UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

ELABORACIÓN DE PERMEÁMETRO PARA EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE PARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EXTENSIÓN CANTAURA

Realizado por:
Dhercy Paola Caraballo León
José Ángel Hidalgo Mosqueda

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente comoRequisito para optar al Título de:

INGENIERO CIVIL

Cantaura, julio de 2024

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

ELABORACIÓN DE PERMEÁMETRO PARA EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE PARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EXTENSIÓN CANTAURA

Prof. Jesús Álvarez
Asesor Académico

Cantaura, julio de 2024

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

ELABORACIÓN DE PERMEÁMETRO PARA EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE PARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EXTENSIÓN CANTAURA

El Jurado hace constar que asignó a esta tesis la calificación de:

APROBADO

Prof. Jesús Salas	Prof. Gabriela Prado
Jurado Principal	**Jurado Principal**

Cantaura, julio de 2024

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado de la universidad de oriente.

"Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario, para su autorización".

DEDICATORIA

A mis pilares fundamentales, mi amada y admirable abuela Celia León, a mi luchadora y extraordinaria madre Candelaria León, a mi querido padre Orlando Caraballo, a mi apreciado tío José León y querido primo Jonathan León a mi maravillosa familia en general tíos, tías, primos, gracias a todos por ser mi luz en medio de las dificultades. Por su amor incondicional, apoyo inquebrantable y valores invaluables, han sido la brújula que me ha guiado en este camino. A ustedes, quienes desde siempre creyeron en mi potencial y me impulsaron a perseguir mis sueños, les dedico con orgullo este logro tan significativo.

A mis amigos del pasado y del presente, porque gracias a la sabia elección del pasado vivo y comparto los hermosos resultados del presente.

Esta tesis es el fruto de esfuerzo, dedicación y pasión por la ingeniería civil. La dedicocon orgullo a todas las personas que han formado parte de este camino y que han contribuido a mi crecimiento personal y profesional.

Dhercy Paola Caraballo León.

DEDICATORIA

A mis padres Zurida y José, por ser las personas más importantes en mi vida, gracias a ellos estoy en este momento cumpliendo esta meta tan importante; siempre se han preocupado porque no me falte nada y me han guiado por el camino del bien con sus consejos enseñándome valores humanos muy importantes, gracias a ellos soy la persona que soy. De verdad no saben cuánto les agradezco todo el amor que me han dado y todas las cosas que me han ensañado a lo largo de mi vida, respeto, humildad, sinceridad, dulzura, bondad y amor sería solo una pequeña parte. A ustedes les dedico este triunfo y sé que lo disfrutan tanto como yo. Simplemente LOS AMO.

A mis hermanos Daniel y Luis, los amo con todo el corazón, y aunque no nos vemos con frecuencia, siempre los llevo en mi corazón, siempre he contado con ustedes y siempre contarán conmigo.

A mis prima Mariovi y Omaivy, por siempre estar presente en cada paso y cada momento importante de mi vida.

A mis grandes amigas que me regalo la mi transitar por la casa más alta Dhercy y Genesaret, por estar en casa paso y momento importante en mi camino universitario.

José Ángel Hidalgo Mosque

AGRADECIMIENTO

Primeramente, elevo mi más profundo agradecimiento a Dios Todopoderoso por el regalo de la vida y la sabiduría que me ha brindado para emprender este hermoso camino.

A mis excepcionales profesores, solo por mencionar, Elis Rondón, Ramón Loaiza, Jonathan Martínez, Diana Jáuregui, Jesús Álvarez, Anabel González, Jossmen y a todos aquellos que no menciono también, les expreso mi más profundo agradecimientopor ser más que simples educadores. Por sus constantes enseñanzas, regaños, retos y su pasión por la ingeniería, lo que me ha convertido en una mejor profesional y una mejor persona. Gracias por transmitirnos su conocimiento con tanto ímpetu y por ser pilares fundamentales en mi formación académica.

A mi Alma Mater, mi segundo hogar, le agradezco profundamente por haberme brindado la oportunidad de formarme como ingeniero civil. Esta institución ha sido testigo de mi crecimiento personal y profesional, y me ha dejado un legado de conocimientos y valores que atesoraré para siempre. Agradezco a toda la comunidad universitaria por su invaluable contribución en mi formación.

