cuenca que se trabajan con los sistemas permeables son pequeñas y este método se ajusta muy bien a este sistema.

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Dónde:

C : Caudal máximo, m³/s

I : Intensidad máxima de la lluvia, para una duración y tiempo de retorno determinado.

A : Área de la cuenca, has

Los coeficientes de escorrentía C está en función al tipo de terreno y la pendiente de la zona.

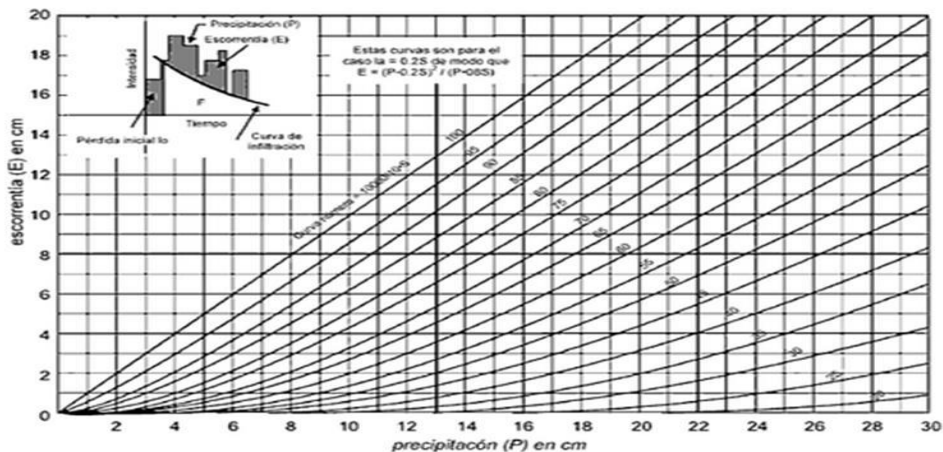
Los valores típicos de C está en 0.05 para un césped plano en un suelo arenoso y 0.95 para un inclinado, para un pavimento permeable se han asignado coeficiente racionales que van desde 0.65 hasta 0.95

Método del número de curva (SCS)

Este método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos.

El nombre del método deriva de una serie de curvas, cada una de ellas el número N, que varía de 1 a 100. Un número N=100, indica que toda la lluvia escurre y un número de N=1, indica de toda la lluvia se infiltra; por lo que los números de curvas representan coeficientes de escorrentía.

Figura 6. 2 Cálculo de la escorrentía en función de la precipitación y el número de curva N.



Con el método de SCS, los suelos se clasifican en grupos de suelos hidrológicos (HSG) para indicar el rango mínimo de infiltración obtenido para un suelo descubierto después de una humectación prolongada, los HSGs ,A; B y D son unos de los elementos usados para la determinación de los números de curvas para la escorrentía, los suelos tipo A tienen la mayor permeabilidad según la denominación la permeabilidad va disminuyendo en B, C y D, esta designación del suelo en combinación con el terreno, se identifica con número de curva (CN), el valor del CN indicara al diseñador la curva de referencia para determinar la escorrentía y el volumen de la precipitación dada, este método es comúnmente más utilizado para generar un hidrograma completo en el lugar y no solo la estimación de los caudales máximos.

Los pavimentos permeables de concreto se les ha asignado CNs que van de 60 a 95, una vez más el tipo de suelo y subsuelo conjuntamente con el grado de compactación tienen influencia en el CN y por lo tanto en las propiedades de drenaje del sistema.

Criterios y especificaciones de diseño de los pavimentos permeables de concreto

La sección transversal se hace referencia en el documento ARC típicamente consta de cuatro capas como se muestra en la figura 6.1 el reservorio de agregados puede ser algunas veces evitado o minimizado si la sub base es de arena da el tiempo necesario para infiltrar el volumen de escurrimiento.

La descripción de cada una de las capas se muestra a continuación

- **Capa de Concreto Permeable:** Esta capa contiene a el concreto permeable con un espesor de 4 in a 12 in (100 a 300mm), dependiendo de la capacidad portante requerida y los requisitos de diseño del pavimento, el concreto permeable contiene un 12 a 35% de vacíos (porosidad=0.12 a 0.35) para los propósitos de diseño, así por ejemplo una capa de concreto permeable 4 in (100mm) con un 18% de vacíos puede soportar 0.72 in (18mm) de lluvia.

- **Capa Filtro Superior:** Consiste de una capa de piedra triturada de ½ in (13mm) con un espesor de 1 a 2 in (25 a 50mm) esta capa puede ser combinada con el reservorio de piedra.
- **Capa de Reservorio:** El reservorio de grava consiste de una grava limpia de 1 ½ a 2 ½ in (38 a 64mm) de diámetro con un porcentaje de vacíos del 40% aproximadamente, la profundidad de esta capa depende del volumen de almacenamiento deseado, que está en función de la velocidad de infiltración del suelo y espacios vacíos, pero típicamente varía de 2 a 4 ft (0.61 a 1.2m). la capa debe tener un mínimo de 9 in (230mm), la capa debe ser diseñada para que sea drenada en 48 horas, la capa de diseño debe estar diseñada para almacenar el volumen de agua suministrada como mínimo WQV. Agregado contaminado con tierra no debe ser utilizado; un valor de porosidad de 0.32 debe ser utilizado en los cálculos si no existe datos específicos.
- **Capa de Filtro Inferior:** El filtro de la sub-rasante debe ser una capa de 6 in (15mm) de arena o una capa 2 in (50mm) de piedra triturada de ½ in (13mm) y debe estar en toda la base para permitir la infiltración a través de toda la superficie, esta capa sirve para estabilizar la capa de reservorio, protege al suelo de compactación y actúa como interface entre la capa de reservorio y el filtro de tela que cubre la sub-rasante.
- **Filtro de Tela:** Es importante cubrir toda el área del pavimento incluyendo los lados con filtro de tela antes de la colocación del agregado, el filtro cumple una importante función evita que el suelo fino migre hacia al reservorio reduciendo la capacidad de almacenamiento.

Para el sistema antes mencionado, el ARC recomienda que el sistema permeable de concreto no deba usarse en pendientes mayores que 5% y con pendientes menores a 2% si es

recomendado. Para pendientes mayores a 1% es necesario colocar barreras perpendiculares a la dirección del drenaje o colocar filtros de tela en la sub-rasante para evitar que se lave los finos y migre hacia el agregado y reduzca la porosidad.

Los sistema de pavimentos concreto permeables deben estar situado a 10 ft (3m) pendiente debajo de los edificios y a 100 ft (30m) de distancia de los pozos de agua potable. Para el control de tratamiento, el volumen de diseño debe ser como mínimo igual al volumen de agua suministrada, el volumen de almacenamiento está contenido en la capa superficial, el reservorio de agregado y la sub-base por encima del nivel freático de la temporada más alta; la duración de la tormenta (tiempo de llenado) es normalmente corto en comparación con la tasa de infiltración del suelo de la sub rasante, el volumen de almacenamiento es igual al porcentaje de vacíos de la capa. Alternativamente el almacenamiento puede ser creado a través de un estancamiento temporal de agua en la superficie.

6.3. Diseño de la carpeta de concreto

El diseño del espesor de la capa de concreto es determinado por las necesidades estructurales para lo cual utilizaremos es método de la PCA, el ejemplo de diseño que realizaremos es un estacionamiento de un centro comercial que cuenta con la siguiente información:

- Transito Promedio Diario (T.P.D) : 1696 vehículos (Tabla 6.1)
- Porcentaje de camiones : 1%
- Periodo de diseño : 15 años
- Carril exclusivo de ingreso : 1
- Factor de crecimiento : 1
- Coeficiente de reacción K : 8 Kg/cm³
- Borde del pavimento : Acotado (Berma de concreto)

6.3.1. Análisis de tráfico

El análisis de tráfico vehicular o tránsito vehicular corresponde al estudio del flujo de vehículos en una vía, para el diseño de pavimentos se tiene como finalidad la evaluación de la cantidad y tipo de vehículos que circularan en la vía, además de la intensidad de carga sobre los ejes.

El estacionamiento elegido para el desarrollo de nuestro diseño cuenta con presencia de vehículos livianos como son las camionetas, autos, pick up, y considerando algunos de carga pesada como son los vehículos recicladores de basura y los abastecedores de productos de los comercios.

Figura 6. 3 Jr belloido.



Tabla 6. 1 Aforo vehicular de estacionamiento de centro comercial de 400 estacionamientos

Tipo de vehiculo	TRAFICO DIARIO						
	14-nov	15-nov	16-nov	17-nov	18-nov	19-nov	20-nov
Autos	662	1012	683	937	949	1087	1129
Camionetas	431	658	444	609	617	707	734
Camiones C1 -2	2	3	2	2	2	3	3
T,D	1095	163	1129	1549	1569	1797	1866
T.P.D	1,525						

Cálculo de Tránsito Pesado Promedio (T.P.P)

$$T.P.P = T.P.D \times T \times D \times L \times G \times Y \times 365$$

Dónde:

T.P.D : Transito promedio diario

T : Porcentaje de camiones

D : Factor de direccionalidad

L : Factor Carril

G : Factor de crecimiento

Y : Periodo de diseño

$$T.P.P = 1696 \times 0.01 \times 1 \times 1 \times 1 \times 15 \times 365$$

$$T.P.P = 92856 \text{ Camiones}$$

Tabla 6. 2 Distribucion de transito de ejes cargados

Carga por eje (ton)	Ejes por cada 1000 camiones	Ejes por cada 1000 camiones (ajustados)	Ejes en el periodo de diseño
Ejes sencillos			
< - 5	998	666,658	5,55,595
6, -7	1.51	1,009	8,422
Ejes dobles			
17-18	1.51	1,009	8,422

6.3.2. Resistencia de concreto poroso

La resistencia del concreto permeable será determinado en función a la velocidad de infiltración y esta hallado en función a la intensidad de lluvia que soporte el lugar en donde se colocara el pavimento permeables, para el ejemplo que estamos realizando contamos con los siguientes datos:

- Intensidad de lluvia estación huamanga: 45mm/h

Para eliminar la escorrentía superficial, la capacidad de infiltración del pavimento permeable tiene que ser mayor a la intensidad de lluvia o precipitación, entonces

$$f_p \geq I$$

Dónde:

f_p : Capacidad de infiltración, mm/h

I : Intensidad de lluvia, mm/h

Para el cálculo de la velocidad de infiltración del concreto permeables se hace uso de las siguientes ecuaciones.

$$f_p = e \times V_p$$

Dónde:

e : Eficiencia del pavimento permeable

V_p : Velocidad de infiltración

Entonces:

Tabla 6. 3 Porcentaje de infiltracion de agua respecto a la pendiente

Porcentaje de infiltración de agua respecto a la pendiente de la muestra y cantidad de sedimento					
Agregado Empleado		Pendiente	Recien colocado (%)	Colmatado al maximo (%)	Colmatado al maximo con mantenimiento (%)
Forma	Cantera				
Angular	Frankeka	0	100	71.97	100
		2	99.83	67.62	99.63
		4	99.57	56.77	99.19
		6	98.3	47.2	98.10
		10	97.23	41.8	95.05

Para el desarrollo del ejemplo inicialmente se tiene que hallar la capacidad de infiltración el cual es directamente proporcional con el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable, el cual está relacionado con el porcentaje de vacíos y una vez conocido

el porcentaje de vacíos podremos determinar la resistencia a compresión del concreto para el cálculo del espesor del pavimento.

Para el ejemplo que estamos desarrollando consideraremos: $e : 95 \% \quad i: 01$

$$e \times V_p > I$$

$$0.95 \times K \times 1 > 45 \frac{mm}{h}$$

$$K > 47.4 \frac{mm}{h}$$

$$K > 1.31 \times 10^{-3} \frac{cm}{s}$$

Para el cálculo del coeficiente de permeabilidad haremos uso de la ecuación obtenida de los ensayos de permeabilidad realizados donde:

$$K > 5 \times 10^{-6} \times 5 \times U^{2.3004}$$

Dónde:

U : Porcentaje de vacíos del concreto poroso, %

Entonces,

$$U = \left(\frac{K}{5 \times 10^{-6}} \right)^{\frac{1}{2.3004}}$$

$$K = 1.31 \times 10^{-3} \frac{cm}{s}$$

$$U=11.25$$

Como los pavimentos permeables se encuentran entre 15-30% por ciento de vacíos asumimos un 15% de vacíos además para no tener problemas de colmatación con finos.

6.4. Dimensionamiento de la rasante

Para el cálculo del espesor de la losa utilizaremos el método de la Portland Cement Association (PCA) donde tenemos que considerar los siguientes factores de diseño:

- Resistencia a tensión del concreto
- Resistencia de la sub-rasante
- Los tipos, frecuencias y magnitudes de las cargas por eje esperados
- Periodo de diseño

6.4.1. Método de la Portland Cement Association (PCA)

El propósito de este método de diseño es el mismo de otras estructuras de ingeniería, es decir, hallar los espesores mínimos de pavimentos que se traduzcan en menores costos anuales.

Consideraciones básicas

Los procedimientos de diseños que brinda la PCA tienen en cuenta las siguientes condiciones.

- El grado de transferencia de carga proporcionado en las juntas transversales.
- El efecto de usar bermas de concreto, adyacentes al pavimento, las cuales reducen los esfuerzos de flexión y las deflexiones producidas por las cargas de los vehículos.

Criterios de diseño

- a) Fatiga, para proteger al pavimento contra la acción de los esfuerzos producidos por la acción repetida de las cargas.
- b) Erosión, para limitar los efectos de deflexión del pavimento en los bordes de las losas, juntas y esquinas y controlar la erosión de la fundación y de los materiales de la berma. Este criterio de erosión es necesario, puesto que algunas formas de falla del pavimento, tales como el bombeo, el desnivel de las losas y el deterioro de las bermas son independientes de la fatiga.

