

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD GEOTECNICA DEL USO DE
PAVIMENTOS DRENANTES EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA UNIVERSIDAD
PONTIFICIA BOLIVARIANA – BUCARAMANGA



RICARDO ANDRES CALDERÓN MONTERO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

SECCIONAL BUCARAMANGA

2019

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD GEOTECNICA DEL USO DE
PAVIMENTOS DRENANTES EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA UNIVERSIDAD
PONTIFICIA BOLIVARIANA – BUCARAMANGA



PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

RICARDO ANDRES CALDERÓN MONTERO

Director(a):

JOSE LUIS RODRIGUEZ BROCHERO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

SECCIONAL BUCARAMANGA

2019

Página dedicatoria

Dedico este proyecto a Dios quien fue que me guio
en este camino y me permitió lograr mis objetivos,

Y a mi familia por ser mi ejemplo a seguir y
darme el apoyo constante y motivación en todo momento
gracias a ellos he culminado esta etapa.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por ser el inspirador y darme la fuerza para culminar este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. Gracias Dios mío porque me permites sonreír a cada momento y ante todos mis logros que son resultado de tu ayuda.

Agradezco a mis padres, Luis Alexander Calderón Bracho y Lisandra María Montero Rueda, por su amor, trabajo, sacrificio y ser mi apoyo constante y darme la motivación en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy hoy.

A mis hermanos Alexander Calderón Bracho y Paula Andrea Calderón Bracho por estar siempre presentes, acompañándome y dándome apoyo moral.

Gracias a la Universidad Pontificia Bolivariana por permitirme ser parte de ella, por capacitarme y con sus valiosos fundamentos éticos para enfrentarme a los retos de la vida laboral, así también aquellos docentes en especial a José Luis Rodríguez Brochero, que me brindaron conocimiento y apoyo.

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	7
2.	RESUMEN.....	¡Error! Marcador no definido.
3.	OBJETIVOS.....	8
3.1	OBJETIVO GENERAL	8
3.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	8
4.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	9
4.1	Pavimentos drenantes.....	9
4.2	Infiltración de agua en los suelos	11
4.3	Ensayo de percolación.....	11
4.3.1	Los infiltrómetros de disco a tensión	12
4.3.2	Ensayo de percolación con regla graduada milimetrica.....	13
4.4	Ensayos de infiltración de laboratorio.....	16
4.5	Caracteristicas para el diseño de pavimentos drenantes.....	18
4.6	Trabajos relacionados al pavimento drenante	19
5	METODOLOGÍA	21
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	24
6.1	CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA	24
6.1.1	Análisis granulométrico de suelos por tamizado.....	24

6.1.2	Determinación del límite líquido y límite plástico de los suelos.	25
6.1.3	Determinación de la gravedad específica de los suelos.	26
6.1.4	Clasificación de suelos por el método de Sucs y Aashto	28
6.1.5	Densidad o masa unitaria del suelo en el terreno método del cono de arena.....	28
6.1.6	Percolación con regla graduada milimétrica	29
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
8	ANEXOS	33
9	BIBLIOGRAFÍA	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procedimiento del ensayo de infiltración “EPM (1998)”	15
Figura 2 . diagrama de huecos de aire en lugar versus permeabilidad. (Mallick R 2003).....	20
Figura 3. Puntos escogidos para ensayos. (google maps)	22
Figura 4. Puntos escogidos para ensayos. elaboración propia	22
Figura 5. Granulometría por lavado. Elaboración propia	24
Figura 6. Límites de consistencia. Elaboración propia.	25
Figura 7. Adaptado de (Mallick R 2003).	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 . Clasificación De Terrenos según Resultados De Prueba De Percolación.....	15
Tabla 2. Instrumentos utilizados en las investigaciones llevadas a cabo en las últimas décadas sobre distintas superficies permeables.	16
Tabla 3. Instrumentos utilizados en las investigaciones llevadas a cabo en las últimas décadas sobre distintas superficies permeables.	17
Tabla 4. Programa experimental	21
Tabla 5. Gravedad especifica	26
Tabla 6. gravedad especifica	26
Tabla 7. Gravedad especifica	27
Tabla 8. Gravedad especifica	27
Tabla 9. Clasificación de suelos	28
Tabla 10. Densidad de campo	28
Tabla 11. Percolación con regla graduada milimétrica	29
Tabla 12. Ensayo de percolación Edificio I	34
Tabla 13. Ensayo de percolación Parqueadero profesores	35
Tabla 14. Ensayo de percolación Templo	35
Tabla 15. Ensayo de percolación Parqueadero K.....	36
Tabla 16. Densidad del suelo Edificio I	37
Tabla 17. Densidad del suelo Parqueadero de profesores	37
Tabla 18. Densidad del suelo Templo.....	38
Tabla 19. Densidad del suelo Parqueadero K	38
Tabla 20. Granulometría Edificio I	39
Tabla 21. Granulometría Parqueadero Profesores.....	40

Tabla 22. Granulometría Templo	40
Tabla 23. Granulometría Parqueadero K.....	41
Tabla 24. Límites de consistencia edificio I.....	41
Tabla 25. Límites de consistencia Parqueadero de profesores	42
Tabla 26. Límites de consistencia Templo.....	42
Tabla 27. Límites de consistencia Parqueadero K	43

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Prueba del cono y arena Edificio I	43
Ilustración 2. Prueba del cono y arena Edificio I	44
Ilustración 3. Prueba de percolación edificio I.....	44
Ilustración 4. Prueba del cono y arena Parqueadero de profesores	45
Ilustración 5. Prueba de percolación Parqueadero de profesores.	45
Ilustración 6. Prueba del cono y arena Templo	46
Ilustración 7. Prueba del cono y arena Parqueadero K.....	46
Ilustración 8. Granulometría por lavado.....	47
Ilustración 9. Granulometría por lavado.....	47
Ilustración 10. Limite liquido por método de Casagrande	48
Ilustración 11. Ensayo de Gravedad especifica	48

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD GEOTECNICA DEL USO DE PAVIMENTOS DRENANTES EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – BUCARAMANGA

AUTOR(ES): Ricardo Andres Calderón Montero

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Jose Luis Rodriguez Brochero

RESUMEN

Los pavimentos drenantes son secciones compuestas de varias capas de materiales de construcción que permiten el paso del agua a través suyo, además se han venido desarrollando como una tendencia de construcción sostenible para la utilización del drenaje urbano y además ofrecen la capacidad para soportar un tráfico determinado. En el siguiente proyecto se analizó y desarrolló ensayos de laboratorio de caracterización y ensayos de campo de percolación en el suelo del campus de la Universidad pontificia bolivariana seccional Bucaramanga, donde inicialmente se desarrollaron los ensayos de campo midiendo la percolación en el suelo por el método de regla graduada milimétrica y luego se desarrollaron los ensayos de laboratorio haciendo una caracterización geotécnica de suelos, el cual se utilizó para hacer una comparación con los autores encontrados en la literatura, donde al comparar los resultados obtenidos se encontró que el suelo de la universidad pontificia bolivariana es de percolación lenta en algunos puntos y los otros puntos es de percolación normal o rápida, con esto podemos concluir que solo se puede colocar pavimentos drenantes en puntos específicos dentro de la universidad pontificia bolivariana.

PALABRAS CLAVE:

Pavimentos drenantes, ensayo de percolación, caracterización geotécnica.

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: STUDY TO DETERMINE THE GEOTECHNIC FEASIBILITY OF THE USE OF DRAINING PAVEMENTS IN THE UNIVERSITY CAMPUS OF THE PONTIFICAL UNIVERSITY BOLIVARIANA - BUCARAMANGA

AUTHOR(S): Ricardo Andres Calderón Montero

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Jose Luis Rodriguez Brochero

ABSTRACT

The draining pavements are sections composed of several layers of construction materials that allow the passage of water through it, they have also been developed as a sustainable construction trend for the use of urban drainage and also offer the ability to support a given traffic. In the following project was analyzed and developed laboratory tests of characterization and percolation field trials in the soil of the campus of the Pontifical Bolivarian University section Bucaramanga, where initially the field trials were developed by measuring the percolation in the soil by the method of millimetric graduated rule and then the laboratory tests were developed making a geotechnical characterization of soils, which was used to make a comparison with the authors found in the literature, where when comparing the obtained results it was found that the soil of the Bolivarian Pontifical University It is slow percolation in some points and the other points is normal or rapid percolation, with this we can conclude that you can only place drainage pavements at specific points within the Pontifical Bolivarian University.

KEYWORDS:

Draining pavements, percolation test, characterization geotechnical.

1. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos drenantes son sistemas de drenaje sostenible más ampliamente utilizadas en el mundo. Desde los primeros estudios llevados a cabo a principios de los años 70 del siglo XX en Estados Unidos, se ha venido demostrando su alta capacidad como elemento de control de la escorrentía superficial. Los pavimentos drenantes son secciones compuestas de diferentes capas de materiales de construcción que permiten el paso del agua a través suyo, y a su vez ofrecen la capacidad portante necesaria para resistir un tráfico determinado. Adicionalmente, se ha observado que estos pavimentos pueden presentar beneficios ambientales, ya que en algunos casos su presencia contribuye a la disminución de estancamientos de agua, disminución en las temperaturas y cargas de contaminantes producidas en el proceso de la escorrentía sobre las superficies urbanas. Los pavimentos drenantes son utilizados principalmente en zonas de alta densidad, donde el espacio es limitado y en superficies de pendientes menores o iguales al 5% con el fin de evitar estancamientos de agua en la superficie y dentro de la subbase. Actualmente, el ámbito de aplicación de los pavimentos drenantes no sólo se restringe a zonas residenciales de nueva construcción, sino que además se ha ampliado a zonas renovadas del espacio urbano e incluso se han llevado a cabo experiencias en zonas de servicio en aeropuertos. En Colombia son pocos los estudios y aplicaciones sobre los pavimentos drenantes, sin embargo, se ha realizado algunas investigaciones sobre las propiedades mecánicas en las cuales se han propuestos diseños de mezclas especiales para aumentar la porosidad sin sacrificar las resistencias. (Rodríguez J. 2008); (Trujillo A. 2013); (Sañudo L. 2014).

2. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la viabilidad geotécnica de la subrasante para el uso de pavimentos drenantes en las áreas de parqueadero y andenes dentro del campus universitario de la universidad pontificia bolivariana, sede Bucaramanga.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer las áreas de interés dentro del suelo del campus universitario donde se puedan implementar el uso de pavimentos drenantes.
- Realizar la caracterización geotécnica de los suelos en las áreas de interés
- Ejecutar y evaluar ensayos de campo de percolación con el fin de medir la infiltración en el suelo de la universidad pontificia bolivariana.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A continuación, serán mostrados una serie de estudios relacionados al proyecto en cuestión, además también son expuestos conceptos referentes a los pavimentos drenantes, ensayos de infiltración de campo, como también las normativas correspondientes encontradas en la literatura consultada.

4.1 Pavimentos drenantes

Según Trujillo A. et al (2013), los pavimentos drenantes 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 subrasante, y en conjunto son diseñados para resistir un tráfico de personas, animales y vehículos. Desde el punto de vista estructural, los pavimentos drenantes constituyen un caso intermedio entre los pavimentos rígidos y los flexibles (Palacios E. 2016)

No son considerados como pavimentos drenantes aquellas secciones que cuentan con capas drenantes combinadas con capas impermeable, como por ejemplo mezclas bituminosas porosas sobre mezclas bituminosas cerradas o semicerradas. Estos pavimentos quedan excluidos puesto que la misión de las capas drenantes es únicamente la evacuación del agua hacia los laterales, sin permitir su filtración ni almacenamiento en las capas inferiores, además no se consideran como pavimentos drenantes las superficies de césped que, aun resistiendo un determinado tráfico, no permitan una buena infiltración del agua por una excesiva presencia de limos, arcillas o materia orgánica. (Rodriguez J. 2008)

Los pavimentos drenantes han traído beneficios y resultados exitosos en cuanto al manejo de aguas lluvias, ya que es posible reducir gastos en obras de drenaje y aumentar la seguridad de los

vehículos y personas en circulación, proporcionando tiempos de concentración más elevados que los pavimentos convencionales. Por otro lado, estos ayudan a reducir significativamente la cantidad y la calidad del agua superficial, además de ayudar a mitigar los aumentos de temperatura y de ahorrar agua mediante el reciclaje de esta. Los contaminantes nocivos, como los hidrocarburos y metales pesados en el escurrimiento superficial tienen el potencial de poner en peligro los recursos del suelo y las aguas subterráneas, cuando no son suficientemente biodegradables o eliminados durante la infiltración. (Trujillo A. 2013; Sañudo L. 2014)

En general, los pavimentos drenantes pueden ser utilizados en los estacionamientos, carreteras y otras áreas pavimentadas, son particularmente útiles para las calles y calzadas de zonas residenciales y en áreas de estacionamiento en áreas comerciales. Estos no son efectivos en las áreas que reciben escorrentía con altas cantidades de sedimentos debido a la tendencia de los poros a obstruirse. (Rodriguez J. 2008)

Los pavimentos drenante reducen la cantidad de escorrentía superficial, retardando y reduciendo los picos de ésta que se producen debido a fuertes lluvias. (Sañudo L. 2014; Castro L 2005 et al), muestran las principales ventajas de las superficies drenantes en contraposición a las impermeables, además de la reducción de la escorrentía superficial:

- Disminuyen las puntas de caudal en los sistemas de drenaje y en los cauces receptores.
- Pueden mejorar la calidad del agua en gran medida por filtración, absorción y biodegradación.
- Ofrecen un amplio abanico de acabados superficiales para su inserción en el diseño urbano.
- Su puesta en obra es sencilla.
- Pueden recoger y hacerse cargo de la escorrentía procedente de superficies impermeable adyacentes.

- Son una solución muy flexible que permite ajustar el coste al uso y al tiempo de vida requeridos.
- En general, constituyen una solución más barata que la combinación de superficies impermeable y sistemas de drenaje convencionales.

Diversos autores (Ferguson B.K. 2005; Rodriguez J y Hernandez. 2008) también mencionan algunas de las limitaciones en el uso de los pavimentos drenantes, dentro de las cuales se encuentran la colmatación y la degradación, donde la primera limita la capacidad de infiltración del pavimento drenante, y se debe a los aportes de materiales sueltos, la acción del viento o el régimen de precipitaciones. La degradación se puede deber a ciclos de hielo-deshielo o zonas de alta intensidad de tráfico. Las limitaciones de aplicación de los firmes drenantes se resumen en:

- Desconocimiento y desconfianza
- Áreas industriales contaminadas.
- Zonas con gran aporte de sedimentos.
- Áreas con gran pendiente.
- Carreteras con alta intensidad de tráfico pesado.

4.2 Infiltración de agua en los suelos

La infiltración es el flujo del agua o de otro líquido a través de los poros o grietas de una capa drenante, pudiendo o no llenar el líquido los poros de los materiales granulosos más o menos finos, que rellenan el medio filtrante. (Torres C. 2006).

4.3 Ensayo de percolación

En la literatura se mencionan diversas herramientas para medir la tasa de percolación de agua, entre los que se encuentran por ejemplo los infiltrómetros de disco y el ensayo de percolación con regla graduada milimétrica. (Torres C. 2006)

4.3.1 Los infiltrómetros de disco a tensión

Es frecuente el uso de esta herramienta para determinar propiedades hidráulicas de suelos saturados o cercanos a la saturación. Estas herramientas permiten identificar cuales son los parámetros fundamentales de los que depende el caudal de agua infiltrada, seleccionando determinado rango de presión durante la aplicación de agua. Es una técnica no destructiva, que no modifica el suelo ni su porosidad, y la medición es rápida. En este caso, la infiltración de agua en un suelo no saturado, en condiciones de estado estacionario, refleja las características de la red de poros, formada por relación de partículas sólidas y elementos estructurales. (Ramirez M. , 2017). En Torres C. (2006) se muestra el procedimiento para la ejecución de este ensayo, el cual es descrito a continuación:

- Inicialmente, se realiza una inspección al sitio a investigar para dar las recomendaciones necesarias; días antes de la prueba se revisa y verifica el equipo, tanto de seguridad como el tecnológico para desarrollo del proyecto. Se recomienda que el sitio de investigación no sea un suelo excesivamente rocoso, con árboles cercanos (raíces) o fuentes superficiales cercanas (quebradas, ríos, entre otros).
- En el campo o área del proyecto, el instrumentista del equipo, se coloca lo necesario del equipo de seguridad, posteriormente procede a armar el equipo tecnológico a utilizar; el mismo debe estar listo para su colocación en el sitio de estudio, posteriormente con el GPS, efectué la lectura de las coordenadas del lugar.
- Seguidamente, excave un agujero de 2 cm de profundidad corteza terrestre y de 9 – 20 cm de diámetro, removiendo piedras o raíces que afecten la ejecución del estudio.
- Inserte el Infiltrómetro en el agujero efectuado para verificar su colocación, posteriormente saque el equipo y verifique la marcación de la torre de burbujeo.

- En la torre de burbujeo, ajuste a 17cm de altura del tubo de ventilación y cierre la llave de burbujeo.
- Sumerja el infiltrómetro parcialmente, en un tanque de agua (2gal), y evite la formación de burbujas en la base de la columna de agua, debido que afectan el resultado, posteriormente suelte la bomba de vacío.
- Con la ayuda del molde de 8 cm, prepare una cama de arena circular en el centro del área donde se realizó los agujeros para la colocación del equipo, hasta formar una superficie plana; retire el molde y coloque el infiltrómetro.
- Sincronice el tiempo de inicio de la prueba (el instrumentista y el asistente)
- Libere el tubo de ventilación y anote los datos generados de la prueba, según las indicaciones pre-establecidas.

El procedimiento establece que si la tasa de infiltración es muy rápida, es recomendable abandonar la prueba en ese sitio y ubicar otro a 10m.

4.3.2 Ensayo de percolación con regla graduada milimétrica

De acuerdo al procedimiento dado por Torres C. (2006), el ensayo de percolación con regla graduada milimétrica consta de los siguientes pasos (Figura 1):

- Se prepara una excavación de 0.30x0.30x0.30m de profundidad.
- Se procede a perfilar las paredes de la misma con la finalidad de evitar la erosión, ello se logra con maderas adaptadas a la excavación, lo cual permite dar forma a la misma. La saturación y expansión del suelo se efectúa cuidadosamente adicionando agua limpia la excavación acondicionado hasta una altura de 0.15 m sobre la capa.

Para la determinación de la tasa de percolación, se realiza bajo tres (03) criterios:

- Si el agua permanece en el agujero después del periodo nocturno de expansión, se ajusta la profundidad aproximadamente a 25 cm sobre la grava. Luego utilizando un punto de referencia fijo, se mide el descenso del nivel de agua durante un periodo de 30 min. Este descenso se usa para calcular la tasa de percolación.
- Si no permanece agua en el agujero después del periodo nocturno de expansión, se añade agua hasta lograr una lámina de 15 cm por encima de la capa de grava. Luego, utilizando un punto de referencia fijo, se mide el descenso del nivel de agua a intervalos de 30 minutos aproximadamente, durante un periodo de 4 horas. Cuando se estime necesario se podrá añadir agua hasta obtener un nuevo nivel de 15 cm por encima de la capa de grava. El descenso que ocurre durante el periodo final de 30 minutos se usa para calcular la tasa de absorción o infiltración. Los datos obtenidos en las primeras horas proporcionan información para posibles modificaciones del procedimiento, de acuerdo con las condiciones locales.
- En suelos arenosos o en algunos otros donde los primeros 15 cm de agua se filtran en menos de 30 minutos después del periodo nocturno de expansión, el intervalo de tiempo entre mediciones debe ser de 10 minutos y la duración de la prueba una hora. El descenso que ocurra en los últimos 10 minutos se usa para calcular la tasa de infiltración.