A mis estimados compañeros y profesores del UPTJAA en especial a Norelqui, Jhoseanny, Marbis y Charlie y a mis profesoras Maritza y Yamileth quiero expresarles mi más profunda gratitud por el inmenso ánimo y apoyo brindado durante mi recorrido académico. Sus palabras de aliento fueron fundamentales para alcanzar las metas que me propuse al embarcarme en este desafío autoimpuesto de transitar por ambas instituciones.

A mi esfuerzo, dedicación y constancia, agradezco por no haberme rendido nunca, por la perseverancia y tenacidad invertidas en este trabajo de investigación. Reconozco la fortaleza y la determinación que me permitieron superar obstáculos y alcanzar este

producto tan significativo

Este logro no es solo mío, sino de todos aquellos que han creído en mí y me han apoyado en este camino. Agradezco infinitamente, aunque no los mencione cada uno de ustedes por ser parte de este sueño hecho realidad.

Hoy, con el corazón rebosante de alegría y gratitud, celebro este triunfo como un peldaño más en mi camino hacia el futuro. Sé que aún hay muchos retos por delante, pero estoy segura de que, con el apoyo de las personas que amo y la motivación que me impulsa, las alcanzaré, Gracias infinitas.

Dhercy Paola Caraballo León

AGRADECIMIENTO

A mis padres, ambos debo agradecerles infinitamente haber nacido en estehogar, gracias por inculcarme y enseñarme los valores de la familia, por enseñarmeque todas las metas que nos proponemos pueden ser posibles lograrlas, solo hay que desear y luchar con todas las fuerzas hacer los sueños realidad. Gracias por darme tanto apoyo en todos los ámbitos con sinceridad, humildad, amor y tesón.

A Roblan Piñero por haber formado parte importante en mi vida, gracias por ofrecerme tu compresión, apoyo y amor. Siempre contarás conmigo, te quiero mucho.

A la Sra. Silvia y al Sr. Peter por haber sido para mí como una segunda familia, les agradezco mucho el apoyo y el cariño que me hacía sentir como en casa.

A Samalita por haberme ayudado bastante y brindarme ese apoyo tan necesario en la recta final.

A todos mis compañeros de clases con los que compartí tantas cosas, Genesareth, Dhercy, Yrama, Gabriel, Oswaldo, y tantas otras personas que de alguna manera ayudaron a que este trabajo fuese culminado.A mi tutor Profesor Jesús Álvarezgracias por apoyarme y brindarme sus conocimientos, su tiempo y comprensión para culminar esta meta.

Al Prof. JUAN FÉLIX DÍAZ, gracias por apoyarme y brindarme sus conocimientos con total humildad, por su paciencia y comprensión, por el tiempo que estuvo aclarándome dudas y enseñándome todos los días algo nuevo. Su ayuda fue fundamental para culminar este trabajo de grado, mi respeto y gratitud.

Al Prof. MIGUEL MOLANO, por brindarme ese apoyo desinteresado y compartir sus conocimientos conmigo.

José Ángel Hidalgo Mosqueda

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

ELABORACIÓN DE PERMEÁMETRO PARA EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE PARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EXTENSIÓN CANTAURA

Autores: Dhercy Caraballo
José Hidalgo
Tutor: Álvarez, Jesús
Año: 2024

RESUMEN

El objetivo principal de la investigación es dotar a la Universidad de Oriente, Extensión Cantaura, con equipos de laboratorio que permitan el desarrollo de la asignatura Laboratorio de Mecánica de Suelos, es por ello que se planteó una investigación de tipo documental con un nivel descriptivo, basado en la confección de un permeámetro para la realización del ensayo de permeabilidad de carga constante. Bajo este contexto, por medio de la revisión bibliográfica se obtuvieron las características físicas del equipo conforme a la norma ASTM D-2434. Posteriormente para su fabricación se utilizaron accesorios PVC de aguas blancas, incluyendo una cabilla lisa de ½" como soporte del prototipo en conjunto con una mesa de madera como base de apoyo del equipo. Una vez confeccionado se tomaron dos muestras representativas para el ensayo, una grava fina con dimensiones de ¾" (Tamiz Nro. 4), en donde se obtuvo una permeabilidad promedio de 0,08307 ($8{,}30x10^{-2}$), y otra de arena fina con permeabilidad promedio de 0,01313 ($1{,}31x10^{-2}$). Además se realizó el cálculo del presupuesto, el cual consta de 3 partidas con un monto total general de $354,82. Por último, se elaboró un manual de uso, con el fin de establecer un paso a paso durante la realización del ensayo, para que tanto los alumnos y docente encargado de la materia, realicen una correcta partica de laboratorio.