Siguiendo con el desarrollo del ejemplo planteado utilizaremos un plantilla propuesta por la PCA donde tendremos las siguientes consideraciones:

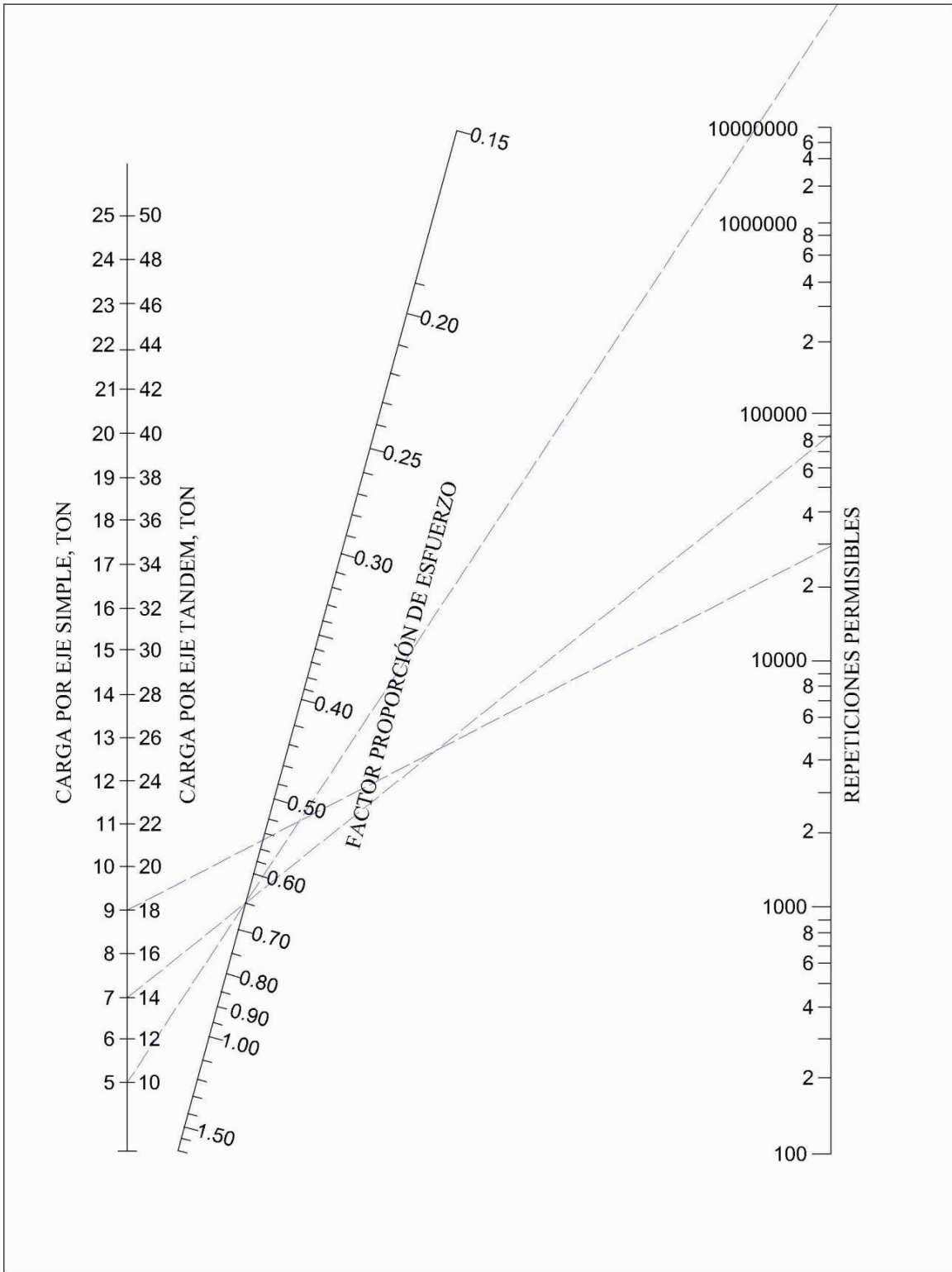
- Resistencia del concreto : 16.4 kg/cm²

- Resistencia de la Sub-rasante : 8 kg/cm³
- Juntas con pasadores : Si
- Periodo de diseño : 10 años para diseños experimentales
- Bermas de concreto : Si
- Trafico : Análisis de tráfico (sección 6.2.1)

Tabla 6. 4 Espesor del pavimento de la PCA

CÁLCULO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO-MÉTODO DE LA PCA						
Proyecto		Estacionamiento centro comercial				
Espesor de tanteo:	24	cm	Juntas con pasadores	No		
Sub-rasante (K)	8	Kg/cm ³	Berma de concreto	Si		
Resistencia a tensión	16.4	Kg/cm ²	Periodo de diseño	10 años		
Factor de seguridad de carga FSC	1.0					
		Análisis por fatiga			Análisis por erosión	
Carga por eje (ton)	Multiplicad o por FSC	Repeticiones esperadas	Repeticiones permisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones permisibles	Porcentaje de daño
Esfuerzo equivalente	10.5	Factor de erosión		2.37		
Factor de relación de esfuerzos	0.64					
Ejes sencillos						
<-5	5	5558595	+ 100 000 000	-	+ 100 000 000	-
6-7	7	8422	80000	11%	+ 100 000 000	-
Esfuerzo equivalente	9	Factor de erosión		2.48		
Factor de relación de esfuerzos	0.55					
Ejes dobles						
17-18	18	8422	30000	28%	+ 100 000 000	-
ΣSumatoria				39%		

Para los cálculos de los factores de equivalencia utilizaremos las tablas propuestas por la PCA para fatiga y erosión y para obtener el número de cargas permisibles por eje haremos uso de los nomogramas de las Fig para fatiga y erosión respectivamente



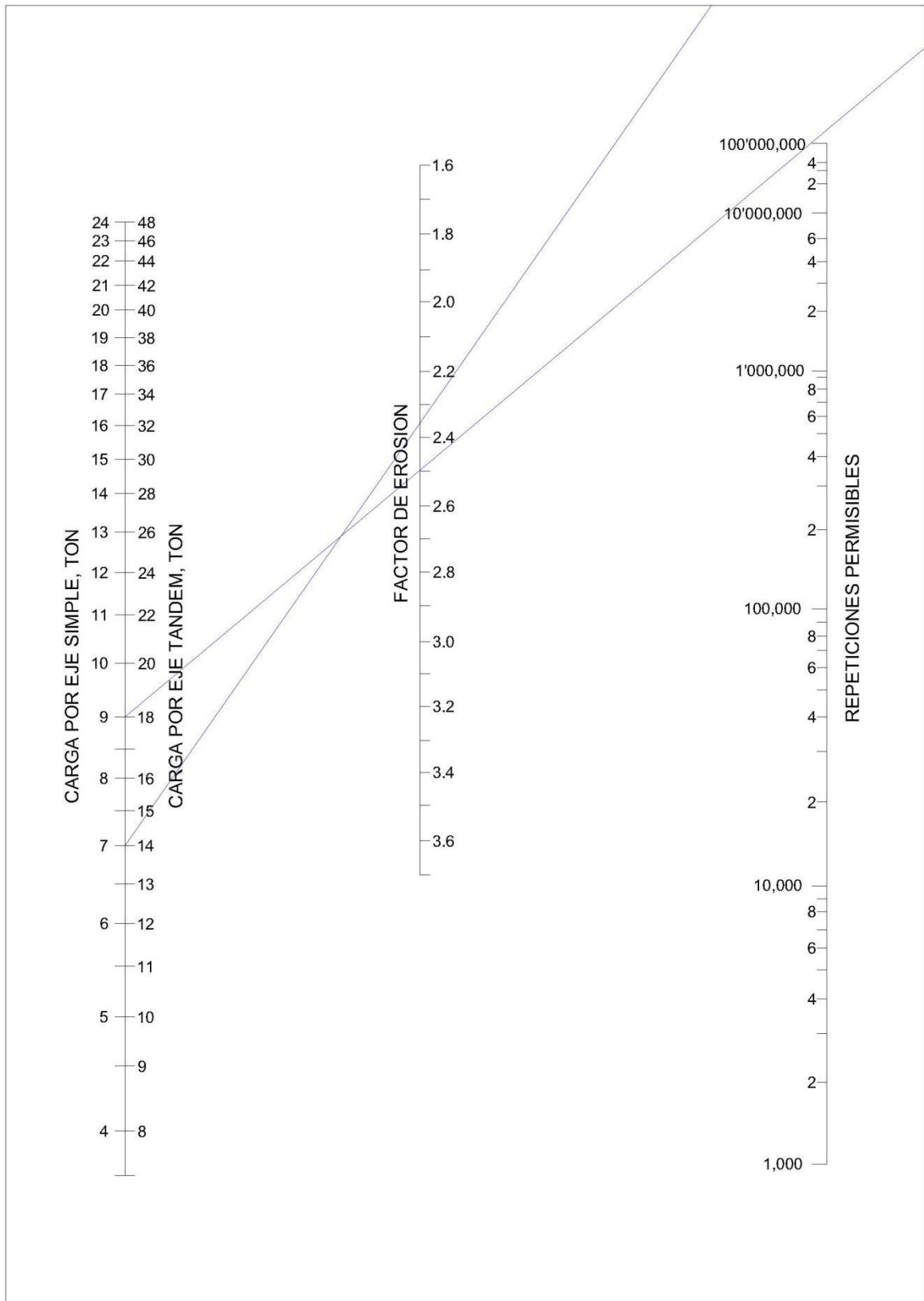


Tabla 6. 5 K- Modulo de reacción sub-rasante(kg/cm²)

Espesor losa (cm)	K- Módulo de reacción sub - rasante (kg/cm ³)									
	2		4		6		8		10	
	Eje Simple	Eje Tándem	Eje Simple	Eje Tándem	Eje Simple	Eje Tándem	Eje Simple	Eje Tándem	Eje Simple	Eje Tándem
12	33.6	28.2	29.5	24.6	27.4	23.1	26.0	22.2	24.9	21.6
13	30.2	25.6	26.6	22.2	24.7	20.8	23.4	19.9	22.5	19.4
14	27.4	23.4	24.1	20.2	22.4	18.9	21.3	18.0	20.5	17.5
15	25.0	21.5	22.0	18.5	20.5	17.2	19.5	16.4	18.8	15.9
16	22.9	19.9	20.2	17.1	18.8	15.8	18.0	15.1	17.3	14.6
17	21.1	18.5	18.6	15.8	17.4	14.6	16.6	13.9	16.0	13.4
18	19.6	17.2	17.3	14.7	16.1	13.5	15.4	12.9	14.8	12.4
19	18.2	16.2	16.1	13.8	15.0	12.7	14.3	12.0	13.8	11.6
20	17.0	15.2	15.0	12.9	14.0	11.9	13.4	11.3	12.9	10.8
21	15.9	14.4	14.0	12.2	13.1	11.2	12.6	10.6	12.1	10.2
22	14.9	13.6	13.2	11.5	12.3	10.6	11.8	10.0	11.4	9.6
23	14.0	12.9	12.4	10.9	11.6	10.0	11.1	9.5	10.7	9.1
24	13.2	12.3	11.7	10.4	11.0	9.5	10.5	9.0	10.1	8.6
25	12.5	11.8	11.1	9.9	10.4	9.1	9.9	8.5	9.6	8.2
26	11.9	11.2	10.5	9.5	9.8	8.7	9.4	8.1	9.1	7.8
27	11.3	10.8	10.0	9.1	9.3	8.3	8.9	7.8	8.6	7.4
28	10.7	10.3	9.5	8.7	8.9	7.9	8.5	7.4	8.2	7.1
29	10.2	9.9	9.1	8.4	8.5	7.6	8.1	7.1	7.8	6.8
30	9.8	9.5	8.7	8.1	8.1	7.3	7.7	6.9	7.5	6.6

Tabla 6. 6 K- Modulo de reacción sub-rasante(kg/cm²)

Espesor losa (cm)	K- Módulo de reacción sub-rasante (kg/cm ³)									
	2		4		6		8		10	
	Eje Simple	Eje Tándem	Eje Simple	Eje Tándem	Eje Simple	Eje Tándem	Eje Simple	Eje Tándem	Eje Simple	Eje Tándem
12	3.25	3.29	3.20	3.19	3.18	3.13	3.17	3.11	3.16	3.09
13	3.16	3.23	3.11	3.12	3.09	3.06	3.08	3.04	3.06	3.02
14	3.08	3.17	3.03	3.06	3.00	2.99	2.99	2.97	2.98	2.95
15	3.00	3.11	2.95	3.00	2.92	2.93	2.91	2.91	2.90	2.88
16	2.93	3.06	2.88	2.94	2.85	2.88	2.84	2.85	2.82	2.82
17	2.87	3.01	2.81	2.89	2.78	2.82	2.77	2.79	2.75	2.77
18	2.80	2.97	2.74	2.84	2.71	2.77	2.70	2.74	2.69	2.71
19	2.74	2.92	2.68	2.80	2.65	2.72	2.64	2.69	2.62	2.66
20	2.69	2.88	2.62	2.76	2.59	2.68	2.58	2.64	2.56	2.62
21	2.63	2.84	2.57	2.71	2.53	2.64	2.52	2.60	2.51	2.57
22	2.58	2.80	2.51	2.68	2.48	2.59	2.47	2.56	2.45	2.53
23	2.53	2.77	2.46	2.64	2.43	2.55	2.42	2.51	2.40	2.48
24	2.48	2.74	2.42	2.60	2.38	2.52	2.37	2.48	2.24	2.25
25	2.44	2.71	2.37	2.57	2.34	2.49	2.33	2.45	2.31	2.42
26	2.40	2.68	2.33	2.54	2.30	2.46	2.28	2.41	2.27	2.38
27	2.36	2.65	2.29	2.51	2.26	2.43	2.24	2.38	2.22	2.35
28	2.33	2.62	2.25	2.49	2.22	2.40	2.20	2.35	2.18	2.32
29	2.29	2.60	2.22	2.46	2.18	2.37	2.16	2.33	2.14	2.30
30	2.26	2.57	2.18	2.43	2.15	2.35	2.12	2.30	2.11	2.27

Como los pavimentos permeables se encuentran entre 15-30% por ciento de vacíos asumimos un 15% de vacíos además para no tener problemas de colmatación con finos.

$V_p - V_r > 0$ No requiere Sub - base

$V_p - V_r < 0$ Requiere Sub - base

La Sub-base granular pueden ser agregados de tamaños de 3" a ¾" tales como huso granulométrico #57 donde proporciona de 30 a 40% de vacíos y puede proporcionar almacenamiento adicional, el área por encima del pavimento también está disponible para el almacenamiento.

Otro diseño típico de pavimento permeable incluye el uso de varias capas de suelos, El Manual de Administración de Agua pluviales de Georgia utiliza una capa de filtro encima del depósito de piedras (sub base) que a su vez se asienta en otro filtro por encima de la tela filtro. Otras formas de pavimentos permeables se han diseñado para tratar las aguas pluviales incluyen el uso de un sistema de drenaje inferior, en este método la recarga de aguas subterráneas puede ser limitado debido al sitio o condiciones del suelo, en este caso el pavimento se coloca sobre un tubo perforado que se coloca en una cama de agregados (opengraded) y esto hace que las aguas que se infiltran por el pavimento pasen por la grava y se evacue por la tubería y desde allí al agua de lluvia se vierte a un cuerpo receptor. La eficiencia de tratamiento promedio es del 66%, además, habrá alguna recarga directa de las aguas subterráneas que reducirá la escorrentía total hasta en un 33% (Florida Department of Environmental Protection [FDEP])

Otros esquemas de recarga de aguas subterránea incluye el uso de pozo perforados rellenos con un agregado de gradación abierta pasando por suelos arcillosos a mas estratos permeables, el diseño típico para este sistema puede incluir una capa de piedra de gradación abierta de sub base, el pavimento permeable que se coloca en los sitios de grano fino los ejes estarían espaciados regularmente para proporcionar suficiente capacidad de recarga, la sub base tendría que estar en pendiente para proporcionar drenaje positivo a los ejes, la eficiencia de tratamiento de este sistema se espera que sea similar al diseño del drenaje inferior, las tasas de recarga sin embargo se espera que sean mucho más altas.

Varios otros diseños han utilizado para evacuar el exceso de agua aumentando la capacidad

de almacenamiento y esto incluye:

- La colocación de tubería perforada en la parte superior del depósito de piedra triturada (Sub Base) para captar el agua de exceso después que el depósito se llena.
- Proporcionar almacenamiento superficial como en un estacionamiento o un estanque.
- La adición de una capa de arena y tubería perforada debajo de la cama de recarga para la filtración del agua y la colocación de un tanque subterránea o sistema de retención de bóveda debajo de las capas para almacenar el agua tratada para su reutilización.

Todas las complejidades de un diseño de drenaje de aguas pluviales con el pavimento permeable estarán fuertemente ligadas a prácticas y las normas locales.