La tasa de percolación se mide de la siguiente manera:

$$\text{Tasa de percolación} = \frac{\text{minutos que tarda la prueba}}{\text{centímetros que baja el agua}}$$

Cuando el resultado de la prueba en el terreno genere tiempos mayores a 12 minutos, no se considera terrenos aptos para la instalación de pisos drenantes (Tabla 1). (Torres C. 2006).

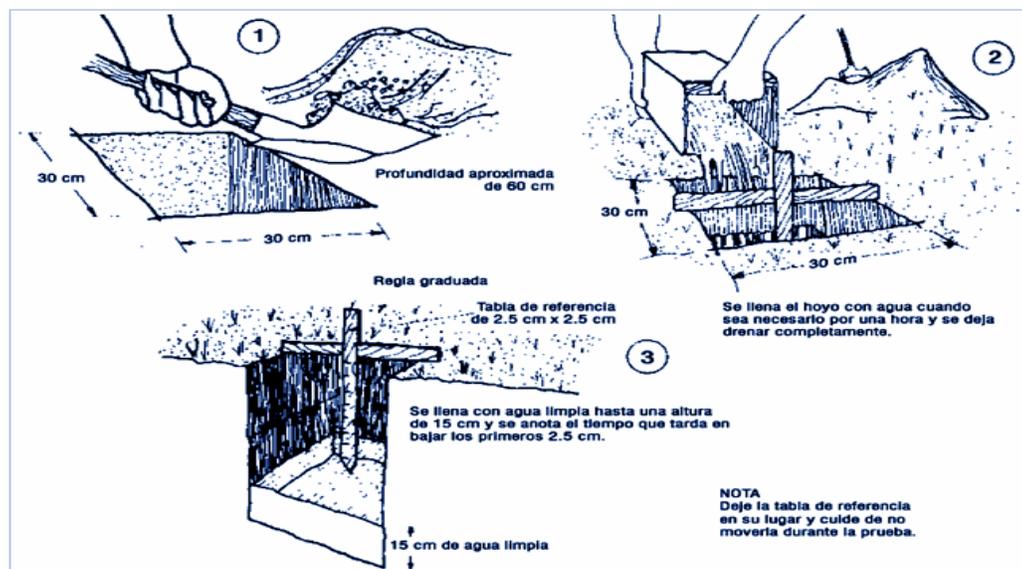


Figura 1. Procedimiento del ensayo de infiltración “EPM (1998)”

Tabla 1. Clasificación De Terrenos según Resultados De Prueba De Percolación

Clasificación De Terrenos Según Resultados De Prueba De Percolación	
Clase de terreno	Tiempo de infiltración para el descenso de 1 cm
Rápidos	De 0 a 4 minutos
Medios	De 4 a 8 minutos
Lentos	De 8 a 12 minutos

Fuente: Norma tecnica I.S. 020

4.4 Ensayos de infiltración de laboratorio

(Sañudo L. 2014) muestra un resumen (Tabla 2 y 3) de las 25 referencias más actuales sobre instrumentos usados en todo el mundo para caracterizar las tasas de infiltración y/o la generación de escorrentía en pavimentos drenantes, tanto en laboratorio como en campo.

Tabla 2. Instrumentos utilizados en las investigaciones llevadas a cabo en las últimas décadas sobre distintas superficies permeables.

Autores	País	Instrumento	Superficie permeable analizada
Nnadi et al. (2014a)	Reino Unido	Portable Laboratory Rainmaker (PLR) y aportación directa de agua	Adoquines impermeables con ranuras
Sañudo-Fontaneda et al. (2014a)	España	Infiltrómetro Cántabro Fijo (ICF) y permeámetro LCS	Adoquines impermeables con ranuras Hormigón poroso Asfalto poroso
Sañudo-Fontaneda et al. (2014b)	España	Infiltrómetro Cántabro Fijo (ICF)	Hormigón poroso Asfalto poroso
Sañudo-Fontaneda et al. (2013)	España	Infiltrómetro Cántabro Fijo (ICF)	Adoquines impermeables con ranuras
Al-Rubaei et al. (2013)	Suecia	Double-ring infiltrometer	Asfalto poroso
Lin et al. (2013)	Taiwán	Rainfall simulation device	Asfalto poroso
Li et al. (2013)	EEUU	ASTM method 1701-C y Simulated field rainfall	Asfalto poroso
Hamzah et al. (2013)	Malasia	Water flow simulator for laboratory	Asfalto poroso
Hamzah et al. (2012)	Malasia	Water flow simulator for laboratory	Asfalto poroso
Rodriguez Hernandez et al. (2012)	España	Infiltrómetro Cántabro Fijo (ICF) – Cantabrian Fixed Infiltrometer (CFI)	Asfalto poroso
Nnadi et al. (2012)	Reino Unido	Test rig to simulate high rainfall events	Adoquines impermeables con ranuras Adoquines impermeables con ranuras
Smith et al. (2012)	EEUU	Single ring infiltrometer ASTM C1701	Asfalto poroso Hormigón poroso
Jung y Kim (2012)	Corea del Sur	Rainmaker simulator	Adoquines impermeables con ranuras

Tabla 3. Instrumentos utilizados en las investigaciones llevadas a cabo en las últimas décadas sobre distintas superficies permeables.

Lucke y Beecham (2011a)	Australia	Double ring infiltrometer	Adoquines impermeables con ranuras
Dougherty et al. (2011)	EEUU	Quick Field Infiltration Test (QFIT) y Modified double ring infiltrometer (MDRIT)	Hormigón poroso
Pappas y Huang (2010)	EEUU	Cascade soil box apparatus	Adoquines impermeables con ranuras
Hassani et al. (2010)	Irán	Infiltration meter apparatus	Adoquines impermeables con ranuras
Chopra et al. (2010)	EEUU	Embedded ring infiltrometer	Hormigón poroso
Pandit y Heck (2009)	Australia	Water distribution system	Hormigón poroso Asfalto poroso
Fernández-Barrera et al. (2008)	España	Infiltrómetro Cántabro Portátil (ICP) y Permeámetro LCS	Hormigón poroso Asfalto poroso
Angullo-Gonzalez (2008)	España	Infiltrómetro Cántabro Fijo (ICF) – Cantabrian Fixed Infiltrometer (CFI)	Adoquines impermeables con ranuras
Castro et al. (2007)	España	Infiltrómetro Cántabro Fijo (ICF) – Cantabrian Fixed Infiltrometer (CFI)	Adoquines impermeables con ranuras
Montes y Haselbach (2006)	EEUU	Falling head permeameter	Hormigón poroso
Davies et al. (2002)	Reino Unido	Infiltrómetro de la Universidad de Coventry - Infiltrometer	Adoquines impermeables con ranuras
Andersen et al. (1999)	Reino Unido	Rainfall simulator for laboratory	Adoquines impermeables con ranuras

Fuente. Luis sañudo (2014)

Como podemos observar, entre los instrumentos más utilizados en los laboratorios esta el Infiltrómetro Cántabro Fijo (ICF), siendo el más utilizado en laboratorio hasta la fecha. Mientras que entre los instrumentos empleados en campo, han destacado por su amplio uso el permeámetro LCS de la Universidad de Cantabria, normalizado a nivel nacional (NLT-327/00 2000) y europeo (EN 12697-40 2013) y el infiltrómetro de anillo empleado en la norma ASTM de Estados Unidos (ASTM C1701 2009).

4.5 Características para el diseño de pavimentos drenantes

Según (Tennis P. et al 2004), el diseño de un pavimento permeable debe considerar muchos factores, las tres características principales fueron: cantidad de lluvia esperada, características del suelo y propiedades subrasantes del suelo.

De acuerdo a la cantidad de lluvia esperada se debe tener en cuenta una cantidad de lluvia para una duración dada y la distribución de esa lluvia durante el período de tiempo especificado. Los diseñadores deben asegurarse de que la permeabilidad sea suficiente para acomodar toda la lluvia cayendo sobre la superficie del pavimento permeable, la capacidad total de almacenamiento del sistema de pavimento permeable incluye la capacidad del pavimento de concreto permeable, la capacidad de cualquier subbase utilizada y la cantidad de agua que se infiltra en la subrasante.

De acuerdo a (Tennis P. 2004). Las características y propiedades del suelo, como regla general, los suelos con una tasa de percolación de (12 mm/h) son adecuados para el subsuelo bajo pavimentos drenantes. Un infiltrómetro de doble anillo o regla graduada milimétrica, proporciona un medio para determinar la tasa de percolación. Los suelos arcillosos y otras capas impermeables pueden obstaculizar el rendimiento de los pavimentos permeables y pueden necesitar ser modificados para permitir la retención adecuada y la percolación de la precipitación. En algunos de los casos, las capas impermeables pueden necesitar ser excavadas y reemplazadas. Si los suelos son impermeables, se debe colocar un mayor espesor de subbase porosa sobre ellos, la profundidad real debe proporcionar el volumen de retención adicional requerido para cada sitio de proyecto en particular, Otra opción en áreas con suelos con mal drenaje es instalar pozos o canales de drenaje a través del subsuelo a capas más permeables o a áreas de retención tradicionales. Estos están rellenos de roca de grado estrecho para crear canales que permiten que las aguas pluviales recarguen aguas subterráneas, en este caso, se debe prestar más atención a los problemas de calidad

del agua, como los contaminantes transmitidos por el agua. Para los suelos existentes que son predominantemente arenosos y permeables, generalmente no se requiere una subbase abierta, a menos que facilite la colocación del equipo, Un subsuelo de arena y grava es adecuado para la colocación del pavimento permeable, (Tennis P. 2004).