Palabras claves: Ensayo, permeabilidad, permeámetro de carga constante, laboratorio, ASTM D-2434, agregado grueso, grava.

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN 4

DEDICATORIA 5

AGRADECIMIENTO 7

RESUMEN 10

ÍNDICE GENERAL 11

ÍNDICE DE TABLAS 14

ÍNDICE DE FIGURAS 15

INTRODUCCIÓN 17

CAPÍTULO I 19

EL PROBLEMA 19

1.1 Planteamiento del problema 19

1.2 Objetivos de la investigación 22

1.2.1 Objetivo general 22

1.2.2 Objetivos específicos 22

CAPÍTULO II 23

MARCO TEÓRICO 23

2.1 Antecedentes 23

2.2 Bases Teóricas Referenciales 25

2.2.1 Suelos 25

2.2.2 Permeabilidad 26

2.2.3 Flujo de agua en los suelos 26

2.2.4 Factores que afectan la permeabilidad 27

2.2.5 Ley de Darcy 27

2.2.6 Coeficiente de permeabilidad 28
2.2.7 Gradiente hidráulico 30
2.2.8 Coeficiente de permeabilidad en masas estratificadas 31
2.2.9 Determinación del coeficiente de permeabilidad 31
2.2.10 Permeámetro de carga constante 32
2.2.11 Permeámetro de carga variable 34
CAPÍTULO III 36
MARCO METODOLÓGICO 36
3.1 Tipo de Investigación 36
3.2 Nivel de Investigación 36
3.3 Técnicas y Herramientas a Utilizar 36
3.3.1 Técnicas 37
3.3.2 Herramientas 37
CAPÍTULO IV 38
ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS 38
4.1 Identificación de las características físicas, en conjunto con los materiales necesarios para la producción del equipo utilizado en el ensayo de permeabilidad de carga constante 38
4.2 Fabricación el equipo para el ensayo de permeabilidad de carga constante según la normativa vigente ASTM D-2434 41
4.2.1 Elaboración de la instalación hidráulica para el prototipo 42
4.2.2 Envase de almacenamiento de material granular 44
4.2.3 Armado completo del prototipo 46
4.2.4 Soporte de estructura metálica y Mesa de madera para base del equipo. 46

4.2.5 Envase de rebose para carga constante..... 49
4.3 Determinación mediante pruebas, la calibración y operatividad del equipo de permeabilidad de carga contante para el ensayo de permeabilidad, según los procedimientos de la norma ASTM D-2434 51
4.3.1 Equipos y materiales para el ensayo..... 51
4.3.2 Selección del material 52
4.3.3 Procedimiento de ensayo de la muestra representativa 1 (grava fina)..... 52
4.3.4 Procedimiento de ensayo de la muestra representativa 2 (arena fina)..... 60
4.4 Establecimiento de los costos de fabricación del equipo mediante eluso del programa comercial IP3 65
4.5 Presentación de un manual técnico sobre la realización del ensayo de permeabilidad de carga constante, que contemple las recomendaciones de uso y limpieza del equipo..... 67
CAPÍTULO V..... 68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 68
5.1 Conclusiones..... 68
5.2 Recomendaciones 69
REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA..... 70
HOJA DE METADATOS 72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tiempo y volumen de las muestras representativas del ensayo 57

Tabla 2. Cálculo de la permeabilidad de cada una de las muestras tomadas. 58

Tabla 3. Tiempo y volumen de las muestras representativas del ensayo 63

Tabla 4. Cálculo de la permeabilidad de la muestra representativa número 2. 63

Tabla 5. Presupuesto general para la confección del equipo 66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Construcción de los suelos. 26