Ejemplo de cálculo de la Sub-base para la cual tenemos los siguientes datos

- Velocidad de infiltración del suelo 20 mm/h
- Espesor del concreto 24 cm
- Porcentaje de vacíos del concreto permeable 15%
- Porcentaje de vacíos de la Sub Base 35%
- Precipitación 80 mm promedio por año
- Área total de centro comercial 40 000 m²
- Área del estacionamiento 15 000 m²

Calculo de la altura de la Sub-base para almacenamiento

$$V_r = \text{precipitación}(mm) \times A \times 1/1000 \frac{(m)}{(mm)}$$

$$V_r = 80(mm) \times 40000 \times 1/1000 \frac{(m)}{(mm)}$$

$$V_r = 3200m^3$$

$$V_r = V_p + V_s$$

$$V_p = A \times d_1 \times p_1/100$$

$$V_s = A \times d_2 \times p_2/100$$

Dónde:

V_p : Volumen de almacenamiento disponible en el pavimento, m³

V_s : Volumen de almacenamiento disponible en la subrasante, m³

A : Área del pavimento, m²

d_1 : Espesor del pavimento, m

d_2 : Espesor de la sub-base

p_1 : Porcentaje de vacíos del pavimento, %

p_2 : Porcentaje de vacíos en la sub-base, %.

Reemplazando se tiene:

$$d_2 = 0.44 \text{ m}$$

Entonces el espesor de la base sería de 0.44 m o 44 cm para almacenar 3200 m³ de escorrentía

Calculo del espesor de la Sub-base infiltrando el agua hacia el suelo

Todos los sistemas de infiltración deben ser diseñados para absorber completamente el V_r en un periodo de 24 a 48 horas después del evento de la lluvia.

Diseño del caudal de percolación

Se puede utilizar un tiempo de llenado de $T=2$ horas para la mayoría de diseños, elija la altura del reservorio de grava de 3 ft (0.91m) (incluyendo la capa de concreto), el cual está a 2 ft (0.61m) como mínimo del nivel freático (se pueden elegir profundidades menores, haciendo un superficie mayor), el mínimo de la superficie de la zanja se puede determinar, de manera similar que la zanja de infiltración, a partir de la siguiente ecuación:

$$A = V_r / (n_g d_g + \frac{kT}{12} + n_p d_p)$$

Dónde:

A : Superficie permeable, ft² (m²)

V_r : Volumen total de agua suministrada (volumen de agua total a ser infiltrada),ft³(m³)

n : Porosidad (g de la grava, p de la capa de concreto).

D : Profundidad o altura de la capa (g de la capa de grava, p de la capa de concreto)

k : Percolación, in/h (mm/h)

T : Tiempo de llenado, horas

Para una precipitación máxima en 24 horas extrema de 34.0 mm (registro de 21 años) en aproximadamente 40 000 m²

$$15000 \text{ m}^2 = 1636 \text{ m}^3 / (0.30 \times d_g + \frac{15 \text{ mm}}{1000} \times 24 \text{ h} + 0.15 \times 0.24 \text{ m})$$

$$d_g = 0.077 \text{ m}$$

Comprobación del tiempo de infiltración

Profundidad = 100 mm + 240 mm, para un sistema permeable de = 340 mm

en 15 mm/h = 22.6 h OK

6.5. Mantenimiento

Existen dos métodos comunes aceptados:

- El lavado a presión con agua
- Aspirado de potencia

El Lavado a presión con agua fuerza a los contaminantes hacia abajo a través de la superficie del pavimento. Esto es efectivo, pero se debe tener cuidado de no usar demasiada presión, ya que esto puede dañar el concreto permeable. La pequeña sección del pavimento

debe ser lavado a presión utilizando diferentes presiones de agua para determinar la apropiada presión para el pavimento dado. En cambio el aspirado elimina contaminantes por extracción a partir por los vacíos del pavimento.

El esquema más eficaz, sin embargo, es la combinación de las dos técnicas donde el aspirado se realiza tras el lavado a presión.

Las investigaciones realizadas por la Florida y Productos de hormigón Asociación (1990) cuantifica el grado de contaminante infiltración en pavimentos de concreto permeable en un estacionamiento, donde, Cinco estacionamientos fueron examinados como parte del estudio, y el nivel de infiltración contaminante se encontró que era muy bajo. La infiltración se encontró que en el intervalo de 0.16 a 3.4% del volumen vacío total hasta después de 8 años de servicio. Además, barriendo la superficie inmediatamente restaurado inmediatamente más del 50% de la permeabilidad de un pavimento obstruido.

Tabla 6. 7 Pavimento obstruido

Actividad	Periodo
Verificación de la presencia de escombros	Mensual
Verificación de la presencia de sedimentos	
Limpieza de raíces o semillas del pavimento	Cuando sea necesario
Aspirado de sedimentos de la superficie del pavimento	
Inspección del deterioro de la superficie	Anual

Figura 6. 4 Equipos de limpieza del pavimento permeable



Figura 6. 5 Equipo de limpieza manual de pavimentos permeables de concreto



Resumen del diseño de pavimento para jr. Bellido.

Resumiendo los resultados obtenidos en los cálculos de este capítulo se hace la evaluación de uso de pavimento permeable como una alternativa de drenaje para la ciudad de Ayacucho, necesitamos saber cuanto es el porcentaje de vacios necesario para cubrir la necesidad de infiltración de las precipitaciones, y de acuerdo a los ensayos de permeabilidad realizados en el capítulo anterior se tiene el siguiente cuadro.

Tabla 6. 8 Resumen de diseño hidraulico

precipitacion maxima dela ciudad de ayacucho (mm/h)	45	
porcentaje de vacios necesarios para la precipitacion maxima es $U=$	11.25%	por tanto si satisface la necesidad hidrologica ya que $U < U_d$
vacios de diseño del concreto permeable $U_d=$	15%	

Respecto a las propiedades de resistencia el concreto con menor porcentaje de vacios es el de mayor resistencia a la compresión, de acuerdo a esta resistencia se continúa con el diseño de las demás capas. Quedando de resumida de esta manera.

Tabla 6. 9 Resumen de diseño de pavimento permeable

Volumen total de agua a ser infiltrada $V_r(m^3)$	3200
espesor del pavimento $E(cm)$	24
espesor de la sub base con porcentaje de vacio de 35% $d(cm)$	44

Por lo que se concluye que si es necesario este tipo de estructura mas aun si se usara en veredas que servirían como colectores para el actual sistema de drenaje que se encuentra ya instalado en el centro de la ciudad.

Capítulo 7

Conclusiones y Recomendaciones

7.1. Conclusiones

Con el desarrollo de esta investigación se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. El empleo de concreto poroso es relativamente nueva, si bien hay experiencias que datan de hace mucho, en nuestro medio aun no es de conocimiento masivo y seria bueno la elaboración del concreto poroso y aplicarla como una alternativa de drenaje en la ciudad específicamente en las calles de bajo tránsito, las cuales requieren de un sistema de drenaje adecuado.
2. La aplicación del concreto poroso en los pavimentos permeables está limitada a las zonas de tráfico ligero por su baja resistencia a la compresión, la cual se debe al alto porcentaje de vacío de su estructura.
3. El concreto poroso es muy sensible respecto a sus propiedades en estado fresco, pues varia con pequeñas cantidades de agua.
4. La relación promedio agregado/cemento del concreto poroso se encuentra entre 2.65/1, 3.48/1 correspondientes a 15% y 25% de vacíos, respectivamente.
5. La gradación entre los tamaños de ½” y 3/8” correspondientes a los husos granulométrico N°8 y huso granulométrico N°6, presenta mejor trabajabilidad durante el vaciado, que las el huso granulométrico N4.
6. De los ensayos realizados se determinó que la gradación del agregado influye en las propiedades mecánicas y en la permeabilidad del concreto poroso.
7. La resistencia a la compresión y la tensión del concreto poroso a edades tempranas se determina por la resistencia de la pasta, y a edades mayores a 14 días por la resistencia de la pasta y la adherencia entre la pasta y agregado.

8. De los ensayos se determinó que la evolución de la resistencia a la compresión y la tensión a los 7 días es de 35% - 70% y a los 14 días es 85%-90% de la resistencia a los a los 28 días, similar al concreto convencional.
9. Se comprobó que el tipo de falla a la compresión del concreto poroso es de forma cónica y se produce entre los meniscos de la pasta y el agregado, esta falla se produce inicialmente en la parte superficial del espécimen por la falta de confinamiento;
10. El coeficiente de permeabilidad del concreto poroso varía entre 4.5×10^{-3} y 1.3×10^{-2} m/s respectivamente; que corresponde a suelos gravosos.
11. La eficiencia de la muestra recién colocada y la muestra colmatada al máximo con mantenimiento se reduce de 100% a 96.8% con agregado angular.
12. Se obtiene que en las pendientes de 0% y 2% la variación de porcentaje de infiltraciones menor que en las pendientes de 4% a 10%.
13. De los ensayos de colmatación de finos se concluye que el pavimento con mayor porcentaje de filtración de agua es el agregado angular y en pendientes menores a 4%.
14. los pavimentos permeables son estructuras que si se pueden usar en la ciudad de Ayacucho, ya que según los ensayos realizados si satisfacen las necesidades de precipitación sin formar escorrentía, pero limitado a usos en parques veredas, estacionamientos por su baja resistencia a la compresión.

7.2 Recomendaciones

1. Realizar mayores investigaciones utilizando porcentajes de agregado fino para poder aumentar la resistencia del concreto poroso.
2. Probar la incorporación de aditivos como fibras para mejorar la resistencia a la tensión del concreto poroso.
3. Durante el vaciado del concreto se recomienda agregar agua progresivamente, debido a la sensibilidad que presenta el concreto.

4. El tiempo recomendado de mezclado del concreto poroso debe ser como mínimo de 24 minutos porque se trabaja con relaciones agua/cemento bajas (0.35- 0.45)
6. Realizar tramos de prueba para obtener una norma que rija este tipo de concreto en nuestro país.
8. Emplear el Huso Granulométrico N°8 por tener mejores propiedades mecánicas y estética.
9. Para la elaboración de cilindros de concreto para compresión simple distribuir la energía de compactación en 3 capas para evitar fallas locales en bordes superficiales.
10. En los ensayos de tensión por flexión a los tercios utilizar almohadillas de neopreno, para una mejor distribución de la carga.
11. Realizar la limpieza del concreto en forma constante en periodos secos.
12. Aplicar el pavimento de concreto poroso en pendientes de hasta 2% evitando las pendientes mayores a 6%.
13. La colmatación de finos con agregado reciclado de probetas de concreto debe realizarse con la muestra previamente humedecida.

7.3 Futuras líneas de investigaciones

Las mayores aplicaciones del concreto permeable incluyen pavimentación y tratamientos superficiales para permitir el drenaje. Se requiere de mayor investigación para extender su uso en otras aplicaciones y para verificar su desempeño en varios ambientes. Aunque se usa ampliamente en climas templados, hay preocupación acerca del desempeño a bajas temperaturas, y problemas de durabilidad bajo congelación y deshielo. Un desarrollo novedoso es el uso del concreto permeable como una capa permeable subyacente. En esta aplicación, el concreto permeable puede ser usado como un material para rellenar huecos por debajo de la superficie, lo que combinaría el beneficio de su resistencia con el alivio de la presión de poro. Esto es de particular interés para mitigar la trasmisión, las excavaciones inestables de cimientos, los cortes de carreteras, y los deslizamientos en taludes.

Se necesita una mayor investigación para mejorar la resistencia y durabilidad del concreto permeable para soportar cargas de vehículos pesados y poder obtener resistencias cercanas a las del concreto convencional, lo cual mejoraría su uso en un amplio rango de aplicaciones.

Bibliografía

Rodríguez Hernández, J. (2008). Tesis doctoral: Estudio, análisis y diseño de secciones permeables de firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con capacidad portante necesaria para soportar tráfico ligero, Santander: Universidad de Cantabria.

Rodríguez, A. S. (1998). Guía para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos. México D.F.: Instituto Mexicano del Cemento y Concreto.

Montejo Fonseca, A. (2006), tesis: Ingeniería de Pavimentos, Fundamentos, estudios básicos y diseño, Colombia, Universidad Católica de Colombia.

Neville, A.M. y Brooks, J.J. (1998). Tecnología del Concreto, México D.F, Editorial Trillas.
Instituto de Ingeniería UNAM (1997), Manual de Tecnología del Concreto, México D.F, Editorial Limusa S.A.

Pasquel Carbajal, E. (1998), Tópicos de Tecnología del Concreto, Lima, Editorial Colegio de Ingenieros del Perú.

Krumbein, W.C. y Sloss, L.L. (1969), Estratigrafía y Sedimentación, Unión Tipográfica, México D.F, Editorial Hispano Americana,

Kathryn Schaus.L (2007), Tesis para Master en Ciencias: Porous Asphalt Pavement Designs: Proactive Design for Cold Climate Use, University of Waterloo, Ontario Canada)

González Chávez, J. P. y Roca Torres, R (2003), Influencia de la forma, granulometría y textura superficial del agregado grueso en las propiedades del concreto fresco y endurecido, Arequipa., Universidad Nacional de San Agustín,

Aire Untiveros, Carlos (2010), Hormigón permeable: consideraciones para el diseño de mezclas, diseño del espesor de pavimento y métodos de prueba, México D.F, Revista: Técnica CEMENTO HORMIGÓN N° 941, Nov-Dic 2010.

Aire Untiveros, Carlos (2008), El hormigón permeable como alternativa sostenible, México D.F, Revista Técnica CEMENTO HORMIGÓN N° 920, Nov- 2008.

Yanqui Murillo, C, (2015) Diseño Estructural de Mezclas de Concreto, Lima, XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil.

Ming-Gin Lee, Chui-Te Chiu, Yu-Cheng Kan, Tsong Yen, (2012) ,Experimental study of pervious concrete on parking lot Chaoyang, Colorado, University of Technology Colorado Ready Mixed Concrete Association, Specifiers Guide for Pervious Concrete Pavement Design, Version 1.2.

Norbert J. Delatte y Cleary Jhon, (2009),Developing a structural desing method for pervious concrete pavement, Cleveland, Ohio, USA.

Pascó, Alberto - Font Quevedo. (Octubre de 1999). www.agendaperu.org.pe. Recuperado el 28 de Octubre de 2011, de www.agendaperu.org.pe

Caltrans. (2007). Treatment BMP Technology Report, *California Department of Transportation*. Sacramento.

Crespo del Río, R. (1999). Calidad ante la Rodadura, Barcelona, AEPO Ingenieros Consultores.

García Gil, F. (2007). Prontuario de protección del medio ambiente estatal, autonómico y municipal, *DAPP Publicaciones Jurídicas National SUDS Working*.

Group. (2003). Framework for Sustainable Drainage Systems SUDS. *England and Wales*

Vargas, P. (Junio 2009). Cambio Climático y sus efectos en el Perú, *Working Papers Series, Lima, Banco Central de Reserva del Perú*.