4.6 Trabajos relacionados al pavimento drenante

Estudios hechos por (Mallick R 2003). Han indicado que las mezclas drenantes de grado grueso pueden ser excesivamente permeables al agua en niveles de vacío de aire de alrededor del 6 por ciento, la literatura sugiere que varios factores podrían afectar la permeabilidad en los suelos, uno de los factores más destacados fue el nivel de vacío de aire en el suelo, debido a esto también se puede esperar que la vida útil de un pavimento permeable sea más corta que la de un pavimento impermeable, debido al deterioro de la mezcla a través de la infiltración de agua y aire y la posterior remoción, oxidación y endurecimiento del aglutinante. Probablemente el efecto más dañino se produzca a través de la invasión de agua en el pavimento que da como resultado el desgaste. Una vez que el pavimento ha experimentado desgaste, se pueden esperar problemas en el pavimento, como grietas o desmoronamientos superficiales. (Mallick R 2003).

Rajib Mallick et al (2003), realizaron un estudio donde relacionaron el porcentaje de vacíos de campo versus la permeabilidad en el laboratorio del Instituto Politécnico de Worcester (WPI). El cual será mostrado en la figura 2.

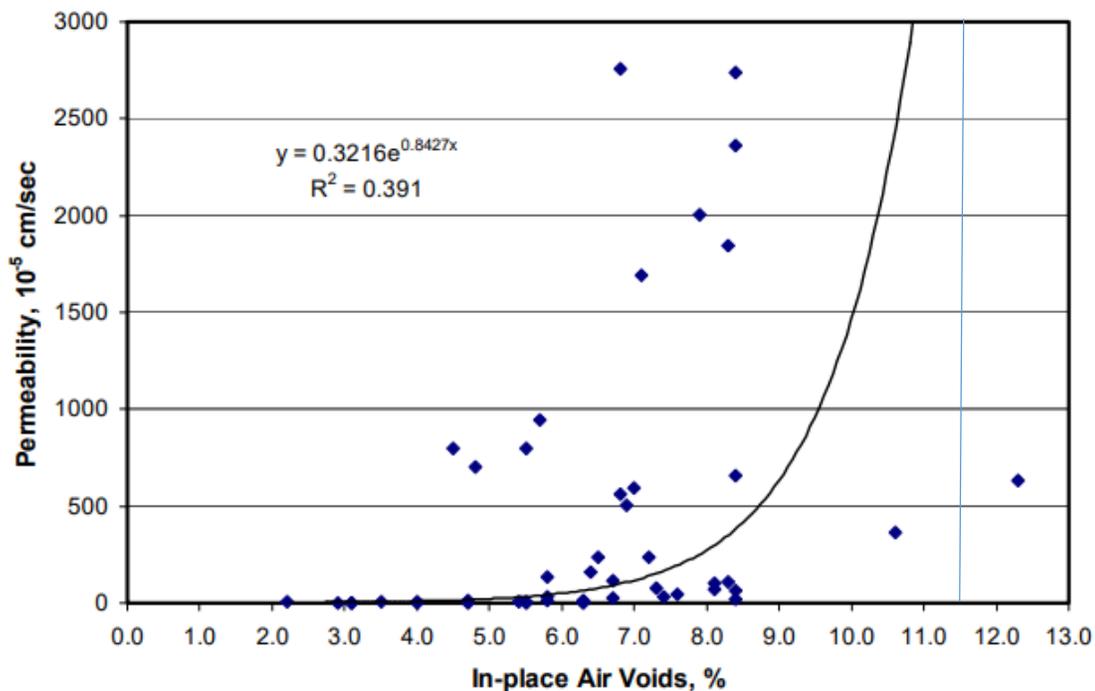


Figura 2 . diagrama de huecos de aire en campo versus permeabilidad. (Mallick R 2003)

Como se puede observar, los datos muestran que a medida que aumentan los vacíos de aire en el lugar, también lo hace la permeabilidad. Sin embargo, los autores generaron la curva a partir de diferentes datos lo cual obtuvieron una correlación que no es la adecuada debido a que es muy baja, para que la correlación sea buena tiene que ser por encima de 0,60 y el resultado es de 0,39, esto significa que la línea que se muestra no representa todos los datos debido a que se encuentran muy dispersos.

5 METODOLOGÍA

A continuación, será mostrado el programa experimental para la realización de este proyecto. Inicialmente se hizo una caracterización geotécnica de los suelos con las muestras extraídas en los cuatro (4) puntos mostrados en las figuras 3 y 4 escogidos dentro del campus universitario de la Universidad Pontificia Bolivariana, teniendo en cuenta que sean puntos cerca de andenes y parqueaderos donde se presentan mayor paso peatonal y vehicular que se puedan beneficiar de estos pavimentos, el cual se determinará por el suelo que tenga la mejor viabilidad de acuerdo al suelo de mayor permeabilidad. Para esto son realizados ensayos granulométricos y ensayos de límites de atterberg. Para determinar la tasa de infiltración del suelo local, es implementada la prueba de percolación con regla graduada milimétrica de acuerdo a lo mostrado en la revisión bibliográfica. En la tabla 4 son relacionados la cantidad de ensayos a ser ejecutados.

Tabla 4. Programa experimental

<i>Programa Experimental</i>			
<u>ENSAYOS</u>	<u>PRUEBAS</u>	<u>NORMA</u>	<u>TIPO</u>
Limite Liquido	12	I.N.V. E – 125 – 13	Laboratorio
Limite Plástico	12	I.N.V. E – 126 – 13	Laboratorio
Granulometría	3	I.N.V. E – 123 – 13	Laboratorio
Infiltración	3	percolación con regla graduada milimétrica norma I.S. 020	Campo
Cono de arena	3	I.N.V. E – 161 – 13	Campo
Gravedad específica de los solidos	3	I.N.V. E – 128 - 13	Laboratorio

Fuente: elaboración propia

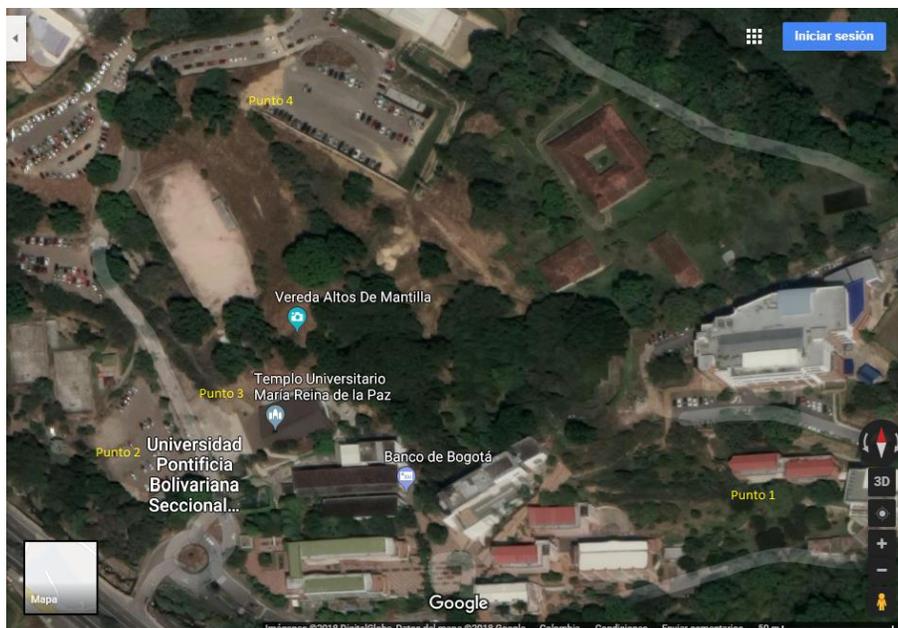


Figura 3. Puntos escogidos para ensayos. (google maps)



Figura 4. Puntos escogidos para ensayos. elaboración propia

Para el ensayo de percolación con regla graduada milimétrica, se hizo bajo los parámetros dados por la norma I.S 020. En los 4 puntos escogidos para la determinación de la tasa de percolación. En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos, y en la sección de anexos se encuentra los resultados y procedimientos detallados.

Luego de hacer el ensayo de percolación se hizo el ensayo de densidad o masa unitaria por el método del cono y arena el cual se hizo en los mismos puntos donde se hicieron los ensayos de percolación, para este método tomamos de referencia la norma I.N.V.E-161-13. En la tabla 5 veremos los resultados obtenidos. Para ver detalladamente los resultados y procedimientos ir a la parte de anexos.

Posteriormente se tomaron muestras de los puntos seleccionados para hacer los ensayos de laboratorios el cual primero se hizo la granulometría por lavado para saber cuánta cantidad de finos tenía la muestra, luego fueron secados al horno por veinticuatro horas y posteriormente se hizo el tamizado de las muestras cada una por separado tomando en cuenta la norma I.N.V.E-123-13, donde los resultados obtenidos fueron los siguientes relacionados en la gráfica 1. Para observar mejor el paso a paso y procedimientos ir a la parte de anexos.