Figura 2. Determinación del coeficiente de permeabilidad. 31

Figura 3. Permeámetro de carga constante 33

Figura 4. Permeámetro de carga variable. 35

Figura 5. Esquema de funcionamiento y partes de un permeámetro de carga constante 39

Figura 6. Materiales PVC para la construcción del permeámetro. 42

Figura 7. Confección de la parte superior del equipo. 43

Figura 8. Confección de la parte inferior del equipo. 44

Figura 9. Lámina de esponja abrasiva verde para trabajo pesado scotch brite 220. 45

Figura 10. Conexión tipo flange con esponja abrasiva. 45

Figura 11. Equipo permeámetro casero sin base metálica. 46

Figura 12. Soldadura para soporte de estructura metálica del permeámetro. 47

Figura 13.Soporte de estructura metálica. 47

Figura 14. Mesa de madera para base del equipo. 48

Figura 15. Permeámetro de carga constante. 49

Figura 17. Tamizado del material granular. 53

Figura 18. Llenado del envase de muestra con el material granular. 53

Figura 19. Llenado con agua del equipo. 55

Figura 20. Toma de muestras representativas. 56

Figura 21. Clasificación del suelo según su permeabilidad de la muestra 1. 59

Figura 22. Grado de permeabilidad del suelo de la muestra 1. 59

Figura 23. Llenado del envase de muestra con el material granular de la muestra 2. 60

Figura 24. Permeámetro de carga constante con el material granular de la muestra 2..... 61

Figura 25. Toma de muestras representativas, material granular 2. 62

Figura 26. Clasificación del suelo de la muestra 2 según su permeabilidad. 64

Figura 27. Grado de permeabilidad del suelo de la muestra 2. 64

INTRODUCCIÓN

La permeabilidad constituye una de las propiedades más importantes, que modifican el comportamiento del suelo, ya que es la cualidad que tiene el suelo de transmitir el agua a través de él, siendo una de las propiedades hidráulicas más importantes que han de considerarse para la construcción, que depende principalmentede la relación de vacíos, es decir, del tamaño de los poros y la forma de las partículas. En algunos casos, los suelos pueden llegar a ser tan permeables y la filtración tan intensa que para construir en ellos es preciso aplicar técnicas de construcción especiales.

De ahí, la importancia de efectuar una serie de ensayos que proporcionen información sobre la porosidad del terreno y la capacidad que tiene este de desalojar elagua retenida, y así poder realizar un análisis que permita tomar las decisiones que mejoren el diseño propuesto o atacar cualquier problema que pueda presentarse. En el mismo sentido, es de igual importancia que los ingenieros civiles tengan el conocimiento teórico y práctico sobre el estudio del flujo de agua a través de un suelo como medio poroso, el manejo de equipos para la determinación de la permeabilidad y la interpretación de análisis de resultados de laboratorio sobre las propiedades hidráulicas de los suelos, por lo que el desarrollo integral de los conocimientos en el entorno académico, influyen directamente sobre desarrollo profesional de los ingenieros en su entorno laboral.

Es por ello que, la investigación, está orientada en el desarrollo de un permeámetro de carga constante para el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de Oriente, para la realización del ensayo de permeabilidad, y obtener así mediante las ecuaciones de la ley de Darcy, el volumen que filtra en un determinado tiempo. Es decir, se plantea el diseño del equipo, los criterios de uso y análisis de los resultados obtenidos, junto con su interpretación, separándose la investigación en cinco capítulos.