APENDICE A

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO (MTC E 204 - 2000)

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE AYACUCHO"

Solicitante : YOBER DE LA CRUZ MORALES

Cantera : RIO CACHI

Material : PIEDRA DE 3/4

Fecha : JUNIO DEL 2016

CHANCADORA CHV

Region : AYACUCHO

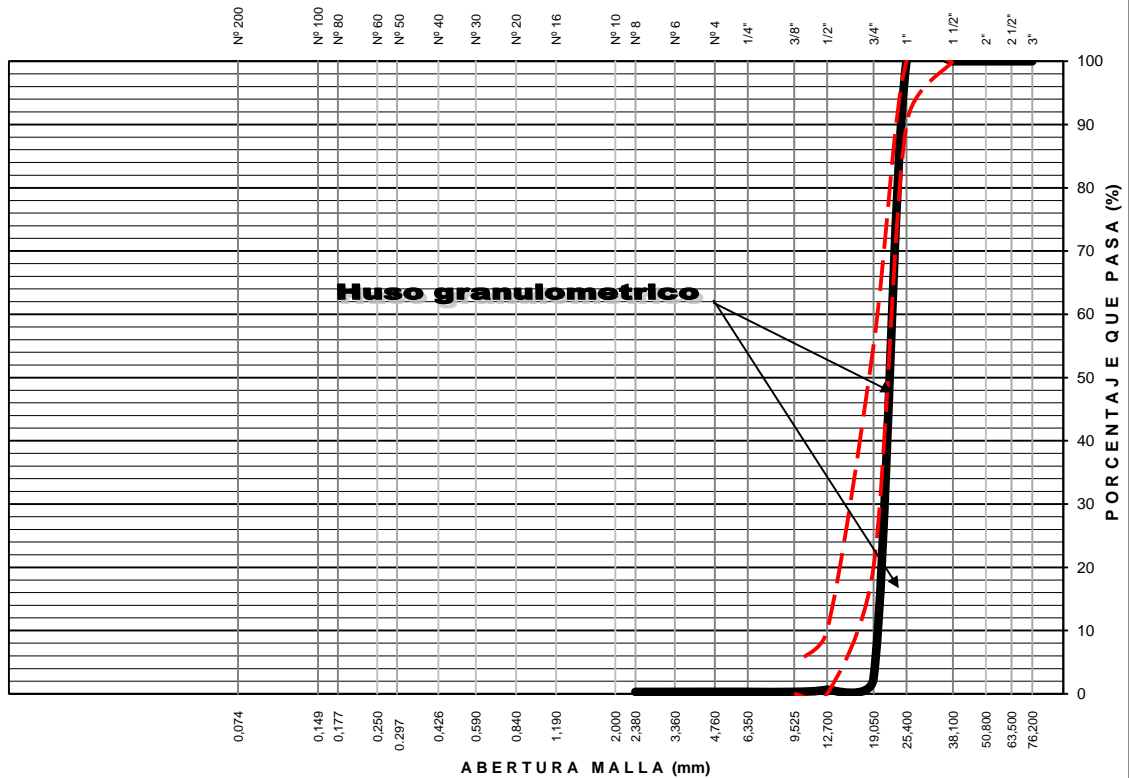
Provincia : HUAMANGA

Distrito : AYACUCHO

Lugar : AYACUCHO

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO 6 (3/4" a 3/8")	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
3"	76.200	-	-	-	100.00		PESOS (gr)	
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.00		Peso seco inicial	2458.9
2"	50.800	-	-	-	100.00		Peso seco lavado	2455.3
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.00	100 - 100	Pérdida por lavado	3.6
1"	25.400	-	-	-	100.00	100 - 100	ENSAYOS ESTÁNDAR	
3/4"	19.050	2,399.34	97.58	97.58	2.42	90 - 100	% Grava	99.7
1/2"	12.700	43.20	1.76	99.33	0.67	20 - 55	% Arena	0.2
3/8"	9.525	8.60	0.35	99.68	0.32	0 - 15	% de Finos	0.1
1/4"	6.350	-	-	99.68	0.32		D ₁₀ = D _{e(mm)} =	19.5430
Nº 4	4.760	-	-	99.68	0.32		D _{30(mm)} =	20.8446
Nº 8	2.380	0.12	0.00	99.69	0.31		D _{60(mm)} =	22.7969
Nº 10	2.000	0.12	0.00	99.69	0.31		Cu =	1.17
Nº 16	1.190	0.20	0.01	99.70	0.30		Cc =	0.98
Nº 20	0.840	0.14	0.01	99.71	0.29		D _{15(mm)} =	19.8684
Nº 30	0.590	0.22	0.01	99.72	0.28		D _{50(mm)} =	22.1461
Nº 40	0.426	0.22	0.01	99.72	0.28		D _{85(mm)} =	24.4238
Nº 50	0.297	0.40	0.02	99.74	0.26		Clasificación SUCS	GP
Nº 60	0.250	0.22	0.01	99.75	0.25		GRAVA MAL GRADUADA	
Nº 80	0.177	0.44	0.02	99.77	0.23		A-1-a(0)	
Nº 100	0.149	0.26	0.01	99.78	0.22		Tamaño Maximo (Pulg)"	1
Nº 200	0.075	1.84	0.07	99.85	0.15		Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	3/4
Lavado		3.60	0.15	100.00	0.00		Módulo de Fineza	7.96
TOTAL		2458.9	100.0				Superficie especifica (cm ² /gr)	2.24

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO



LIMO Y ARCILLA	ARENA			GRAVA		BOLEOS/ BLOQUE
	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA	

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE AYACUCHO"
 Solicitante : YOBER DE LA CRUZ MORALES Region : AYACUCHO
 Cantera : INDICADA Provincia : HUAMANGA NCADORA
 Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : AYACUCHO
 Fecha : JUNIO DEL 2016 Lugar : CHANCADORA CHV

AGREGADO GRUESO (MTC E 206 - 2000, NTP 400.021)

OBJETIVO: Obtencion de los Pesos Especificos aparente y nominal, asi como la absorcion despues de 24 horas de sumergidos en agua.

DEFINICIONES: En un solido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacios accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado aparente, si se excluye este volumen de vacios al volumen resultante, se le denomina nominal.

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso en el aire de la muestra seca (gr)	498.80	519.20		
B	Peso en el aire de la muestra SSS (gr)	505.60	531.80		
C	Peso sumergido en agua de la muestra SSS (gr)	309.60	321.70		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C)	2.54	2.47		2.51
	Peso Especifico Aparente SSS = B/(B-C)	2.58	2.53		2.56
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C)	2.64	2.63		2.63
	% de Absorción = ((B - A)/A) x 100	1.36	2.43		1.90

AGREGADO FINO (MTC E 205 - 2000)

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso al aire de la muestra secada (gr)	122.10	58.50		
B	Peso del Picometro aforado lleno de agua (gr)	656.20	347.47		
C	Peso del Picometro con la muestra y agua (gr)	735.20	384.60		
D	Peso de la muestra en SSS (gr)	125.30	60.10		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C+S)	2.64	2.55		2.59
	Peso Especifico Aparente SSS = S/(B-C+S)	2.71	2.62		2.66
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C+B)	2.83	2.74		2.79
	% de Absorción = ((S - A)/A) x 100	2.62	2.74		2.68

Porcentaje Retenido en la Malla Nº4 (%)	59.92
Porcentaje que pasa la Malla Nº4 (%)	40.08
Gravedad especifica de los sólidos	2.54

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE AYACUCHO"

Solicitante : YOBER DE LA CRUZ MORALES

Cantera : RIO CACHI

Material : AGREGADO GRUESO Y FINO

Fecha : JUNIO DEL 2016

Region : AYACUCHO

Provincia : HUAMANGA

Distrito : AYACUCHO

Lugar : AYACUCHO

PORCENTAJE DE VACIOS

IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm ³)	1,365	1,507
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm ³)	1,501	1,684
C	Gravedad Especifica de Masa	2.51	2.59
D	Peso de los Solidos (gr)	2,508	2,592
Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto		45.6	41.9
Porcentaje de Vacios (%) Agregado varillado		40.2	35.0

CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL

IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	146.96	172.49
B	Peso Seco de la muestra (gr)	146.16	171.69
C	Peso del agua en la muestra (gr)	0.80	0.80
D	% de absorcion	1.90	
Contenido de Humedad (%)		0.55	0.47
Contenido de Humedad (%)		0.51	
Absorcion Efectiva (%)		1.39	
Humedad Superficial (%)		-	
IDENTIFICACIÓN		Agregado Fino	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	101.26	105.37
B	Peso Seco de la muestra (gr)	100.26	104.37
C	Peso del agua en la muestra (gr)	1.00	1.00
D	% de absorcion	2.68	
Contenido de Humedad (%)		1.00	0.96
Contenido de Humedad (%)		0.98	
Absorcion Efectiva (%)		1.70	
Humedad Superficial (%)		-	

Nota: El agregado fue muestreado en obra, la humedad hallada es la de ese momento, esta humedad puede variar por lo que se recomienda hacer las correcciones respectivas

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (MTC E 203 - 2000)

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE AYACUCHO"

Solicitante : YOBER DE LA CRUZ MORALES	Región : AYACUCHO
Cantera : INDICADA	Provincia : HUAMANGA
Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO	Distrito : AYACUCHO
Fecha : JUNIO DEL 2016	Lugar : HANCADORA CHV

AGREGADO FINO			
PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	7,034.0	7,031.0	7,032.5
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,268.0	4,265.0	4,266.5
D Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,507	1,506	1,507
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)		1,507	
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	7,533.0	7,535.0	7,534.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,767.0	4,769.0	4,768.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,683	1,684	1,684
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)		1,684	
AGREGADO GRUESO			
PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,631.0	6,630.0	6,630.5
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	3,865.0	3,864.0	3,864.5
D Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,365	1,365	1,365
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)		1,365	
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	7,017.0	7,015.0	7,016.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,251.0	4,249.0	4,250.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,501	1,501	1,501
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)		1,501	

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO (MTC E 204 - 2000)

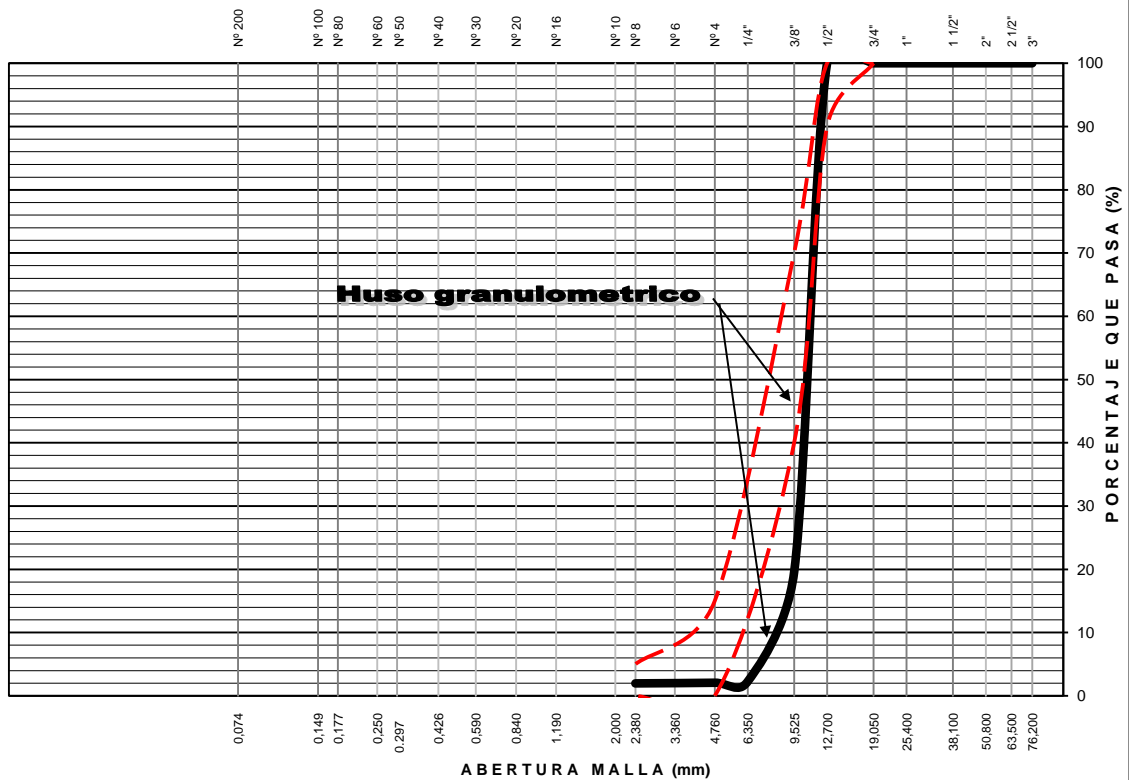
Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE AYACUCHO"

Solicitante : YOBER DE LA CRUZ MORALES
 Cantera : RIO CACHI CHANCADORA CHV
 Material : PIEDRA DE 3/8
 Fecha : JUNIO DEL 2016

Region : AYACUCHO
 Provincia : HUAMANGA
 Distrito : AYACUCHO
 Lugar : AYACUCHO

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO 8 (3/8" a N°8)	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
3"	76.200	-	-	-	100.00		PESOS (gr)	
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.00		Peso seco inicial	2309.9
2"	50.800	-	-	-	100.00		Peso seco lavado	2283.5
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.00		Pérdida por lavado	26.4
1"	25.400	-	-	-	100.00		ENSAYOS ESTÁNDAR	
3/4"	19.050	-	-	-	100.00		% Grava	97.9
1/2"	12.700	-	-	-	100.00	100 - 100	% Arena	0.9
3/8"	9.525	1,857.88	80.43	80.43	19.57	85 - 100	% de Finos	1.1
1/4"	6.350	399.52	17.30	97.73	2.27		D ₁₀ = D _{e(mm)} =	7.7682
N° 4	4.760	4.56	0.20	97.92	2.08	10 - 30	D _{30(mm)} =	9.9367
N° 8	2.380	2.38	0.10	98.03	1.97	0 - 10	D _{60(mm)} =	11.1210
N° 10	2.000	0.58	0.03	98.05	1.95	0 - 5	Cu =	1.43
N° 16	1.190	0.80	0.03	98.09	1.91		Cc =	1.14
N° 20	0.840	0.38	0.02	98.10	1.90		D _{15(mm)} =	8.6860
N° 30	0.590	0.84	0.04	98.14	1.86		D _{50(mm)} =	10.7262
N° 40	0.426	0.74	0.03	98.17	1.83		D _{85(mm)} =	12.1079
N° 50	0.297	0.94	0.04	98.21	1.79		Clasificación SUCS	GP
N° 60	0.250	1.22	0.05	98.26	1.74		GRAVA MAL GRADUADA	
N° 80	0.177	2.60	0.11	98.38	1.62		A-1-a(0)	
N° 100	0.149	1.40	0.06	98.44	1.56		Tamaño Maximo (Pulg)"	1/2
N° 200	0.075	9.72	0.42	98.86	1.14		Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	3/8
Lavado		26.40	1.14	100.00	-0.00		Módulo de Fineza	6.69
TOTAL		2310.0	100.0				Superficie especifica (cm ² /gr)	10.70

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO



LIMO Y ARCILLA	ARENA			GRAVA		BOLEOS/ BLOQUE
	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA	

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE AYACUCHO"
 Solicitante : YOBER DE LA CRUZ MORALES Region : AYACUCHO
 Cantera : INDICADA Provincia : HUAMANGA
 Material : AGREGADO GRUESO Distrito : AYACUCHO
 Fecha : JUNIO DEL 2016 Lugar : AYACUCHO

AGREGADO GRUESO (MTC E 206 - 2000, NTP 400.021)

OBJETIVO: Obtencion de los Pesos Especificos aparente y nominal, asi como la absorcion despues de 24 horas de sumergidos en agua.

DEFINICIONES: En un solido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacios accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado aparente, si se excluye este volumen de vacios al volumen resultante, se le denomina nominal.