Para el ensayo de límite líquido y límite plástico se tomó una porción de la muestra extraída de los puntos seleccionados en campo y se procedió a hacer el ensayo tomando por referencia las normas I.N.V.E-125-13 y I.N.V.E-126-13, donde el material fue secado por veinticuatro horas y luego se procedió a hacer la prueba por el método de casa grande, en donde los resultados obtenidos se pueden observar en la gráfica 2. Para ver los resultados y procedimientos ver en los anexos.

Para la gravedad específica se hizo bajo la norma I.N.V.E-128-13 para esto se tomó otra parte de la muestra extraída de los puntos escogidos para los ensayos de percolación el cual siguiendo el procedimiento de dicha norma se dieron los resultados que pueden ser vistos en los anexos.

6 ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación, serán mostrados los resultados y análisis obtenidos de las pruebas mencionadas anteriormente.

6.1 CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA

6.1.1 Análisis granulométrico de suelos por tamizado

Inicialmente se muestran los resultados de forma aislada de los ensayos de laboratorio y de campo ejecutados para esta investigación y posteriormente son utilizados para realizar su clasificación y generación de conclusiones.

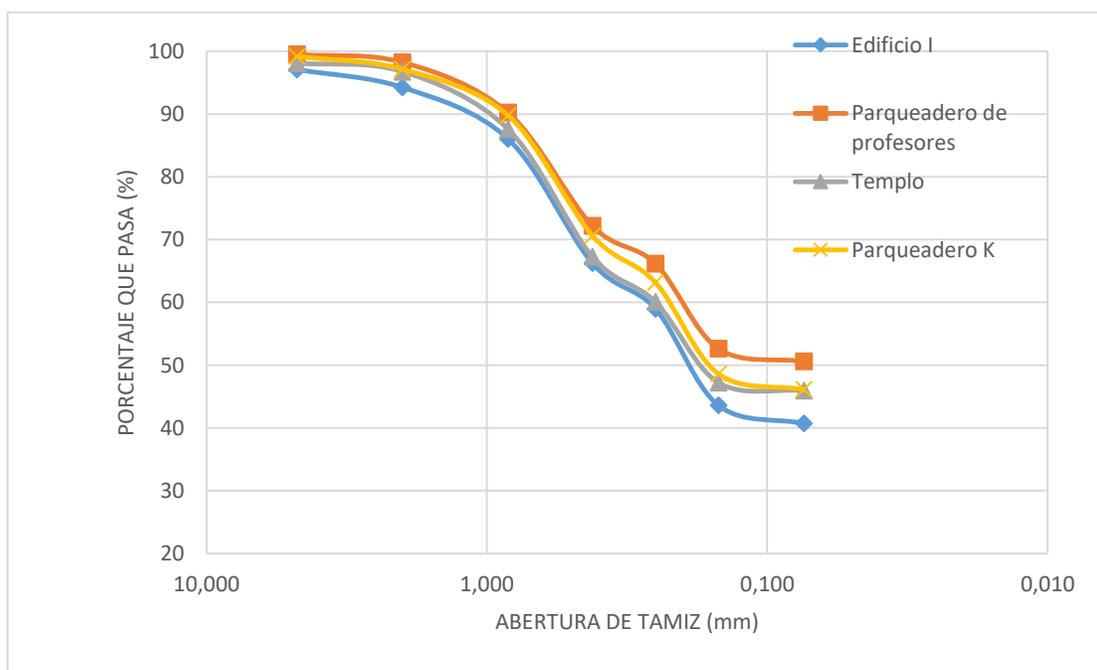


Figura 5. Granulometría por lavado. Elaboración propia

En este ensayo pudimos observar que se obtuvieron resultados de porcentajes de grava que varían entre 0,51% y 2,41%, porcentajes de arena que varían entre 48,9% y 56,4%, siendo que el material fino se encuentra entre El 40% y el 50%. Los suelos estudiados son típicamente arenosos con un importante contenido de finos.

6.1.2 Determinación del límite líquido y límite plástico de los suelos.

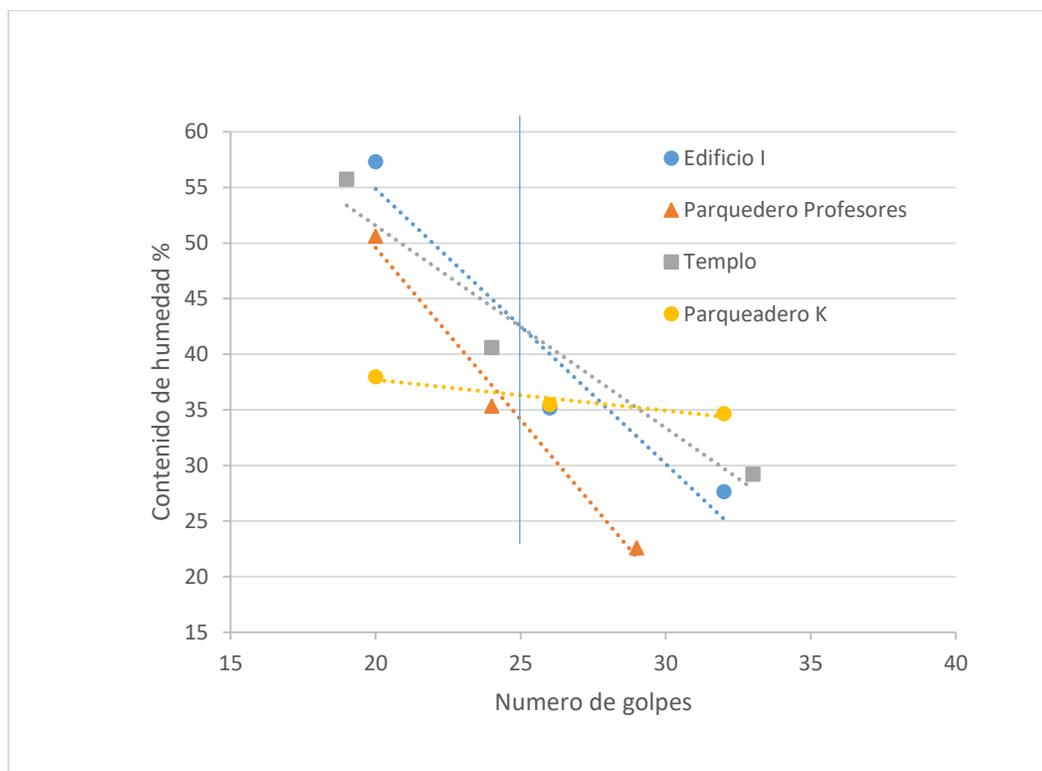


Figura 6. Límites de consistencia. Elaboración propia.

Como se puede observar en la gráfica de límites de consistencia, el límite líquido de los suelos varía entre un 35% y un 39%. El límite plástico se encuentra entre un 22% y un 32%, obteniendo valores de índice de plasticidad variando entre un 1% y un 14%, siendo estos considerados como suelos de baja plasticidad.

6.1.3 Determinación de la gravedad específica de los suelos.

Tabla 5. Gravedad específica

Edificio I	
Descripción	Resultado
peso de la muestra (g)	75,01
peso picnómetro (g)	160,96
peso picnómetro + agua (g)	420,4
peso picnómetro + agua + peso muestra (g)	703,8
Temperatura del agua	25°
gravedad específica relativa	2,59

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. gravedad específica

Parqueadero de profesores	
Descripción	resultado
peso de la muestra (g)	75,02
peso picnómetro (g)	160,96
peso picnómetro + agua (g)	420,4
peso picnómetro + agua + peso muestra (g)	703,46
Temperatura del agua	25°
gravedad específica relativa	2,56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Gravedad especifica

Templo	
Descripción	Resultado
peso de la muestra (g)	75,02
peso picnómetro (g)	160,96
peso picnómetro + agua (g)	414,25
peso picnómetro + agua + peso muestra (g)	703,84
Temperatura del agua	25°
gravedad especifica relativa	2,59

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Gravedad especifica

Parqueadero K	
Descripción	Resultado
peso de la muestra (g)	75
peso picnómetro (g)	160,96
peso picnómetro + agua (g)	418,23
peso picnómetro + agua + peso muestra (g)	703,42
Temperatura del agua	25°
gravedad especifica relativa	2,55

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos muestran que todos los puntos poseen con gravedades especificas similares, variando entre 2,55 hasta 2,59. Para ver detalladamente los cálculos ver en los anexos.

6.1.4 Clasificación de suelos por el método de Sucs y Aashto

Tabla 9. Clasificación de suelos

Edificio I (Punto 1)	
Método SUCS: SC-Arena arcillosa	
Método AASHTO: suelo arcilloso A6 (4)	
Parqueadero Profesores (Punto 2)	
Método SUCS: ML-limos inorgánicos	
Método AASHTO: suelo limoso A4 (10)	
Templo (Punto 3)	
Método SUCS: SM-Arena limosa	
Método AASHTO: suelo limoso A4 (8)	
Parqueadero K (Punto 4)	
Método SUCS: SM-Arena limosa	
Método AASHTO: suelo limoso A4 (8)	

Fuente: Elaboración propia

Tomando los resultados de la clasificación granulométrica, así como de los límites de atterberg Podemos definir que el material se clasifica como suelos arcillosos, arena arcillosa, limosos y arena limosa tanto por el método Sucs como por el método Aashto.