- Capítulo I. El problema: donde se presenta la problemática de la investigación y el cómo se va a desarrollar el cumplimiento de la misma, detallando los objetivos tanto generales como específicos.
- Capítulo II. Marco teórico: donde se desglosa los fundamentos teóricos para la resolución de los objetivos, el entendimiento de los parámetros y criterios a utilizar en la confección del diseño y prueba.
- Capítulo III. Marco metodológico: formado por el marco metodológico, dondese presenta el tipo de investigación, las herramientas y técnicas utilizadas para el cumplimiento de los objetivos propuestos en el capítulo I.
- Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados: que contempla el desarrollo de los objetivos específicos, donde se detalla, las especificaciones técnicas que tendrá el equipo de laboratorio, la calibración del mismo y el desarrollo de un manual de uso para ser donado al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de Oriente.
- Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones: donde se plantea las conclusiones y recomendaciones obtenidas en la investigación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En la ingeniería civil las construcciones dependen mayormente de la estructura del suelo y de su composición natural, debido a que gran parte de los problemas estructurales o fallas constructivas, se atribuyen a la inexperiencia o falta de conocimiento sobre las condiciones del terreno; es por ello que la permeabilidad de un suelo junto con la resistencia al esfuerzo cortante y la compresibilidad, son de las principales propiedades estudiadas en la ingeniería geotécnica, para definir el comportamiento de un suelo, de allí la importancia de efectuar una serie de ensayos que determinen dichos factores antes mencionados.

Explica Terzaghi y Peck (1978), específicamente el ensayo de permeabilidad ofrece información sobre la porosidad del terreno y la capacidad que tiene este de desalojar el agua retenida, es decir, es la propiedad hidráulica con la que el agua pasaa través de los poros, teniendo un efecto decisivo sobre el costo y las dificultades a encontrar en las construcciones, ya que permite mejorar el diseño propuesto o atacar cualquier problema que se presente, como la cantidad de infiltración subterránea bajo varias condiciones hidráulicas o la velocidad de consolidación de un estrato de arcilla bajo el peso de un terraplén.

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, queda evidenciado la importancia del conocimiento teórico-práctico sobre la realización, interpretación y análisis de los resultados de los ensayos aplicados al terreno, por la cual, la base principal de los conocimientos adquiridos de los ingenieros civiles son las prácticas de laboratorio realizadas durante sus estudios, ya que repercuten directamente en el desenvolvimiento que estos tendrán durante su vida laboral una vez egresados. Actualmente, la Universidad de Oriente Extensión Cantaura, no cuenta con un

laboratorio de mecánica de suelos o con equipos con los que se pueda realizar los distintos tipos de ensayos de suelo correspondiente.

Ante la problemática detectada, surge la necesidad de elaborar un equipo de laboratorio para el ensayo de permeabilidad, ya que la permeabilidad es una de las principales propiedades hidráulicas de los suelos que incide en los análisis de erosión,mineralogía, consolidación y entre muchas otras aplicaciones. Cabe destacar que, el coeficiente de permeabilidad de un suelo puede ser obtenido por medio de dos tipos de ensayos, el ensayo de permeabilidad de carga constante y el ensayo de permeabilidad de carga variable, siendo el de carga constante, el objeto de estudio de la investigación.

En este sentido, la propuesta de diseño, estuvo enfocada en la fabricación de un permeámetro para el laboratorio de suelos de la Universidad de Oriente Extensión Cantaura, para la realización del ensayo de permeabilidad de carga constante en la asignatura de mecánica de suelos, cuya finalidad será identificar la permeabilidad de material granular de diferentes tamaños nominales empleando la ley de Darcy para determinar el coeficiente de permeabilidad, con el uso del equipo propuesto.

La investigación se centró en ubicar la información mediante la revisión bibliográfica de material teórico proveniente de publicaciones, libros, páginas web y antecedentes, referentes a los métodos y equipos utilizados para el ensayo de permeabilidad de carga constante, describiendo de igual forma las características del equipo para su construcción según la norma de la Asociación Americana de Ensayo de Materiales o por sus siglas en ingles ASTM D-2434 - Determinación del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares (carga constante).

Una vez obtenida la información teórica, se procedió a la construcción del equipo según las dimensiones y materiales definidos en objetivos anteriores, para

luego realizar pruebas sobre muestras representativas de suelos, y poder constatar mediante la observación directa las condiciones de calibración y operatividad del mismo, elaborando así una guía enfocada al uso y manejo del equipo en la realización del ensayo de permeabilidad de carga constante.