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso en el aire de la muestra seca (gr)	470.80	486.50		
B	Peso en el aire de la muestra SSS (gr)	481.30	496.20		
C	Peso sumergido en agua de la muestra SSS (gr)	294.80	304.10		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C)	2.52	2.53		2.53
	Peso Especifico Aparente SSS = B/(B-C)	2.58	2.58		2.58
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C)	2.68	2.67		2.67
	% de Absorción = ((B - A)/A) x 100	2.23	1.99		2.11

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE AYACUCHO"

Solicitante : YOBER DE LA CRUZ MORALES

Region : AYACUCHO

Cantera : RIO CACHI

Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO

Distrito : AYACUCHO

Fecha : JUNIO DEL 2016

Lugar : AYACUCHO

CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL

IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	89.27	69.45
B	Peso Seco de la muestra (gr)	88.97	68.85
C	Peso del agua en la muestra (gr)	0.30	0.60
D	% de absorcion		2.11
	Contenido de Humedad (%)	0.34	0.87
	Contenido de Humedad (%)		0.60
	Absorcion Efectiva (%)		1.51
	Humedad Superficial (%)		-

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (MTC E 203 - 2000)

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE AYACUCHO"

Solicitante : YOBER DE LA CRUZ MORALES

Región : AYACUCHO

Cantera : INDICADA

Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO

Distrito : AYACUCHO

Fecha : JUNIO DEL 2016

Lugar : AYACUCHO

AGREGADO GRUESO			
PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,720.0	6,710.0	6,715.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	3,954.0	3,944.0	3,949.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,396	1,393	1,395
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)	1,395		
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	7,100.0	7,110.0	7,105.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,334.0	4,344.0	4,339.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,531	1,534	1,532
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)	1,532		

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO (MTC E 204 - 2000)

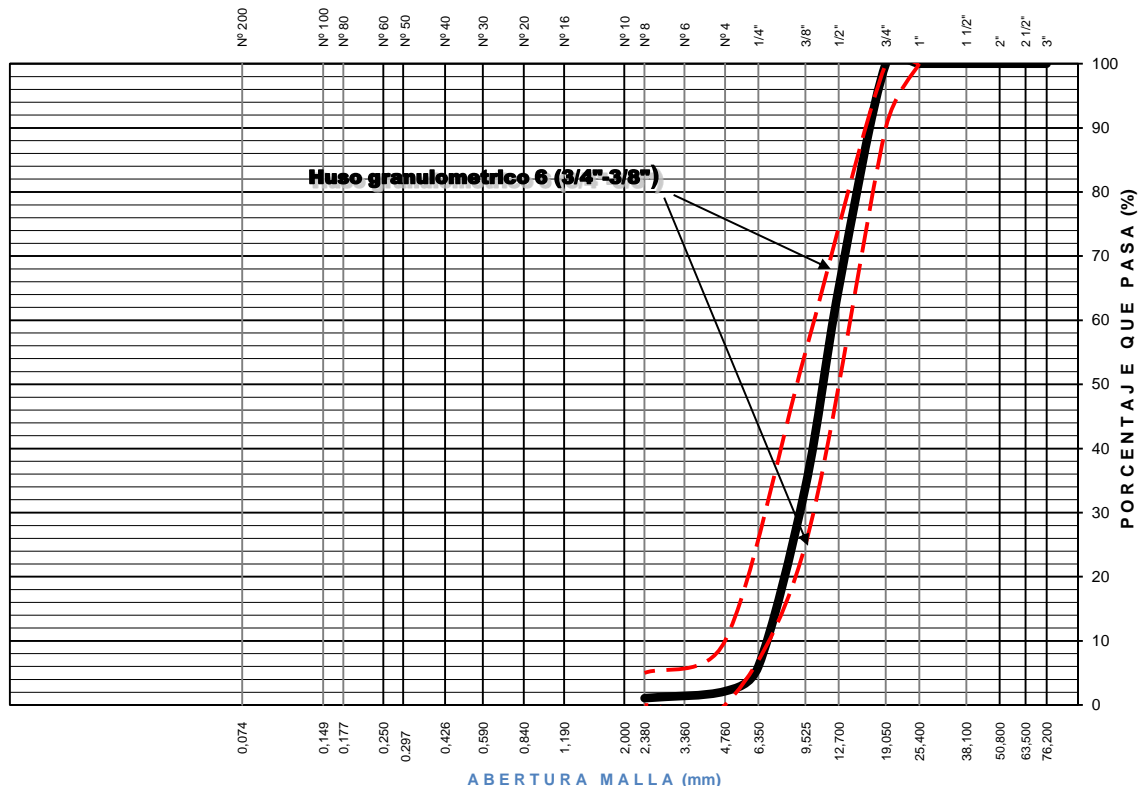
Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA CIUDAD DE AYACUCHO"

Solicitante : **Bach/Ing. YOBER DE LA CRUZ MORALES**
 Cantera : **RIO CACHI CHANCADORA FRANKEKA**
 Material : **AGREGADO GRUESO 1/2"**
 Fecha : **AGOSTO DE 2016**

Region : **AYACUCHO**
 Provincia : **HUAMANGA**
 Distrito : **AYACUCHO**
 Lugar : **CIUDAD UNIVERSITARIA**

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO 6 (3/4" a 3/8")	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
3"	76.200	-	-	-	100.00		PESOS (gr)	
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.00		Peso seco inicial	2529.2
2"	50.800	-	-	-	100.00		Peso seco lavado	2508.9
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.00		Pérdida por lavado	20.3
1"	25.400	-	-	-	100.00	100 - 100	ENSAYOS ESTÁNDAR	
3/4"	19.050	-	-	-	100.00	90 - 100	% Grava	97.9
1/2"	12.700	884.88	34.99	34.99	65.01	20 - 55	% Arena	1.3
3/8"	9.525	784.26	31.01	65.99	34.01	0 - 15	% de Finos	0.8
1/4"	6.350	707.54	27.97	93.97	6.03		D ₁₀ = D _{e(mm)} =	6.8005
Nº 4	4.760	98.18	3.88	97.85	2.15	0 - 5	D _{30(mm)} =	9.0704
Nº 8	2.380	27.28	1.08	98.93	1.07		D _{60(mm)} =	12.1867
Nº 10	2.000	0.44	0.02	98.95	1.05		Cu =	1.79
Nº 16	1.190	0.70	0.03	98.98	1.02		Cc =	0.99
Nº 20	0.840	0.76	0.03	99.01	0.99		D _{15(mm)} =	7.3680
Nº 30	0.590	-	-	99.01	0.99		D _{50(mm)} =	11.1627
Nº 40	0.426	0.46	0.02	99.02	0.98		D _{85(mm)} =	16.3275
Nº 50	0.297	0.50	0.02	99.04	0.96		Clasificación SUCS	GP
Nº 60	0.250	0.42	0.02	99.06	0.94		GRAVA MAL GRADUADA	
Nº 80	0.177	0.84	0.03	99.09	0.91		Tamaño Maximo (Pulg)"	3/4
Nº 100	0.149	0.68	0.03	99.12	0.88		Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	1/2
Nº 200	0.075	1.92	0.08	99.20	0.80		Gravedad especifica	2.58
Lavado		20.30	0.80	100.00	0.00		Módulo de Fineza	6.59
TOTAL		2529.2	100.0				Superficie especifica (cm ² /gr)	7.47

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO



LIMO Y ARCILLA	ARENA			GRAVA		BOLEOS/ BLOQUE
	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA	

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA CIUDAD DE AYACUCHO"
 Solicitante : Bach/Ing. YOBER DE LA CRUZ MORALES Region : AYACUCHO
 Cantera : RIO CACHI Provincia : HUAMANGA
 Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : AYACUCHO
 Fecha : AGOSTO DE 2016 Lugar : CIUDAD UNIVERSITARIA

AGREGADO GRUESO (MTC E 206 - 2000, NTP 400.021)

OBJETIVO: Obtencion de los Pesos Especificos aparente y nominal, asi como la absorcion despues de 24 horas de sumergidos en agua.

DEFINICIONES: En un solido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacios accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado aparente, si se excluye este volumen de vacios al volumen resultante, se le denomina nominal.

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso en el aire de la muestra seca (gr)	554.50	609.93		
B	Peso en el aire de la muestra SSS (gr)	566.54	620.71		
C	Peso sumergido en agua de la muestra SSS (gr)	351.60	384.10		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C)	2.58	2.58		2.58
	Peso Especifico Aparente SSS = B/(B-C)	2.64	2.62		2.63
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C)	2.73	2.70		2.72
	% de Absorción = ((B - A)/A) x 100	2.17	1.77		1.97

AGREGADO FINO (MTC E 205 - 2000)

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso al aire de la muestra secada (gr)	157.00	156.00		
B	Peso del Picnometro aforado lleno de agua (gr)	667.00	657.00		
C	Peso del Picnometro con la muestra y agua (gr)	766.00	755.00		
D	Peso de la muestra en SSS (gr)	160.00	159.00		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C+S)	2.57	2.56		2.57
	Peso Especifico Aparente SSS = S/(B-C+S)	2.62	2.61		2.61
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C+B)	2.71	2.69		2.70
	% de Absorción = ((S - A)/A) x 100	1.91	1.92		1.92

Porcentaje Retenido en la Malla Nº4 (%)	55.57
Porcentaje que pasa la Malla Nº4 (%)	44.43
Gravedad especifica de los sólidos	2.57

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA CIUDAD DE AYACUCHO"

Solicitante : Bach/Ing. YOBER DE LA CRUZ MORALES

Region : AYACUCHO

Cantera : RIO CACHI

Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO Y FINO

Distrito : AYACUCHO

Fecha : AGOSTO DE 2016

Lugar : CIUDAD UNIVERSITARIA

PORCENTAJE DE VACIOS

IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm ³)	1,346	1,760
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm ³)	1,535	1,926
C	Gravedad Especifica de Masa	2.58	2.57
D	Peso de los Solidos (gr)	2,579	2,566
Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto		47.8	31.4
Porcentaje de Vacios (%) Agregado varillado		40.5	24.9

CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL

IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	248.41	252.40
B	Peso Seco de la muestra (gr)	247.70	251.65
C	Peso del agua en la muestra (gr)	0.71	0.75
D	% de absorcion		2.17
Contenido de Humedad (%)		0.29	0.30
Contenido de Humedad (%)			0.29
Absorcion Efectiva (%)			1.88
Humedad Superficial (%)			-

Nota: El agregado fue muestreado en obra, cuya humedad en ese momento fue la que se determina

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (MTC E 203 - 2000)

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA CIUDAD DE AYACUCHO"
 Solicitante : Bach/Ing. YOBER DE LA CRUZ MORALES Región : AYACUCHO
 Cantera : RIO CACHI Provincia : HUAMANGA
 Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : AYACUCHO
 Fecha : AGOSTO DE 2016 Lugar : CIUDAD UNIVERSITARIA

AGREGADO GRUESO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)

Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,267.0	2,267.0	2,267.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	5,989.0	5,968.0	5,978.5
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	3,722.0	3,701.0	3,711.5
D Volumen del Molde (cm ³)	2,758.2	2,758.2	2,758.2
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,349	1,342	1,346
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)	1,346		

PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO

Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,267.0	2,267.0	2,267.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,492.0	6,510.0	6,501.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,225.0	4,243.0	4,234.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,758.2	2,758.2	2,758.2
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,532	1,538	1,535
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)	1,535		



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO (MTC E 204 - 2000)

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA CIUDAD DE AYACUCHO"

Solicitante : **Bach/Ing. YOBER DE LA CRUZ MORALES**

Region : **AYACUCHO**

Cantera : **RIO CACHI**

CHANCADORA FRANKEKA

Provincia : **HUAMANGA**

Material : **AGREGADO GRUESO 3/4"**

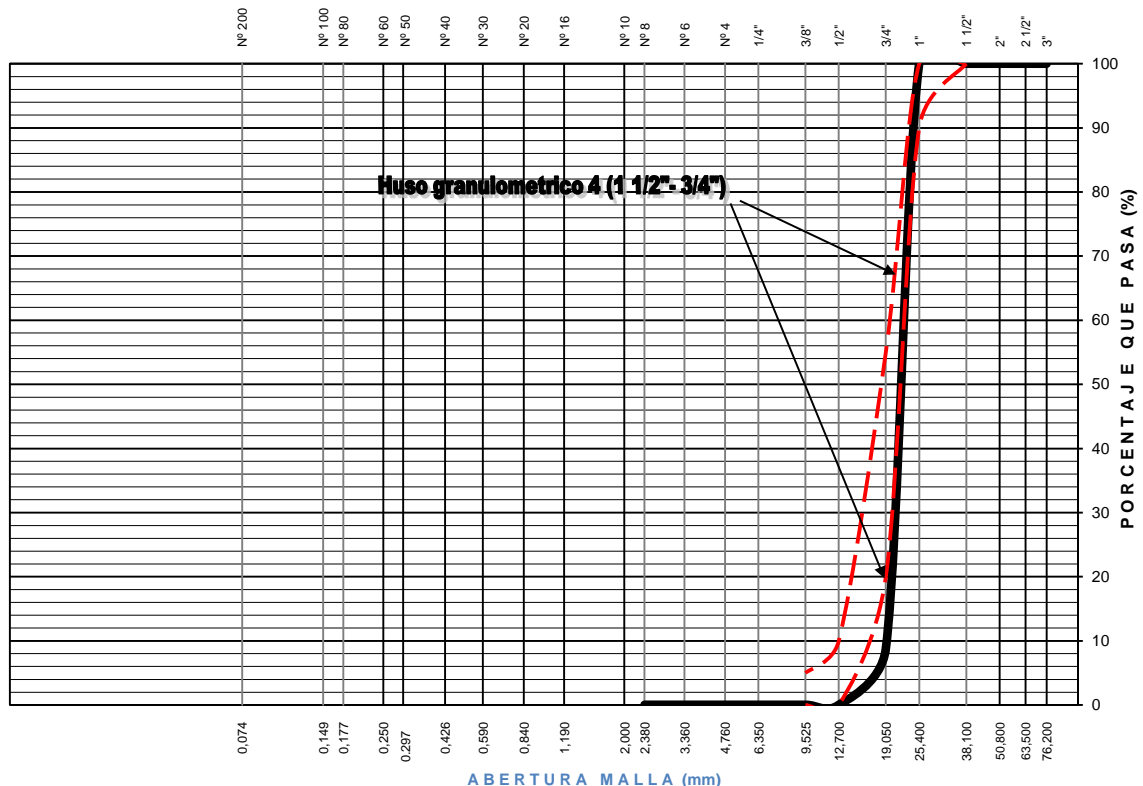
Distrito : **AYACUCHO**

Fecha : **AGOSTO DE 2016**

Lugar : **CIUDAD UNIVERSITARIA**

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO 4 (1 1/2" a 3/4")	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
3"	76.200	-	-	-	100.00		PESOS (gr)
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.00		Peso seco inicial 4328.0
2"	50.800	-	-	-	100.00	100 - 100	Peso seco lavado 4327.1
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.00	90 - 100	Pérdida por lavado 0.9
1"	25.400	-	-	-	100.00	20 - 55	ENSAYOS ESTÁNDAR
3/4"	19.050	3,948.00	91.22	91.22	8.78	0 - 15	% Grava 100.0
1/2"	12.700	378.44	8.74	99.96	0.04		% Arena 0.0
3/8"	9.525	-	-	99.96	0.04	0 - 5	% de Finos 0.0
1/4"	6.350	-	-	99.96	0.04		D ₁₀ = D _{e(mm)} = 19.1349
Nº 4	4.760	-	-	99.96	0.04		D _{30(mm)} = 20.5272
Nº 8	2.380	-	-	99.96	0.04		D _{60(mm)} = 22.6155
Nº 10	2.000	-	-	99.96	0.04		Cu = 1.18
Nº 16	1.190	-	-	99.96	0.04		Cc = 0.97
Nº 20	0.840	0.08	0.00	99.97	0.03		D _{15(mm)} = 19.4830
Nº 30	0.590	0.08	0.00	99.97	0.03		D _{50(mm)} = 21.9194
Nº 40	0.426	0.48	0.01	99.98	0.02		D _{85(mm)} = 24.3558
Nº 50	0.297	-	-	99.98	0.02		Clasificación SUCS GP
Nº 60	0.250	-	-	99.98	0.02		GRAVA MAL GRADUADA
Nº 80	0.177	-	-	99.98	0.02		Tamaño Maximo (Pulg)" 1
Nº 100	0.149	-	-	99.98	0.02		Tamaño Maximo Nominal (Pulg)" 3/4
Nº 200	0.075	-	-	99.98	0.02		Gravedad especifica 2.58
Lavado		0.90	0.02	100.00	0.00		Módulo de Fineza 7.91
TOTAL		4328.0	100.0				Superficie especifica (cm ² /gr) 1.22

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO



LIMO Y ARCILLA	ARENA			GRAVA		BOLEOS/ BLOQUE
	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA	

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA CIUDAD DE AYACUCHO"
 Solicitante : Bach/Ing. YOBER DE LA CRUZ MORALES Region : AYACUCHO
 Cantera : RIO CACHI Provincia : HUAMANGA
 Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : AYACUCHO
 Fecha : AGOSTO DE 2016 Lugar : CIUDAD UNIVERSITARIA

AGREGADO GRUESO (MTC E 206 - 2000, NTP 400.021)

OBJETIVO: Obtencion de los Pesos Especificos aparente y nominal, asi como la absorcion despues de 24 horas de sumergidos en agua.