6.1.5 Densidad o masa unitaria del suelo en el terreno método del cono de arena

Tabla 10. Densidad de campo

Edificio I (Punto 1)	
Contenido de humedad (%)	12,87
Densidad seca de campo (g/cm ³)	1,714
Parqueadero de profesores (Punto 2)	
Contenido de humedad (%)	20,81
Densidad seca de campo (g/cm ³)	1,475
Templo (punto 3)	
Contenido de humedad (%)	16,94
Densidad seca de campo (g/cm ³)	1,481
Parqueadero K (Punto 4)	
Contenido de humedad (%)	17,54
Densidad seca de campo (g/cm ³)	1,422

Fuente: Elaboración propia

Este ensayo fue hecho para determinar el porcentaje de vacíos en campo junto con el ensayo de peso específico con lo cual se podría comparar con el grafico mostrado por (Mallick R 2003) y determinar si los resultados se coinciden con la curva propuesta por este autor. Se puede observar que los pesos específicos secos varían entre 1,422g/cm³ y 1,714g/cm³ y los contenidos de humedad entre 12,87% y 20,81%. Este ensayo fue realizado aprovechando la excavación hecha para realizar el ensayo de percolación, siendo que este fue ejecutado a 30cm de la superficie actual del terreno, siendo evaluado el mismo suelo que para el ensayo de percolación.

6.1.6 Percolación con regla graduada milimétrica

Tabla 11. Percolación con regla graduada milimétrica

	TASA DE PERCOLACIÓN	NORMA I.S 020	TORRES C.	TENNIS P.
PUNTO 1 EDIFICIO I	252 mm/h	RAPIDOS	APTO	RAPIDOS
	2,38 minutos/cm			
PUNTO 2 PARQUEADERO DE PROFESORES	8 mm/h	LENTOS	NO APTO	LENTOS
	75 minutos/cm			
PUNTO 3 TEMPLO	8 mm/h	LENTOS	NO APTO	LENTOS
	75 minutos/cm			
PUNTO 4 PARQUEADERO K	16 mm/h	LENTOS	NO APTO	RAPIDOS
	37,5 minutos/cm			

Nota: según el criterio de (torres c. 2006) los terrenos se consideran aptos o no aptos para usos de pavimentos drenantes

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en los resultados obtenidos tres de los puntos analizados en la universidad pontificia bolivariana cuenta con una tasa de percolación lenta, solo el primer punto cuenta con una tasa de percolación rápida de acuerdo al procedimiento y cálculos obtenidos de (Torres C. 2006). Y la tabla 1 de la norma I.S. 020, lo que quiere decir que sobre este suelo no es recomendable colocar pavimentos permeables y en algunos casos necesitaría ser remplazado de acuerdo a (Tennis P. 2004) ya que el agua se estancaría debido a que el terreno natural no es permeable.

Fue calculado el porcentaje de vacíos con aire en campo, con el objetivo de sobreponerlos al grafico mostrado por (Mallick R 2003). El cálculo de estos porcentajes de vacíos fue realizado aprovechando las propiedades e índices calculados y puede verse en anexos.

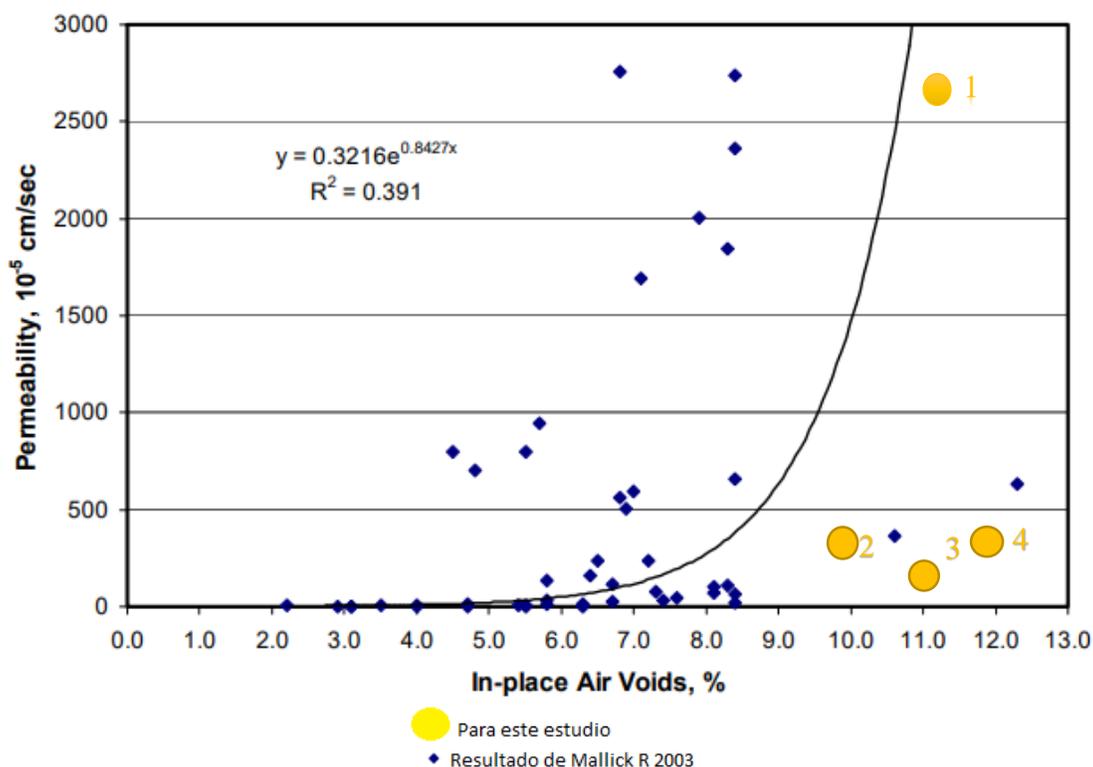


Figura 7. Adaptado de (Mallick R 2003).

Como se puede observar los resultados están por fuera de la curva de tendencia hecha por (Mallick R 2003), siendo el más cercano del punto 1 que corresponde al edificio I. obteniéndose una permeabilidad de 7×10^{-3} cm/s, se puede ver que la permeabilidad del punto 1 es más alta que la de los otros 3 puntos que se encuentran entre 2×10^{-4} cm/s y 4×10^{-4} cm/s. Lo anterior es debido a que este punto se encuentra encima de un relleno que se produjo por la remoción del talud de la construcción del edificio. De otro lado, la permeabilidad de los otros 3 puntos sondeados es muy similar y no se encajan de manera satisfactoria en la corrección mostrada por (Mallick R 2003), estos resultados son esperados ya que la tendencia de la curva presentada por Mallick tiene una correlación muy baja

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se determinó la viabilidad geotécnica de la subrasante del suelo realizando pruebas de percolación, el cual se ejecutó en cuatro puntos de la Universidad pontificia bolivariana, sede Bucaramanga, teniendo en cuenta que estos puntos fueran cercanos a parqueadero y andenes el cual es el objetivo de esta tesis, donde se determinó que no es viable colocar los pavimentos drenantes en el suelo de esta universidad.
- Se realizó la caracterización geotécnica de los suelos en cada punto escogido encontrándose que estos se clasifican como con arena arcillosa o suelo arcilloso para el punto que corresponde al edificio I. Este resultado es diferente a los demás puesto que se encuentra en una zona que fue construido dicho edificio, donde se estima que el material encontrado allí pertenece a la remoción del material para hacer la construcción. En los otros puntos la caracterización dio como resultado arena limosa o suelo limoso que pertenecen al templo y los parqueaderos.
- Se realizó la prueba de percolación en campo con regla graduada milimétrica utilizando el procedimiento y los parámetros dados por la norma técnica I.S 020, donde por el método de cálculo de paúl tennis et all (2004) arrojó resultados de percolación rápida con valores de 252mm/h y 16mm/h para el punto 1 y 4 que corresponde a el edificio I y al parqueadero K. Mientras que para los puntos 3 y 4 que corresponden al parqueadero de profesores y el templo arrojó una tasa de percolación lenta con valores de 8mm/h. Mientras que por la norma técnica I.S 020, dio como resultado rápido para el primer punto y lentos para los otros tres puntos correspondientes a parqueaderos y templo, y teniendo en cuenta el criterio dado por (Torres C. 2006), considera el suelo apto para el primer punto que corresponde al edificio I y no aptos para los otros 3 puntos correspondiente al templo y parqueaderos.

- De acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda colocar el pavimento drenante encima una capa de material granular en los puntos 2,3,4 para que pueda drenar el agua a través de este material.

8 ANEXOS

En este capítulo se muestran los procedimientos para el cálculo de los ensayos y laboratorios y tablas relacionadas a las gráficas mostradas anterior mente.

8.1 PERCOLACIÓN CON REGLA GRADUADA MILIMETRICA

En este ensayo para calcular la tasa de percolación se toma el descenso que ocurra durante los últimos 30 minutos.