En cuanto a la originalidad de la investigación, no se ha realizado un equipo que permita medir la permeabilidad de los suelos en la Universidad de Oriente Extensión Cantaura, por tal motivo surge la necesidad de realizarlo. Cabe destacar que de manera similar se pueden mencionar investigaciones previamente realizadas para equipos de ensayos de laboratorio de hidráulica, como la de Díaz (2019), quieneselaboraron un prototipo de permeámetro para el laboratorio de suelos de la Universidad Cooperativa de Colombia, con la finalidad de realizar ensayos de permeabilidad de carga constante; de igual forma, Briceño y Prado (2014), desarrollaron un permeámetro de carga constante para el cálculo de la permeabilidad, para el laboratorio de suelos del Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño.

Ante todo lo anteriormente expuesto, se logró establecer que la importancia de este estudio radica en brindar el conocimiento sobre los estudios de las propiedades hidráulicas de los suelos, y el cómo pueden afectar gravemente una estructura si no son tomados en cuenta al momento de realizar un diseño estructural; sirviendo de igual forma como guía para el análisis e interpretación de los ensayos de permeabilidad, no solo a la comunidad estudiantil de la Universidad de Oriente, sino también a profesionales y empresas que quieran constatar estudios de suelo realizados. Del mismo modo, la investigación servirá como un antecedente de grado, para futuras investigaciones en el desarrollo de equipos para el laboratorio de mecánica de suelos, con el fin de aportar y mejorar los conocimientos sobre la mecánica de suelos.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Elaborar un permeámetro para el ensayo de permeabilidad de carga constante para el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de Oriente Extensión Cantaura.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar las características físicas, en conjunto con los materiales necesarios para la producción del equipo utilizado en el ensayo de permeabilidad de carga constante.
- Fabricar el equipo para el ensayo de permeabilidad de carga constante según la normativa vigente ASTM D-2434.
- Determinar mediante pruebas, la calibración y operatividad del equipo de permeabilidad de carga contante para el ensayo de permeabilidad, según los procedimientos de la norma ASTM D-2434.
- Establecer los costos de fabricación del equipo mediante el uso del programa comercial IP3.
- Presentar un manual técnico sobre la realización del ensayo de permeabilidad de carga constante, que contemple las recomendaciones de uso y limpieza del equipo.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Díaz (2019), en su investigación, realizaron un prototipo de permeámetro de cabeza constante, para el laboratorio de mecánica de suelos de la universidad Villavicencio, Colombia; con el fin fomentar el desarrollo intelectual y teórico-práctico de los diferentes cursos de la universidad, desarrollando así, un prototipo quepermitió analizar la permeabilidad de materiales granulares de diferentes tamaños nominales empleando la ley de Darcy para determinar el coeficiente de permeabilidada través del paso de fluidos en una sección de suelo granular contenido en una probetay con la diferencia de carga del fluido en las superficies de entrada y salida del mismo.

Se tomó en cuenta este antecedente, ya que parte de la idea principal de la investigación es apoyar y complementar el desarrollo de más prácticas académicas que fomenten el aprendizaje de todo estudiantado, específicamente en el desarrollo delas prácticas de laboratorio de mecánicas de suelos. Dicho antecedente, sirvió como referencia para establecer las características del equipo (materiales, herramientas y dimensiones), método de fabricación (los pasos para obtener un equipo optimo y operativo con el mínimo gasto de materiales) y uso del mismo una vez construido (establecer un manual de uso a los estudiantes de ingeniería civil).

Por otro lado, Briceño y Prado (2014), desarrollaron un permeámetro de carga constante para el cálculo de las propiedades hidráulicas de los suelos en el Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, Venezuela; basando su diseño en la normativa ASTM D-2434 como referencia en cuanto al procedimiento de elaboración, equipos y materiales utilizados.

Una vez diseñado y construido el equipo, realizaron pruebas con muestras de suelo que con anterioridad fueron analizadas por un personal técnico de laboratorio con el fin de constatar la exactitud del equipo, realizando cuatro lecturas para tres tiempos distintos, midiéndose el volumen de agua para distintos gradientes. Este antecedente es incorporado, ya que aportó información relevante sobre la interpretación de la normativa ASTM D-2434 (Determinación del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares), señalando los puntos importantes en el uso del equipo durante su periodo de prueba y calibración, así como también el procedimiento para el análisis de los resultados obtenidos con los de las muestras representativas.