DEFINICIONES: En un solido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacios accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado aparente, si se excluye este volumen de vacios al volumen resultante, se le denomina nominal.

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso en el aire de la muestra seca (gr)	504.00	486.00		
B	Peso en el aire de la muestra SSS (gr)	511.00	492.00		
C	Peso sumergido en agua de la muestra SSS (gr)	314.00	305.00		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C)	2.56	2.60		2.58
	Peso Especifico Aparente SSS = B/(B-C)	2.59	2.63		2.61
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C)	2.65	2.69		2.67
	% de Absorción = ((B - A)/A) x 100	1.39	1.23		1.31

AGREGADO FINO (MTC E 205 - 2000)

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso al aire de la muestra secada (gr)	157.00	156.00		
B	Peso del Picnometro aforado lleno de agua (gr)	667.00	657.00		
C	Peso del Picnometro con la muestra y agua (gr)	766.00	755.00		
D	Peso de la muestra en SSS (gr)	160.00	159.00		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C+S)	2.57	2.56		2.57
	Peso Especifico Aparente SSS = S/(B-C+S)	2.62	2.61		2.61
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C+B)	2.71	2.69		2.70
	% de Absorción = ((S - A)/A) x 100	1.91	1.92		1.92

Porcentaje Retenido en la Malla Nº4 (%)	56.69
Porcentaje que pasa la Malla Nº4 (%)	43.31
Gravedad especifica de los sólidos	2.57

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA CIUDAD DE AYACUCHO"

Solicitante : Bach/Ing. YOBER DE LA CRUZ MORALES Region : AYACUCHO

Cantera : RIO CACHI Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO Y FINO Distrito : AYACUCHO

Fecha : AGOSTO DE 2016 Lugar : CIUDAD UNIVERSITARIA

PORCENTAJE DE VACIOS			
IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm ³)	1,268	1,760
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm ³)	1,442	1,926
C	Gravedad Especifica de Masa	2.58	2.57
D	Peso de los Solidos (gr)	2,579	2,566
Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto		50.8	31.4
Porcentaje de Vacios (%) Agregado varillado		44.1	24.9
CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL			
IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	113.57	94.08
B	Peso Seco de la muestra (gr)	112.82	93.45
C	Peso del agua en la muestra (gr)	0.75	0.63
D	% de absorcion		2.17
Contenido de Humedad (%)		0.66	0.67
Contenido de Humedad (%)			0.67
Absorcion Efectiva (%)			1.50
Humedad Superficial (%)			-

Nota: El agregado fue muestreado en obra, cuya humedad en ese momento fue la que se determina

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (MTC E 203 - 2000)

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA CIUDAD DE AYACUCHO"

Solicitante : Bach/Ing. YOBER DE LA CRUZ MORALES Región : AYACUCHO

Cantera : RIO CACHI Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : AYACUCHO

Fecha : AGOSTO DE 2016 Lugar : CIUDAD UNIVERSITARIA

AGREGADO GRUESO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)

Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	5,403.0	5,403.0	5,403.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	17,362.0	17,353.0	17,357.5
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	11,959.0	11,950.0	11,954.5
D Volumen del Molde (cm ³)	9,429.7	9,429.7	9,429.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,268	1,267	1,268
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)	1,268		

PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO

Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	5,403.0	5,403.0	5,403.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	18,999.0	19,010.0	19,004.5
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	13,596.0	13,607.0	13,601.5
D Volumen del Molde (cm ³)	9,429.7	9,429.7	9,429.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,442	1,443	1,442
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)	1,442		

**ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO
 (MTC E 204 - 2000)**

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA CIUDAD DE AYACUCHO"

Solicitante : **Bach/Ing.YOBER DE LA CRUZ MORALES**

Cantera : **RIO CACHI** CHANCADORA FRANKKA

Material : **AGREGADO GRUESO 3/8"**

Fecha : **AGOSTO DE 2016**

Region : **AYACUCHO**

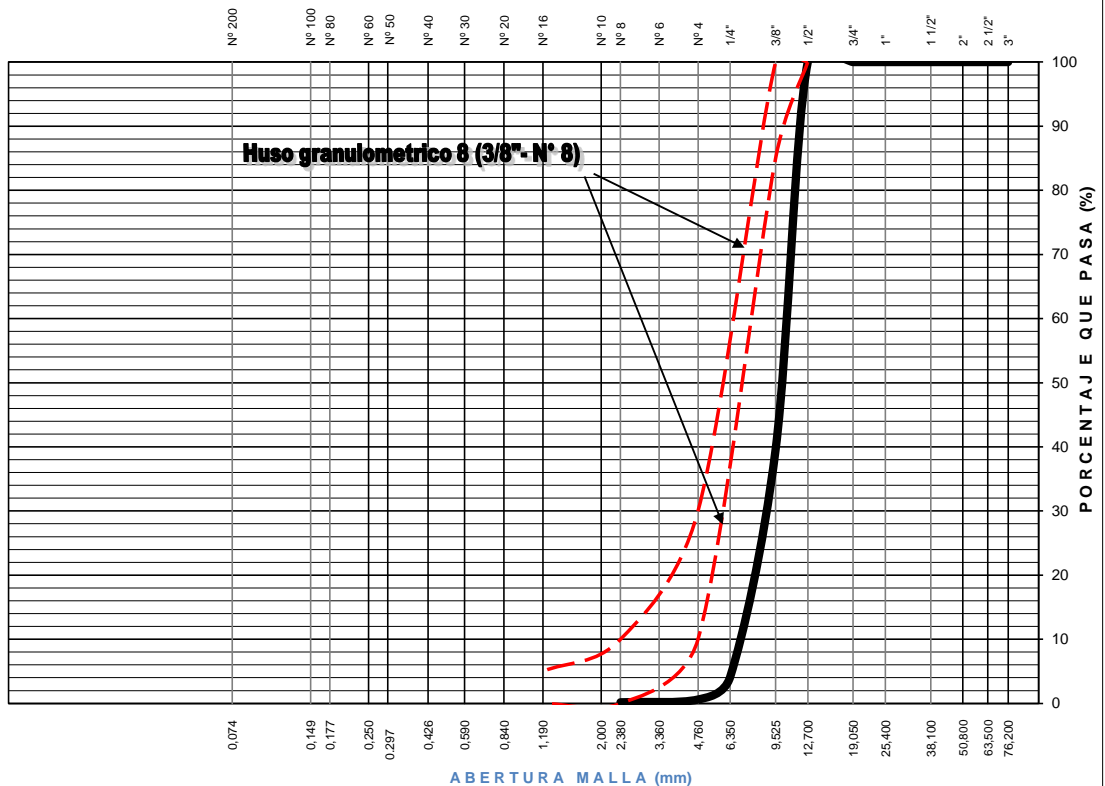
Provincia : **HUAMANGA**

Distrito : **AYACUCHO**

Lugar : **CIUDAD UNIVERSITARIA**

TAMIZ	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO 8 (3/8" a N° 8)	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
3"	76.200	-	-	-	100.00		PESOS (gr)
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.00		Peso seco inicial 3262.0
2"	50.800	-	-	-	100.00		Peso seco lavado 3259.5
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.00		Pérdida por lavado 2.5
1"	25.400	-	-	-	100.00		ENSAYOS ESTÁNDAR
3/4"	19.050	-	-	-	100.00		% Grava 99.4
1/2"	12.700	-	-	-	100.00		% Arena 0.5
3/8"	9.525	1,970.00	60.39	60.39	39.61	100 - 100	% de Finos 0.1
1/4"	6.350	1,156.00	35.44	95.83	4.17	85 - 100	D ₁₀ = D _{60(mm)} = 6.8724
N° 4	4.760	116.32	3.57	99.40	0.60	10 - 30	D _{30(mm)} = 8.6642
N° 8	2.380	14.10	0.43	99.83	0.17	0 - 10	D _{60(mm)} = 10.5971
N° 10	2.000	0.20	0.01	99.84	0.16	0 - 5	Cu = 1.54
N° 16	1.190	0.54	0.02	99.85	0.15		Cc = 1.03
N° 20	0.840	0.26	0.01	99.86	0.14		D _{15(mm)} = 7.3204
N° 30	0.590	0.26	0.01	99.87	0.13		D _{50(mm)} = 10.0714
N° 40	0.426	0.24	0.01	99.87	0.13		D _{85(mm)} = 11.9114
N° 50	0.297	0.18	0.01	99.88	0.12		Clasificación SUCS GP
N° 60	0.250	0.20	0.01	99.89	0.11		GRAVA MAL GRADUADA
N° 80	0.177	0.26	0.01	99.89	0.11		Tamaño Maximo (Pulg)" 1/2
N° 100	0.149	0.20	0.01	99.90	0.10		Tamaño Maximo Nominal (Pulg)" 3/8
N° 200	0.075	0.78	0.02	99.92	0.08		Gravedad especifica 2.49
Lavado		2.50	0.08	100.00	-0.00		Módulo de Fineza 6.59
TOTAL		3262.0	100.0				Superficie especifica (cm ² /gr) 3.15

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO



LIMO Y ARCILLA	ARENA			GRAVA		BOLEOS/BLOQUE
	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA	

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA CIUDAD DE AYACUCHO"

Solicitante : Bach/Ing.YOBER DE LA CRUZ MORALES

Region : AYACUCHO

Cantera : RIO CACHI

Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO

Distrito : AYACUCHO

Fecha : AGOSTO DE 2016

Lugar : CIUDAD UNIVERSI'

PORCENTAJE DE VACIOS

IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm ³)	1,325	1,760
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm ³)	1,504	1,926
C	Gravedad Especifica de Masa	2.49	2.57
D	Peso de los Solidos (gr)	2,490	2,566
Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto		46.8	31.4
Porcentaje de Vacios (%) Agregado varillado		39.6	24.9

CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL

IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	186.41	185.68
B	Peso Seco de la muestra (gr)	184.94	184.27
C	Peso del agua en la muestra (gr)	1.47	1.41
D	% de absorcion		2.17
Contenido de Humedad (%)		0.79	0.77
Contenido de Humedad (%)			0.78
Absorcion Efectiva (%)			1.39
Humedad Superficial (%)			-

Nota: El agregado fue muestreado en obra, cuya humedad en ese momento fue la que se determina

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA CIUDAD DE AYACUCHO"
 Solicitante : Bach/Ing. YOBBER DE LA CRUZ MORALES Region : AYACUCHO
 Cantera : RIO CACHI Provincia : HUAMANGA
 Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : AYACUCHO
 Fecha : AGOSTO DE 2016 Lugar : CIUDAD UNIVERSITARIA

AGREGADO GRUESO (MTC E 206 - 2000, NTP 400.021)

OBJETIVO: Obtención de los Pesos Especificos aparente y nominal, así como la absorción después de 24 horas de sumergidos en agua.

DEFINICIONES: En un sólido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacíos accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado aparente, si se excluye este volumen de vacíos al volumen resultante, se le denomina nominal.

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso en el aire de la muestra seca (gr)	558.00	575.00		
B	Peso en el aire de la muestra SSS (gr)	566.00	582.00		
C	Peso sumergido en agua de la muestra SSS (gr)	342.00	351.00		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C)	2.49	2.49		2.49
	Peso Especifico Aparente SSS = B/(B-C)	2.53	2.52		2.52
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C)	2.58	2.57		2.58
	% de Absorción = ((B - A)/A) x 100	1.43	1.22		1.33

AGREGADO FINO (MTC E 205 - 2000)

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso al aire de la muestra secada (gr)	157.00	156.00		
B	Peso del Picnometro aforado lleno de agua (gr)	667.00	657.00		
C	Peso del Picnometro con la muestra y agua (gr)	766.00	755.00		
D	Peso de la muestra en SSS (gr)	160.00	159.00		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C+S)	2.57	2.56		2.57
	Peso Especifico Aparente SSS = S/(B-C+S)	2.62	2.61		2.61
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C+B)	2.71	2.69		2.70
	% de Absorción = ((S - A)/A) x 100	1.91	1.92		1.92

Porcentaje Retenido en la Malla Nº4 (%)	56.39
Porcentaje que pasa la Malla Nº4 (%)	43.61
Gravedad especifica de los sólidos	2.52

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA CIUDAD DE AYACUCHO"

Solicitante : Bach/Ing.YOBER DE LA CRUZ MORALES

Region : AYACUCHO

Cantera : RIO CACHI

Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO

Distrito : AYACUCHO

Fecha : AGOSTO DE 2016

Lugar : CIUDAD UNIVERSITARIA

PORCENTAJE DE VACIOS

IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm ³)	1,325	1,760
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm ³)	1,504	1,926
C	Gravedad Especifica de Masa	2.49	2.57
D	Peso de los Solidos (gr)	2,490	2,566
Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto		46.8	31.4
Porcentaje de Vacios (%) Agregado varillado		39.6	24.9

CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL

IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	186.41	185.68
B	Peso Seco de la muestra (gr)	184.94	184.27
C	Peso del agua en la muestra (gr)	1.47	1.41
D	% de absorcion		2.17
Contenido de Humedad (%)		0.79	0.77
Contenido de Humedad (%)			0.78
Absorcion Efectiva (%)			1.39
Humedad Superficial (%)			-

Nota: El agregado fue muestreado en obra, cuya humedad en ese momento fue la que se determina

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (MTC E 203 - 2000)

Proyecto : "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE EN LAS PRINCIPALES CALLES DE LA CIUDAD DE AYACUCHO"
 Solicitante : Bach/Ing.YOBER DE LA CRUZ MORALES Región : AYACUCHO
 Cantera : RIO CACHI Provincia : HUAMANGA
 Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : AYACUCHO
 Fecha : AGOSTO DE 2016 Lugar : CIUDAD UNIVERSITARIA