Edificio I

$$Tasa\ de\ percolación = 126 * 2 = 252\ mm/h$$

Según la Norma IS.020 el terreno se clasifica en: Lentos

$$Resultado\ de\ percolación = \frac{30\ minutos}{126\ cm} = 0,24\ minutos/cm$$

Parqueadero de profesores

$$Tasa\ de\ percolación = 4 * 2 = 8\ mm/h$$

Según la Norma IS.020 el terreno se clasifica en: Lentos

$$Resultado\ de\ percolación = \frac{60\ minutos}{12\ cm} = 5\ minutos/cm$$

Templo

$$Tasa\ de\ percolación = 4 * 2 = 8\ mm/h$$

Según la Norma IS.020 el terreno se clasifica en: Lentos

$$Resultado\ de\ percolación = \frac{60\ minutos}{13\ cm} = 4,615\ minutos/cm$$

Parqueadero K

$$Tasa\ de\ percolación = 8 * 2 = 16\ mm/h$$

Según la Norma IS.020 el terreno se clasifica en: Lentos

$$Resultado\ de\ percolación = \frac{60\ minutos}{21\ cm} = 2,857\ minutos/cm$$

Tabla 12. Ensayo de percolación Edificio I

Percolación punto del Edificio I						
Registro	tiempos (h/m/s)			Alturas (mm)		
N°	Inicial	Final	Intervalo	inicial	Final	Intervalo
1	13:00:00	13:00:01	0:01:00	150	141	9
2	13:01:00	13:00:02	0:01:00	141	132	9
3	13:02:00	13:00:03	0:01:00	132	125	7
4	13:03:00	13:00:04	0:01:00	125	115	10
5	13:04:00	13:00:05	0:01:00	115	110	5
6	13:05:00	13:00:06	0:01:00	110	104	6
7	13:06:00	13:00:07	0:01:00	104	96	8
8	13:07:00	13:00:08	0:01:00	96	90	6
9	13:08:00	13:00:09	0:01:00	90	85	5
10	13:09:00	13:00:10	0:01:00	85	79	6
11	13:10:00	13:00:11	0:01:00	79	72	7
12	13:11:00	13:00:12	0:01:00	72	68	4
13	13:12:00	13:00:13	0:01:00	68	64	4
14	13:13:00	13:00:14	0:01:00	64	60	4
15	13:14:00	13:00:15	0:01:00	60	56	4
16	13:15:00	13:00:16	0:01:00	56	53	3
17	13:16:00	13:00:17	0:01:00	53	49	4
18	13:17:00	13:00:18	0:01:00	49	44	5
19	13:18:00	13:00:19	0:01:00	44	40	4
20	13:19:00	13:00:20	0:01:00	40	37	3
21	13:20:00	13:00:21	0:01:00	37	34	3
22	13:21:00	13:00:22	0:01:00	34	32	2
23	13:22:00	13:00:23	0:01:00	32	31	1
24	13:23:00	13:00:24	0:01:00	31	30	1
25	13:24:00	13:00:25	0:01:00	30	29	1
26	13:25:00	13:00:26	0:01:00	29	28	1
27	13:26:00	13:00:27	0:01:00	28	27	1
28	13:27:00	13:00:28	0:01:00	27	26	1
29	13:28:00	13:00:29	0:01:00	26	25	1
30	13:29:00	13:00:30	0:01:00	25	24	1
Total			0:30:00			126
Tasa de percolación				252	mm/h	
Según la Norma IS.020 el terreno se clasifica en Resultado de percolación				2,38	Minutos/1cm	
				rápidos		
				0,24	m2	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Ensayo de percolación Parqueadero profesores

Percolación punto parqueadero de profesores						
Registro	Tiempo (h/m/s)			Alturas (mm)		
N°	Inicial	Final	Intervalo	inicial	Final	Intervalo
1	9:00:00	9:10:00	0:10:00	150	147	3
2	9:10:00	9:20:00	0:10:00	147	144	3
3	9:20:00	9:30:00	0:10:00	144	142	2
4	9:30:00	9:40:00	0:10:00	142	140	2
5	9:40:00	9:50:00	0:10:00	140	139	1
6	9:50:00	10:00:00	0:10:00	139	138	1
TOTAL			1:00:00			12
Tasa de percolación				8	mm/h	
Según la Norma IS.020 el terreno se clasifica en Resultado de percolación				75	Minutos/1cm	
				lentos		
				5	m2	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Ensayo de percolación Templo

Percolación punto Templo						
Registro	Tiempo (h/m/s)			Alturas (mm)		
N°	Inicial	Final	Intervalo	inicial	Final	Intervalo
1	10:20:00	10:30:00	0:10:00	150	146	4
2	10:30:00	10:40:00	0:10:00	146	143	3
3	10:40:00	10:50:00	0:10:00	143	141	2
4	10:50:00	11:00:00	0:10:00	141	139	2
5	11:00:00	11:10:00	0:10:00	139	138	1
6	11:10:00	11:20:00	0:10:00	138	137	1
TOTAL			1:00:00			13
Tasa de percolación				8	mm/h	
Según la Norma IS.020 el terreno se clasifica en Resultado de percolación				75	Minutos/1cm	
				lentos		
				4,615	m2	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Ensayo de percolación Parqueadero K

Percolación punto parqueadero K						
Registro	Tiempo (h/m/s)			Alturas (mm)		
N°	Inicial	Final	Intervalo	inicial	Final	Intervalo
1	11:00:00	11:10:00	0:10:00	150	145	5
2	11:10:00	11:20:00	0:10:00	145	141	4
3	11:20:00	11:30:00	0:10:00	141	137	4
4	11:30:00	11:40:00	0:10:00	137	134	3
5	11:40:00	11:50:00	0:10:00	134	131	3
6	11:50:00	12:00:00	0:10:00	131	129	2
TOTAL			1:00:00			21
Tasa de percolación				16	mm/h	
				37,5	Minutos/1cm	
Según la Norma IS.020 el terreno se clasifica en				lentos		
Resultado de percolación				2,857	m2	

Fuente: Elaboración propia

8.2 DENSIDAD O MAS UNITARIA DEL SUELO POR EL METODO DEL CONO DE ARENA

CALCULOS EDIFICIO I

$$\text{peso de la arena en el cono} = 6761g - 5208g = 1553g$$

$$\text{volumen del hueco} = \frac{6761g - 2741g - 1553g}{1,38g/cm^3} = 1787,68 \text{ cm}^3$$

$$\text{Arena necesaria para llenar el hueco} = 6761g - 2741g - 1553g = 2467g$$

$$\text{Densidad muestra humeda del hueco} = \frac{3458g}{1787,68cm^3} = 1,934 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{1072,7g - 958,7g}{958,7g - 73g} * 100 = 12,87\%$$

$$\text{Densidad seca de campo} = \frac{1,934g/cm^3 * 100}{12,87\% + 100} = 1,714 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 16. Densidad del suelo Edificio I

Edificio I		
Ítem	Descripción	Resultado
1	Área que queda en el cono (g)	5208
2	Peso del frasco de arena antes de uso (g)	6761
3	Peso de la arena en el cono (g)	1553
4	Densidad de la arena (g/cm ³)	1,38
5	Volumen del cono (cm ³)	1125,36
6	Peso del frasco de arena después de uso (g)	2741
7	Peso del material húmedo extraído (g)	3458
8	Volumen del hueco (cm ³)	1787,68
9	Arena necesaria para llenar el hueco (g)	2467
10	Densidad muestra húmeda del hueco (g/cm ³)	1,934
11	Peso de la cápsula sola (g)	73
12	Peso de la cápsula más material húmedo (g)	1072,7
13	Peso de la cápsula más material seco (g)	958,7
14	Contenido de humedad (%)	12,87
15	Densidad seca de campo (g/cm ³)	1,714

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Densidad del suelo Parqueadero de profesores

Parqueadero de profesores		
Ítem	Descripción	Resultado
1	Área que queda en el cono (g)	5200
2	Peso del frasco de arena antes de uso (g)	6700
3	Peso de la arena en el cono (g)	1500
4	Densidad de la arena (g/cm ³)	1,38
5	Volumen del cono (cm ³)	1086,95
6	Peso del frasco de arena después de uso (g)	2800
7	Peso del material húmedo extraído (g)	3100
8	Volumen del hueco (cm ³)	1739,13
9	Arena necesaria para llenar el hueco (g)	2400
10	Densidad muestra húmeda del hueco (g/cm ³)	1,783
11	Peso de la cápsula sola (g)	66
12	Peso de la cápsula más material húmedo (g)	1065,2
13	Peso de la cápsula más material seco (g)	893,1
14	Contenido de humedad (%)	20,81
15	Densidad seca de campo (g/cm ³)	1,475

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Densidad del suelo Templo

Templo		
Ítem	Descripción	Resultado
1	Área que queda en el cono (g)	5200
2	Peso del frasco de arena antes de uso (g)	6700
3	Peso de la arena en el cono (g)	1500
4	Densidad de la arena (g/cm ³)	1,38
5	Volumen del cono (cm ³)	1086,95
6	Peso del frasco de arena después de uso (g)	2650
7	Peso del material húmedo extraído (g)	3200
8	Volumen del hueco (cm ³)	1847,83
9	Arena necesaria para llenar el hueco (g)	2550
10	Densidad muestra húmeda del hueco (g/cm ³)	1,732
11	Peso de la cápsula sola (g)	65,7
12	Peso de la cápsula más material húmedo (g)	1067,8
13	Peso de la cápsula más material seco (g)	922,6
14	Contenido de humedad (%)	16,94
15	Densidad seca de campo (g/cm ³)	1,481

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Densidad del suelo Parqueadero K

Parqueadero K		
Ítem	Descripción	Resultado
1	Área que queda en el cono (g)	5200
2	Peso del frasco de arena antes de uso (g)	6650
3	Peso de la arena en el cono (g)	1450
4	Densidad de la arena (g/cm ³)	1,38
5	Volumen del cono (cm ³)	1050,72
6	Peso del frasco de arena después de uso (g)	2600
7	Peso del material húmedo extraído (g)	3150
8	Volumen del hueco (cm ³)	1884,06
9	Arena necesaria para llenar el hueco (g)	2600
10	Densidad muestra húmeda del hueco (g/cm ³)	1,672
11	Peso de la cápsula sola (g)	69,6
12	Peso de la cápsula más material húmedo (g)	1063,6
13	Peso de la cápsula más material seco (g)	915,3
14	Contenido de humedad (%)	17,54
15	Densidad seca de campo (g/cm ³)	1,422