Por otro lado, Ruge et. al. (2013), en su investigación diseñaron y construyeron un permeámetro de carga constante para suelos granulares, para el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Piloto de Colombia, con la finalidad de lograr un mejor entendimiento de la forma en que se comportan los fluidos dentro de los suelos granulares. Los autores en el desarrollo de la investigación partieron de la teoría existente en la norma colombiana INVE-130-07, la cual especifica las características del equipo necesario para el ensayo de permeabilidad de carga constante, basando su prototipo por la observación directa en otros laboratorios de dicho equipo.

Dicha investigación, fue igualmente comparada, ya que identifica las características del equipo necesario para el ensayo de permeabilidad de carga constante, basándose en observaciones y anotaciones de los equipos de diferentes laboratorios de suelos, aportando materiales y dimensiones confiables que serán comoguía para el diseño del permeámetro de carga constante, con el fin de obtener un permeámetro calibrado y estabilizado para materiales granulares como grava, arena de rio fina, media y gruesa.

Por último, Montoya y Palma (2006), fabricaron un permeámetro de pared flexible para el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Politécnica Nacional de México, establecieron que el método de medición de la permeabilidad con el ensayo de permeabilidad de carga constante y carga variable se pueden cometer errores debido al flujo que se genera entre las paredes de la muestra y el molde que lo contiene, representando un aumento significativo en los resultados del ensayo.

En el desarrollo del prototipo, diseñaron un equipo formado por un gabinete quecontrola las presiones y niveles de agua, junto con la modificación de una cámara triaxial calibrada y puesta en operación. Cabe destacar que el antecedente sirvió comomaterial de apoyo ya que los autores indagan de forma compleja cómo se realiza los ensayos de permeabilidad de carga constante y variable, posibles errores y posibles defectos de los materiales utilizados en la fabricación del equipo, sirviendo como guíapara el diseño.

2.2 Bases Teóricas Referenciales

2.2.1 Suelos

Los suelos pueden ser definidos dependiendo del campo de acción al que se estéenfrentando, según Rico y Castillo (1968), “en la ingeniería hace uso de esta palabra para referirse a la parte del suelo compuesta por material mineral, inorgánico, rocas, las cuales son empleadas en todo tipo de construcción que a su vez son la base de cualquier estructura” (p. 4). Es decir, son cuerpos naturales no consolidados, que no son sólidos ideales, ya que su constitución es fundamentada por la existencia de partículas sólidas de diferente naturaleza con presencia de vacíos o medios porosos, estos son ocupados por gases que se manifiestan como aire o vapor de agua y fluidos que en su mayoría de veces son agua.

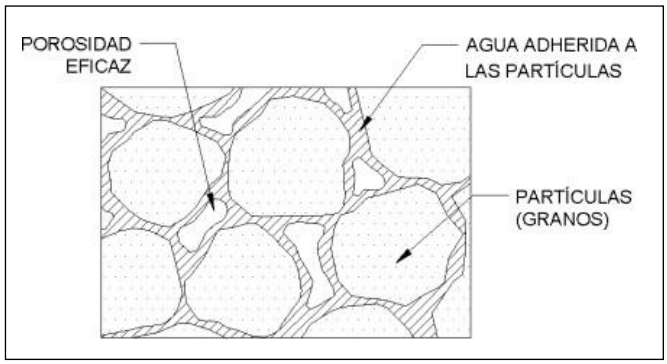


Figura 1. Construcción de los suelos.
Fuente: Rico y Castillo (1968).

En la figura 1, se muestra claramente cómo se acomodan las partículas en un material y a su vez la formación de vacíos que se generan entre los mismos; la capa delgada de agua adherida a las partículas constituye cierta cantidad de agua inmóvil que no va a circular por los poros, así que la parte de la sección usada por el flujo.

2.2.2 Permeabilidad

Según Villalaz (2004), "la permeabilidad es una propiedad de los suelos que permite a los líquidos atravesarlos, y su valor depende del tamaño de los poros, los cuales a su vez están en función de la forma, tamaño y acomodo de las partículas" (p. 41). Es decir, que la permeabilidad se puede definir como la capacidad que tienen los materiales para hacer posible el paso de líquidos sin que se tengan cambios en su estructura interior.