AGREGADO GRUESO

PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)

Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,267.0	2,267.0	2,267.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	5,920.0	5,924.0	5,922.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	3,653.0	3,657.0	3,655.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,758.2	2,758.2	2,758.2
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,324	1,326	1,325
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)	1,325		

PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO

Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,267.0	2,267.0	2,267.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	6,412.0	6,420.0	6,416.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,145.0	4,153.0	4,149.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,758.2	2,758.2	2,758.2
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,503	1,506	1,504
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)	1,504		

DISEÑO AJUSTADO	HUSO N°4		HUSO N° 6		HUSO N°8	
	15%	25%	15%	25%	15%	25%
mento IP (Km/n	497.02	369.1	499.29	369.1	499.29	369.1
Agua (L/M3)	173.96	129.18	174.75	129.18	174.75	129.18
Ag. Grueso	1310.8	1277.57	1319.6	1286.14	1333.87	1300.04
Agua/Cemento	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35

PARA EL HUSO N° 8 CON 15%

PESO UNITARIO DE CONCRETO				
N° DE ENSAYO		Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03
A	Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B	Peso concreto+ Molde (gr)	8,381.6	8,373.3	8,377.4
C	Peso Concreto (gr) = (B)-(A)	5,615.6	5,607.3	5,611.4
D	Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E	Peso Unitario (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,983	1,980	1,982
PROMEDIO (Kg/m³)		1,982		

PARA EL HUSO N°8 CON 25%

PESO UNITARIO DE CONCRETO				
N° DE ENSAYO		Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03
A	Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B	Peso concreto+ Molde (gr)	8,124.6	8,302.3	8,213.4
C	Peso Concreto (gr) = (B)-(A)	5,358.6	5,536.3	5,447.4
D	Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E	Peso Unitario (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,892	1,955	1,924
PROMEDIO (Kg/m³)		1,924		

PARA EL HUSO N° 6 CON 15%

PESO UNITARIO DE CONCRETO				
N° DE ENSAYO		Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03
A	Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B	Peso concreto+ Molde (gr)	7,967.0	7,955.0	7,961.0
C	Peso Concreto (gr) = (B)-(A)	5,201.0	5,189.0	5,195.0
D	Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E	Peso Unitario (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,837	1,832	1,835
PROMEDIO (Kg/m³)		1,835		

PARA EL HUSO N° 6 CON 25%

PESO UNITARIO DE CONCRETO				
N° DE ENSAYO		Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03
A	Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B	Peso concreto+ Molde (gr)	7,909.0	7,929.0	7,919.0
C	Peso Concreto (gr) = (B)-(A)	5,143.0	5,163.0	5,153.0
D	Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E	Peso Unitario (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,816	1,823	1,820
PROMEDIO (Kg/m³)		1,820		

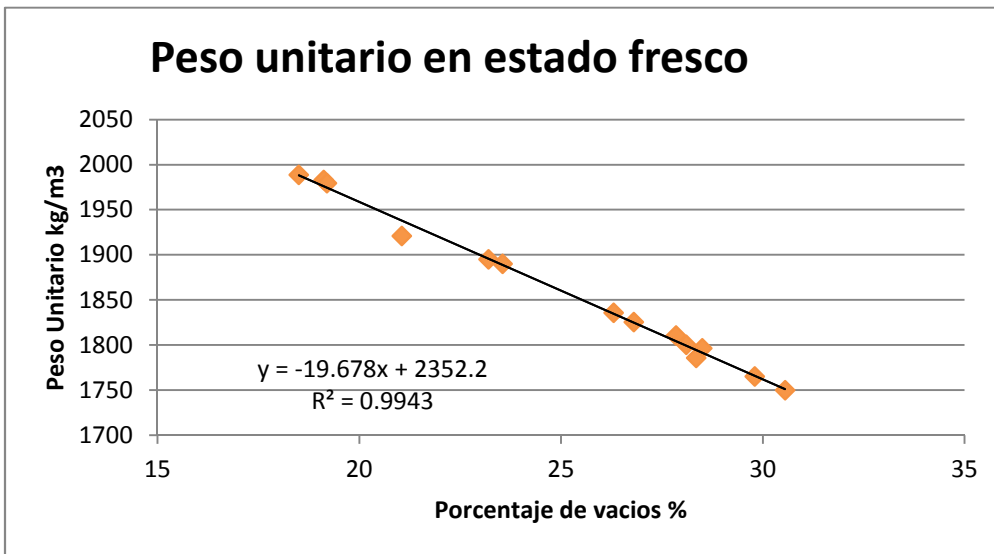
PARA EL HUSO N° 4 CON 15%

PESO UNITARIO DE CONCRETO				
N° DE ENSAYO		Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03
A	Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B	Peso concreto+ Molde (gr)	7,972.0	7,769.0	7,870.5
C	Peso Concreto (gr) = (B)-(A)	5,206.0	5,003.0	5,104.5
D	Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E	Peso Unitario (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,838	1,767	1,803
PROMEDIO (Kg/m³)		1,803		

PARA EL HUSO N° 4 CON 25%

PESO UNITARIO DE CONCRETO				
N° DE ENSAYO		Ensayo N° 01	Ensayo N° 02	Ensayo N° 03
A	Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B	Peso concreto+ Molde (gr)	7,783.0	7,772.0	7,777.5
C	Peso Concreto (gr) = (B)-(A)	5,017.0	5,006.0	5,011.5
D	Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E	Peso Unitario (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,772	1,768	1,770
PROMEDIO (Kg/m³)		1,770		

	D	U
1	1988.56	18.5
2	1982.82	19.12
3	1979.35	19.2
4	1920.80	21.05
5	1895.00	23.2
6	1889.89	23.55
7	1835.65	26.3
8	1825.55	26.8
9	1800.35	28.1
10	1810.62	27.85
11	1796.35	28.5
12	1750	30.55
13	1765.25	29.8
14	1785.64	28.35



Canteras	Forma	Peso Especifico	Ecuaciones para Peso	Coeficiente Correlacion	D=Peso Unitario (kg/m3)	
					U=15%	U=25%
Frankeka	angular	1272.48	2352.2-19.67	R=0.99	2349.25	2347.28

APENDICE B

INGEOTECON

CONSULTORES Y EJECUTORES EN INGENIERIA
 AREA DE LABORATORIO DE GEOTECNIA Y CONCRETO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DEL CONCRETO
NORMAS ASTM C 39 / MTC E 704 - 2000

PROYECTO : : TESIS "Pavimentos Permeables como Alternativa de
 Drenaje en las principales Calles de La ciudad de
 Ayacucho, Per u".

SOLICITA : : ING. BACH. YOBER DE LA CRUZ MORALES

RESPONSABLES :

: AYACUCHO

: HUAMANGA

MUESTRA : : TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO POROSO

: AYACUCHO

FECHA INFORME : : 2016

: CIUDAD UNIVERSITARIA

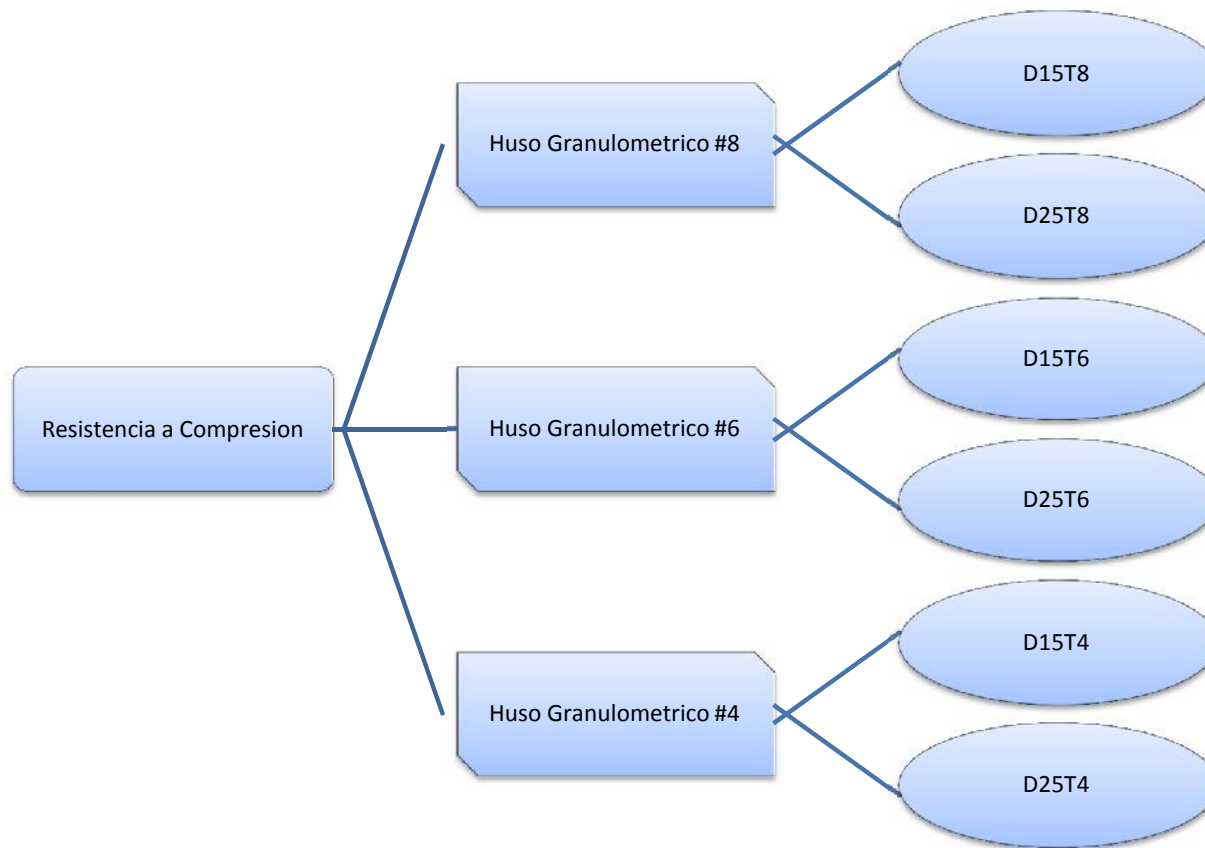
Nº	TIPO DE MUESTRA	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (Días)	DIÁMETRO ESPECIM. (cm)	DIÁMETRO ESPECIM. (m)	ALTURA DEL ESPECIM. (cm)	PESO DEL ESPECIM. (kg)	LECTURA DIGITAL (KN)	LECTURA DIGITAL (Kg)	RESISTENCIA DEL ESPÉCIMEN (Mpa)	RESISTENCIA DEL ESPÉCIMEN (Kg / cm2)	PROMEDIO (Kg / cm2)
1	D15T8	22/08/16	29/08/16	7	15.124	0.151	30.287	10.753	12.104	12,104.03	673.76	67.38	65.77
2		22/08/16	29/08/16	7	15.135	0.151	30.869	10.615	11,542	11,542.17	641.55	64.16	
3	D15T8	22/08/16	05/09/16	14	15.198	0.152	30.271	10.742	171.01	17,473.04	9.43	96.32	90.57
4		22/08/16	05/09/16	14	15.160	0.152	30.271	10.748	149.86	15,312.03	8.30	84.83	
5	D15T8	22/08/16	19/09/16	28	15.218	0.152	30.652	10.745	230.40	23,541.25	12.67	129.43	124.72
6		22/08/16	19/09/16	28	15.215	0.151	30.652	10.887	213.56	21,820.61	11.93	120.01	
7	D25T8	22/08/16	29/08/16	7	15.212	0.152	30.652	10.769	99.68	10,184.86	5.48	56.04	53.30
8		22/08/16	29/08/16	7	15.213	0.152	30.652	10.867	89.96	9,191.71	4.95	50.57	

9		22/08/16	05/09/16	14	15.212	0.152	30.652	10.877	121.36	12,387.65	6.68	68.16	81.66
	D25T8												
10		22/08/16	05/09/16	14	15.211	0.152	30.652	10.887	169.58	17,292.35	9.33	95.16	
11		22/08/16	19/09/16	28	15.125	0.151	30.547	10.742	184.65	18,866.72	10.28	105.01	104.09
	D25T8												
12		22/08/16	19/09/16	28	15.124	0.152	30.330	10.745	181.39	18,533.63	10.00	103.17	
13		22/08/16	29/08/16	7	15.167	0.152	30.748	10.743	112.56	11,500.88	6.23	63.66	66.27
	D15T6												
14		22/08/16	29/08/16	7	15.218	0.152	30.909	10.689	122.63	12,529.79	6.74	68.89	
15		22/08/16	05/09/16	14	15.214	0.152	30.881	11.026	144.15	14,728.61	7.93	81.02	79.60
	D15T6												
16		22/08/16	05/09/16	14	15.163	0.152	30.446	11.652	138.18	14,118.62	7.65	78.19	
17		22/08/16	19/09/16	28	15.167	0.152	30.748	11.109	152.36	15,583.01	8.43	86.25	91.58
	D15T6												
18		22/08/16	19/09/16	28	15.159	0.152	30.657	11.032	171.01	17,490.48	9.48	96.91	
19	huso #6	22/08/16	29/08/16	7	15.167	0.152	30.321	11.524	62.16	6,351.23	3.44	35.15	36.50
	D25T6												
20		22/08/16	29/08/16	7	15.198	0.152	30.731	11.127	67.19	6,865.18	3.70	37.84	
21		22/08/16	05/09/16	14	15.178	0.152	30.652	11.325	77.74	7,935.20	4.30	43.86	42.23
	D25T6												
22		22/08/16	05/09/16	14	15.169	0.152	30.875	11.426	71.89	7,338.07	3.98	40.60	
23		22/08/16	19/09/16	28	15.204	0.152	30.760	11.050	89.56	9,141.71	4.93	50.35	52.62
	D25T6												
24		22/08/16	19/09/16	28	15.096	0.151	30.692	11.537	96.24	9,823.56	5.38	54.89	

25		22/08/16	29/08/16	7	15.083	0.151	30.616	11.130	50.91	5,206.95	2.85	29.14	31.20
	D15T4												
26		22/08/16	29/08/16	7	15.218	0.152	30.231	10.169	59.16	6,050.74	3.25	33.27	40.10
	D15T4												
27		22/08/16	05/09/16	14	15.214	0.152	30.482	11.056	69.25	7,082.72	3.81	38.96	49.96
	D15T4												
28		22/08/16	05/09/16	14	15.212	0.152	30.152	11.163	73.28	7,494.90	4.03	41.24	26.93
	D15T4												
29		22/08/16	19/09/16	28	15.211	0.152	30.098	10.986	85.64	8,759.05	4.71	48.20	36.20
	D15T4												
30	huso #4	22/08/16	19/09/16	28	15.167	0.152	30.186	11.263	91.37	9,345.10	5.06	51.72	40.70
	D25T4												
31		22/08/16	29/08/16	7	15.159	0.152	30.215	11.253	43.02	4,399.98	2.38	24.38	38.95
	D25T4												
32		22/08/16	29/08/16	7	15.215	0.152	30.415	11.325	52.34	5,358.54	2.88	29.47	36.20
	D25T4												
33		22/08/16	05/09/16	14	15.443	0.154	20.584	11.025	68.24	6,993.34	3.64	37.34	40.70
	D25T4												
34		22/08/16	05/09/16	14	15.172	0.152	30.497	11.099	61.85	6,338.48	3.42	35.06	40.70
	D25T4												
35		22/08/16	19/09/16	28	15.214	0.152	30.265	11.145	75.29	7,715.83	4.14	42.44	38.95
	D25T4												
36		22/08/16	19/09/16	28	15.235	0.152	30.459	10.985	69.28	7,099.92	3.80	38.95	

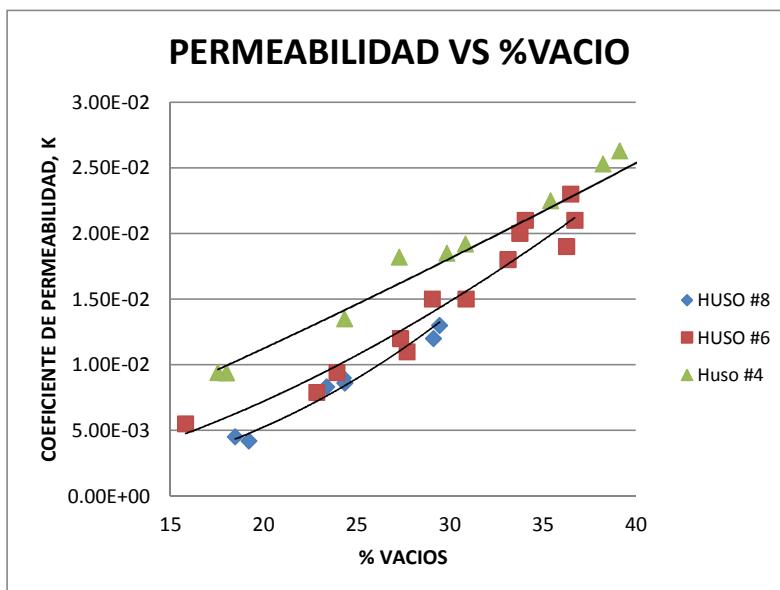
OBSERVACIONES

- Los testigos de concreto han sido elaborados y curados en el laboratorio.