Fuente: Elaboración propia

8.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

CALCULOS DEL EDIFICIO I

$$\% \text{ Retenido} = \frac{25,8}{883,8} * 100 = 2,929 \%$$

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - 2,92 = 97,08 \%$$

Tabla 20. Granulometría Edificio I

Granulometría edificio I					
Tamiz #	Abertura	Peso Retenido gr	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
4	4,760	25,8	2,919	2,92	97,08
10	2,000	25,3	2,863	5,78	94,22
20	0,840	72,4	8,192	13,97	86,03
40	0,420	174,9	19,790	33,76	66,24
60	0,250	64,4	7,287	41,05	58,95
140	0,149	135,8	15,365	56,42	43,58
200	0,074	25,4	2,874	59,29	40,71
pasa 200		359,8	40,711	100,00	0,00
Total retenido		883,8			
Cu	3,41	D10	0,17	%Grava	2,919
Cc	0,584	D30	0,24	%Arena	56,4
		D60	0,58	%Finos	40,71
TIPO:	Método SUCS: SC-Arena arcillosa				
	Método AASHTO: suelo arcilloso A6 (4)				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Granulometría Parqueadero Profesores

Granulometría parqueadero de profesores					
Tamiz #	Abertura	Peso Retenido gr	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
4	4,760	4,3	0,519	0,519	99,481
10	2,000	10,4	1,256	1,775	98,225
20	0,840	66,4	8,018	9,794	90,206
40	0,420	149,4	18,041	27,835	72,165
60	0,250	49,9	6,026	33,861	66,139
140	0,149	112,1	13,537	47,398	52,602
200	0,074	16,8	2,029	49,426	50,574
pasa 200		418,8	50,574	100,000	0,000
Total retenido		828,1			
Cu	3,294	D10	0,17	%Grava	0,5193
Cc	0,657	D30	0,25	%Arena	48,9
		D60	0,56	%Finos	50,57
TIPO:	Método SUCS: ML-limos inorgánicos				
	Método AASHTO: suelo limoso A4 (10)				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Granulometría Templo

Granulometría Templo					
Tamiz #	Abertura	Peso Retenido gr	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
4	4,760	16,4	1,911	1,911	98,089
10	2,000	11,6	1,352	3,262	96,738
20	0,840	78,6	9,158	12,420	87,580
40	0,420	174,4	20,319	32,739	67,261
60	0,250	61,8	7,200	39,939	60,061
140	0,149	110,2	12,839	52,779	47,221
200	0,074	11	1,282	54,060	45,940
pasa 200		394,3	45,940	100,000	0,000
Total retenido		858,3			
Cu	3,333	D10	0,18	%Grava	1,91075382
Cc	0,779	D30	0,29	%Arena	52,1
		D69	0,6	%Finos	45,940
TIPO:	Método SUCS: SM-Arena limosa				
	Método AASHTO: suelo limoso A4 (8)				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Granulometría Parqueadero K

Granulometría Parqueadero K					
Tamiz #	Abertura	Peso Retenido gr	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
4	4,760	7,1	0,838	0,838	99,162
10	2,000	17,3	2,041	2,879	97,121
20	0,840	62,3	7,350	10,229	89,771
40	0,420	162,3	19,148	29,377	70,623
60	0,250	63,4	7,480	36,857	63,143
140	0,149	123,2	14,535	51,392	48,608
200	0,074	21,1	2,489	53,882	46,118
pasa 200		390,9	46,118	100,000	0,000
Total retenido		847,6			
Cu	3,056	D10	0,18	%Grava	0,83765927
Cc	0,534	D30	0,23	%Arena	53,0
		D60	0,55	%Finos	46,118
TIPO:	Método SUCS: SM-Arena limosa				
	Método AASHTO: suelo limoso A4 (8)				

Fuente: Elaboración propia

8.4 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS

CALCULOS

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{4,82}{8,41} * 100 = 57,31 \%$$

Tabla 24. Límites de consistencia edificio I

Límites de Consistencia Edificio I					
N° de Ensayos	Límite Líquido			Límite Plástico	
	1	2	3	1	2
Cápsula	7	121	22	138	10
N° de golpes	20	26	32		
Peso cápsula (g)	6,69	8,70	6,62	8,4	7,04
Peso de la cápsula más el suelo húmedo (g)	19,92	18,81	15,12	19,09	16,9
Peso de la cápsula más el suelo seco (g)	15,10	16,18	13,28	17,07	15,09
Peso del agua (g)	4,82	2,63	1,84	2,02	1,81
Peso del suelo seco (g)	8,41	7,48	6,66	8,67	8,05
Contenido de humedad (g)	57,31	35,16	27,63	23,30	22,48
límite líquido (%)	37				
límite plástico (%)	22,89				
índice de plasticidad (%)	14,11				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Límites de consistencia Parqueadero de profesores

Límites de Consistencia Parqueadero de Profesores					
N° de Ensayos	Límite Líquido			Límite Plástico	
	1	2	3	1	2
Cápsula	176	888	64	6	62
N° de golpes	20	24	29		
Peso cápsula (g)	6,48	6,91	6,83	6,7	7,14
Peso de la cápsula más el suelo húmedo (g)	19,66	18,67	13,78	19,1	22,34
Peso de la cápsula más el suelo seco (g)	15,23	15,60	12,50	16,3	18,75
Peso del agua (g)	4,43	3,07	1,28	2,8	3,59
Peso del suelo seco (g)	8,75	8,69	5,67	9,6	11,61
Contenido de humedad (g)	50,63	35,33	22,57	29,17	30,92
límite líquido (%)	32				
límite plástico (%)	30,04				
índice de plasticidad (%)	1,96				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Límites de consistencia Templo

Límites de Consistencia Templo					
N° de Ensayos	Límite Líquido			Límite Plástico	
	1	2	3	1	2
Cápsula	35	75	64	58	126
N° de golpes	19	24	33		
Peso cápsula (g)	6,90	6,93	6,96	6,93	6,91
Peso de la cápsula más el suelo húmedo (g)	16,68	20,12	16,56	17,68	18,66
Peso de la cápsula más el suelo seco (g)	13,18	16,31	14,39	15,19	16,12
Peso del agua (g)	3,5	3,81	2,17	2,49	2,54
Peso del suelo seco (g)	6,28	9,38	7,43	8,26	9,21
Contenido de humedad (g)	55,73	40,62	29,21	30,15	27,58
límite líquido (%)	38				
límite plástico (%)	28,86				
índice de plasticidad (%)	9,14				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Límites de consistencia Parquadero K

Límites de Consistencia Parquadero K					
N° de Ensayos	Límite Líquido			Límite Plástico	
	1	2	3	1	2
Cápsula	99	165	137	46	110
N° de golpes	20	26	32		
Peso cápsula (g)	8,80	6,80	8,44	6,75	6,89
Peso de la cápsula más el suelo húmedo (g)	20,57	17,57	20,99	18,29	19,43
Peso de la cápsula más el suelo seco (g)	17,33	14,75	17,76	15,48	17,04
Peso del agua (g)	3,24	2,82	3,23	2,81	2,39
Peso del suelo seco (g)	8,53	7,95	9,32	8,73	10,15
Contenido de humedad (g)	37,98	35,47	34,66	32,19	23,55
límite líquido (%)	35,62				
límite plástico (%)	27,87				
índice de plasticidad (%)	7,75				

Fuente: Elaboración propia

A continuación, serán expuestas una serie de ilustraciones que se tomaron durante el proceso de las pruebas y ensayos.

Ilustración 1. Prueba del cono y arena Edificio I



Fuente: Ilustración propia.

Ilustración 2. Prueba del cono y arena Edificio I



Fuente: Ilustración propia

Ilustración 3. Prueba de percolación edificio I



Fuente: Ilustración propia

Ilustración 4. Prueba del cono y arena Parquadero de profesores



Fuente: Ilustración propia

Ilustración 5. Prueba de percolación Parquadero de profesores.



Fuente: Ilustración propia

Ilustración 6. Prueba del cono y arena Templo



Fuente: Ilustración propia

Ilustración 7. Prueba del cono y arena Parqueadero K



Fuente: Ilustración propia

Ilustración 8. Granulometría por lavado



Fuente: Ilustración propia

Ilustración 9. Granulometría por lavado.



Fuente: Ilustración propia

Ilustración 10. Límite líquido por método de Casagrande



Fuente: Ilustración propia

Ilustración 11. Ensayo de Gravedad específica



Fuente: Ilustración propia

9 BIBLIOGRAFÍA

- cecibel torres . (2006). procedimiento para la prueba de percolación. panamá.
- elías rosales escalante. (2012). ¿cómo hacer pruebas de infiltración? ¿cómo hacer pruebas de infiltración?, 4.
- alejandra trujillo. (2013). pavimentos porosos utilizados como sistemas alternativos al drenaje urbano. bogotá.
- dario alfaro . (2014). modelo fisico para la medición de la permeabilidad en suelos cohesivos (cabeza variable). bogotá d.c .
- edwin palacios . (2016). determinación de la tasa de la tasa de infiltración de los pavimentos de adoquines en el casco urbano de la ciudad de piura . piura .
- jorge rodriguez. (2008). estudio, análisis y diseño de secciones permeables de irmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado para soportar tráfico ligero. santander .
- josé enrique nazareno suárez. (2014). diseño estructural de un pavimento permeable mediante la relación de vacíos y su aplicación al drenaje vial. quito.
- karen vasquez . (2015). procesos de percolación en dos dimensiones . lima .
- karina gomez . (2014). estudios ed la permeabilidad en suelos arenosos contaminados con aguas aceitosas en una estatificación de mediante un modelo fisico a escala reducida . bogota d.c.
- luis sañudo . (2014). analisis de la infiltración de agua lluvia en firmes permeables con superficies de adoquines y aglomerados porosos para el control en origen de inundaciones . santander .
- marco ramirez . (2017). test de percolación en mirones bajo . lima .
- miklas scholz. (2006). review of permeable pavement systems. escocia .
- paul tennis . (2004). pervious concrete pavements. maryland.
- rajib mallick. (2003). an evaluation of factors affecting permeability of superpave designed pavements. auburn.

yalil moujir . (2014). diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos . cali .

empresas públicas de Medellín “epm” 1998 apéndice a.

http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidades/apendicea.pdf