RESULTADO DE ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Diseño	Porcentaje de Vacios (%)	Coficiente de Permeabilida	Coficiente de Permeabilidad, k(m/s)	Coficiente de Permeabilidad , k(in/min)
HUSO #8	18.49	4.50E-01	4.50E-03	10.63
	19.22	4.20E-01	4.20E-03	9.92
	23.4	8.30E-01	8.30E-03	19.61
	24.29	9.00E-01	9.00E-03	21.26
	24.37	8.60E-01	8.60E-03	20.31
	29.13	1.20E+00	1.20E-02	28.35
	29.46	1.30E+00	1.30E-02	30.71
HUSO #6	15.82	5.50E-01	5.50E-03	12.99
	22.86	7.90E-01	7.90E-03	18.66
	23.95	9.40E-01	9.40E-03	22.20
	27.36	1.20E+00	1.20E-02	28.35
	27.7	1.10E+00	1.10E-02	25.98
	29.07	1.50E+00	1.50E-02	35.43
	30.88	1.50E+00	1.50E-02	35.43
	33.14	1.80E+00	1.80E-02	42.52
	33.76	2.00E+00	2.00E-02	47.24
	34.06	2.10E+00	2.10E-02	49.61
	36.28	1.90E+00	1.90E-02	44.88
	36.50	2.30E+00	2.30E-02	54.33
HUSO #4	36.72	2.10E+00	2.10E-02	49.61
	18.02	9.38E-01	9.38E-03	22.16
	17.56	9.40E-01	9.40E-03	22.20
	24.35	1.35E+00	1.35E-02	31.89
	27.3	1.82E+00	1.82E-02	42.99
	29.85	1.85E+00	1.85E-02	43.70
	30.85	1.92E+00	1.92E-02	45.35
	35.42	2.25E+00	2.25E-02	53.15
	38.24	2.53E+00	2.53E-02	59.76
39.12	2.63E+00	2.63E-02	62.13	
45.78	2.49E+00	2.49E-02	58.82	



RESISTENCIA A LA COLMATACION

Estado de la muestra	Cantidad de sedimento (kg/cm2)	Pendientes evaluadas de la muestra (%)
Superficie Recien Colocada	0	0,2,4,6,10
Superficie Colmatada al maximo	6	0,2,4,6,10
Superficie Colmatada al maximo con mantenimiento	B-PA	0,2,4,6,10

RECIEN COLOCADA

PENDIENTE 0

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL POR CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
1.000	7.5	14.51	14.51
2.000	9.8	18.96	33.46
3.000	15.4	29.79	63.25
4.000	10.6	20.50	83.75
5.000	8.4	16.25	100.00
6.000			
volumen total	51.7	100.00	

PENDIENTE 2

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	7.1	13.73	13.73
R2	9.5	18.38	32.11
R3	10.48	20.27	52.38
R4	11.67	22.57	74.95
R5	12.86	24.87	99.83
R6	0.09	0.16	
volumen total	51.7	99.99	

PENDIENTE 4

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	5.15	9.96	9.96
R2	7.73	14.95	24.91
R3	11.64	22.51	47.43
R4	13.28	25.69	73.11
R5	13.68	26.46	99.57
R6	0.22	0.43	100.00
volumen total	51.70	100.00	

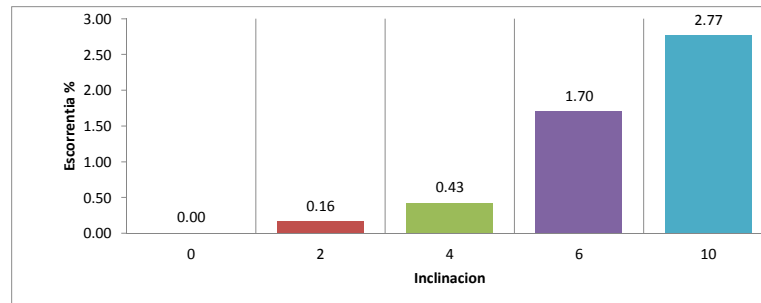
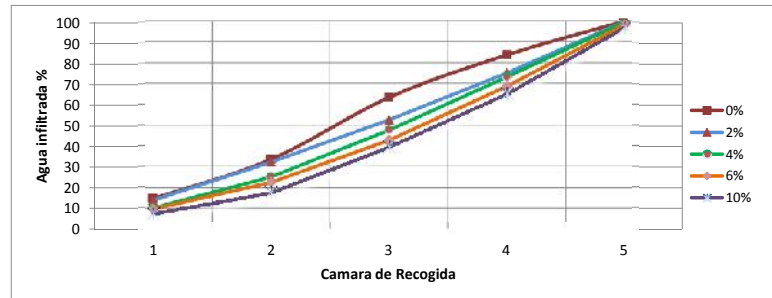
PENDIENTE 6

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	4.95	9.57	9.57
R2	6.55	12.67	22.24
R3	10.52	20.35	42.59
R4	13.45	26.02	68.61
R5	15.35	29.69	98.30
R6	0.88	1.70	100.00
volumen total	51.70	100.00	

PENDIENTE 10

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	3.85	7.45	7.45
R2	5.23	10.12	17.56
R3	11.39	22.03	39.59
R4	13.24	25.61	65.20
R5	16.56	32.03	97.23
R6	1.43	2.77	100.00
volumen total	51.70	100	

GRAFICO DE ENSAYOS DE INFILTRACION DE CAMTABRO



COLMATADA AL MAXIMO

PENDIENTE 0

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL POR CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
1.000	5.36	10.37	10.37
2.000	7.24	14.00	24.37
3.000	8.67	16.77	41.14
4.000	9.36	18.10	59.25
5.000	6.58	12.73	71.97
6.000	14.49	28.03	
volumen total	51.7	100.00	

PENDIENTE 2

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	5.28	10.21	10.21
R2	6.57	12.71	22.92
R3	7.26	14.04	36.96
R4	7.33	14.18	51.14
R5	8.52	16.48	67.62
R6	16.74	32.38	
volumen total	51.70	100.00	

PENDIENTE 4

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	3.25	6.29	6.29
R2	5.20	10.06	16.34
R3	6.32	12.22	28.57
R4	6.74	13.04	41.61
R5	7.84	15.16	56.77
R6	22.35	43.23	100.00
volumen total	51.70	100.00	

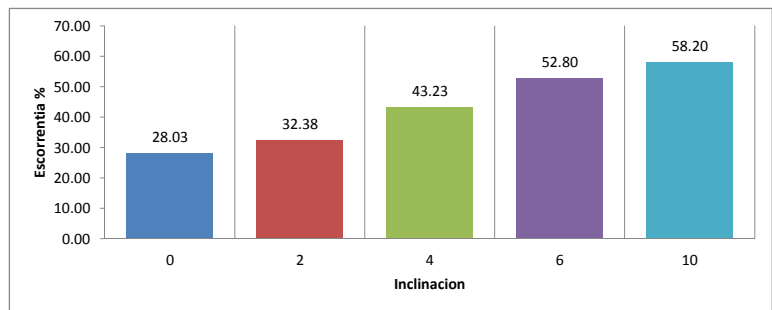
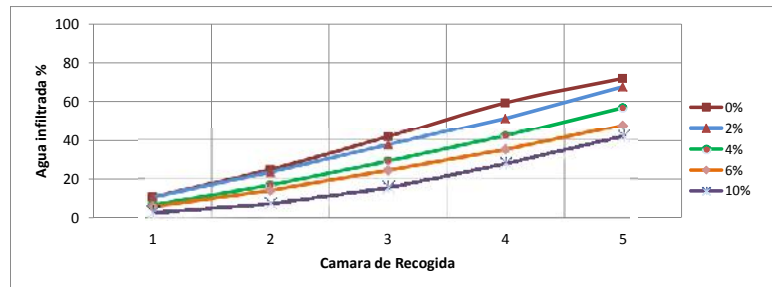
PENDIENTE 6

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	2.8	5.42	5.42
R2	4.26	8.24	13.66
R3	5.36	10.37	24.02
R4	5.45	10.54	34.56
R5	6.53	12.63	47.20
R6	27.30	52.80	100.00
volumen total	51.70	100.00	

PENDIENTE 10

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	1.35	2.61	2.61
R2	2.38	4.60	7.21
R3	4.21	8.14	15.36
R4	6.38	12.34	27.70
R5	7.29	14.10	41.80
R6	30.09	58.20	100.00
volumen total	51.70	100.00	

GRAFICO DE ENSAYOS DE INFILTRACION DE CAMTABRO



RECIEN COLMATADA CON MANTENIMIENTO

PENDIENTE 0

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL POR CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
1.000	9.3	17.99	17.99
2.000	10.2	19.73	37.72
3.000	11.5	22.24	59.96
4.000	10.35	20.02	79.98
5.000	10.35	20.02	100.00
6.000			
volumen total	51.7	100.00	

PENDIENTE 2

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	8.51	16.46	16.46
R2	10.52	20.35	36.81
R3	10.56	20.43	57.23
R4	10.57	20.44	77.68
R5	11.35	21.95	99.63
R6	0.19	0.37	
volumen total	51.7	100.00	

PENDIENTE 4

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	6.15	11.90	11.90
R2	7.73	14.95	26.85
R3	11.3	21.86	48.70
R4	12.7	24.56	73.27
R5	13.4	25.92	99.19
R6	0.42	0.81	100.00
volumen total	51.70	100.00	

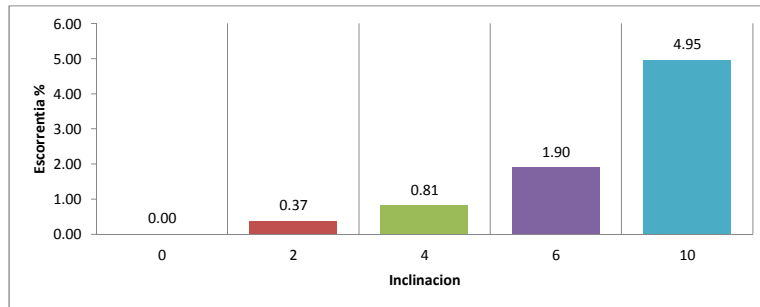
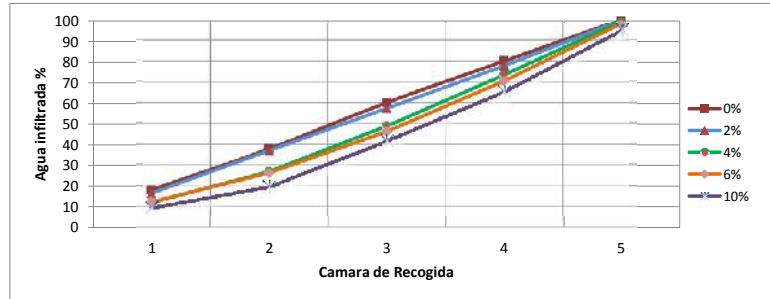
PENDIENTE 6

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	6.34	12.26	12.26
R2	7.20	13.93	26.19
R3	10.28	19.88	46.07
R4	12.55	24.27	70.35
R5	14.35	27.76	98.10
R6	0.98	1.90	100.00
volumen total	51.70	100.00	

PENDIENTE 10

CAMARAS	VOLUMEN TOTAL CAMARA (LT.)	VOLUMEN (%)	VOLUMEN ACUMULADO (%)
R1	4.95	9.57	9.57
R2	5.25	10.15	19.73
R3	11.4	22.05	41.78
R4	12.27	23.73	65.51
R5	15.27	29.54	95.05
R6	2.56	4.95	100.00
volumen total	51.70	100.00	

GRAFICO DE ENSAYOS DE INFILTRACION DE CAMTABRO



Porcentaje de infiltración de agua respecto a la pendiente de la muestra y cantidad de					
Agregado Empleado		Pendiente	Recien colocado (%)	Colmatado al maximo (%)	Colmatado al maximo con
Forma	Cantera				
		0	100	71.97	100
		2	99.83	67.62	99.63
Angular	Frankeka	4	99.57	56.77	99.19
		6	98.3	47.2	98.10
		10	97.23	41.8	95.05

APENDICE C

Recojo de muestras para la elaboración de concreto poros Cantera Frankeka.

Foto N° 1



Dosificación y pesaje de muestras para la elaboración de concreto poroso.

Foto N° 2



Dosificación y pesaje de muestras para la elaboración de concreto poroso.

Foto N° 3



Determinación de peso unitario

Foto N° 4



Control de vacíos mediante medidor de aire olla de Washington

Foto N° 5



Elaboración de especímenes con distintos husos y porcentajes de vacíos.

Foto N° 6



Proceso de desencofrado y curado

Foto N° 7



Curado de las muestras

Foto N° 8



Verificación de la permeabilidad

Foto N° 9



Preparación de muestras para ensayos de permeabilidad.

Foto N° 10



Colocación y compactación de material filtrante de base.

Foto N° 11



Colocación y compactación de concreto permeable.

Foto N° 12



Medición de peso y dimensiones para rotura de probetas a los 7, 14 y 28 días .

Foto N° 13



Ensayos de compresión del concreto poroso.

Foto N° 14



Falla a compresión del concreto poroso

Foto N° 15



Lectura de equipo de compresión

Foto N° 16



Falla cónica del concreto permeable

Foto N° 17



Ensayos con el simulador de lluvia

Foto N° 18



Ensayos de velocidad de infiltración.

Foto N° 19



Ensayos de velocidad de infiltración

Foto N°20



Ensayos de escorrentía a distintos pendientes.

Foto N° 21



Ensayo de colmatación para huso N°8 con 15% de vacíos.

Foto N° 22



Ensayo de colmatación para huso N°8 con 25% de vacíos.

Foto N° 23



Lavado a presión de la muestra

Foto N° 24