2.2.3 Flujo de agua en los suelos

Al tratar con el tema de permeabilidad de los suelos, es necesario mantener en mente los conceptos más importantes referentes al estado energético del agua, ya que suele darse de dos maneras:

- Flujo laminar: es cuando las líneas del flujo en si permanecen sin juntarse entre sí en toda la longitud y el fluido no se mezcla, es decir que permanece con un movimiento continuo formando una lámina de agua.

- Flujo turbulento: suele ocurrir cuando la condición anterior no se cumple, es decir, es turbulento cuando el vector del flujo de agua no es lineal, sino que presenta movimientos discontinuos, en este caso el fluido se mezcla.

Es importante resaltar que, a velocidades bajas el flujo es laminar y mientras esta condición va aumentando llega a un límite donde se vuelve turbulento. Cuando se trata del comportamiento natural del flujo a través de materiales porosos se dice que este es de tipo laminar aun cuando su recorrido no es totalmente lineal debido a que la velocidad real no supera el límite como para convertirse en turbulento.

2.2.4 Factores que afectan la permeabilidad

Así mismo, explica Villalaz (2004), "para que un material sea permeable, este debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos que permitan tener algún fluido, y a su vez, tales espacios deben estar interconectados" (p. 42); esto quiere decir, que el fluido debe disponer de caminos para el paso a través de él, lo cual, afecta directamente la velocidad en la que atraviesa el material, dependiendo de las siguientes propiedades:

- Porosidad.
- Densidad del fluido, afectado por su temperatura.
- Presión a la que está sometido el fluido.
- Distribución granulométrica.
- Temperatura del fluido.

2.2.5 Ley de Darcy

Braja (2015) explica que "es una ecuación empírica simple para la velocidad de descarga del agua a través de los suelos saturados" (p. 120). Se basa

principalmente en las observaciones que Darcy hace sobre el flujo de agua a través de arenas limpias,obteniendo la ecuación de velocidad de descarga:

$$V = K \,.\, i \textbf{(Ec. 1)}$$

Dónde:

V = Velocidad de descarga.

K = Conductividad hidráulica (coeficiente de permeabilidad).

i = Gradiente hidráulico.

2.2.6 Coeficiente de permeabilidad

Continúa explicando Braja (op. cit.), que "la conductividad hidráulica (coeficiente de permeabilidad) es la propiedad del suelo que está relacionada directamente con la ley de Darcy y con las propiedades del fluido que fluye a través de él" (p. 122). Por lo que se puede establecer el valor de la conductividad hidráulica, k, varía entre los diferentes suelos, y se puede determinar mediante la experimentación de ensayos en campo, o mediante métodos empíricos como la fórmula de Allen-Hazen, la fórmula de Schilichter, la fórmula de Terzaghi o la fórmula de Loudón. Basándose en la forma más utilizada, la ley de Darcy, la ecuaciónqueda de la siguiente forma.

$$K = \frac{Q}{i \; x \; A} \quad \textbf{(Ec. 2)}$$

Dónde:

Q = Caudal (cm3/s)

K = Conductividad hidráulica (coeficiente de permeabilidad).

i = Gradiente hidráulico.

A = Área de la sección transversal donde se filtra el agua.

Ahora bien, es complicado aislar la influencia sobre la permeabilidad de cada una de estas características, debido a que se encuentran estrechamente ligadas, las cuales son los siguientes:

- **Tamaño de las partículas:** El tamaño de las partículas que forman la masa de suelo determinan la cantidad de canales de flujo que se puedan presentar en el suelo, es decir, mientras menor sea el diámetro de las partículas menores serán los vacíos entre ellas, y, por lo tanto, de los canales de flujo, reduciendo con ello la permeabilidad.
- **Relación de vacíos:** constituye la relación entre el volumen de espacios vacíos y el volumen de partículas sólidas en una masa de suelo que define el acomodo del suelo alcanzado por las partículas del suelo dejando espacios vacíos entre ellas. En suelos con una relación de vacíos grande tienden a ser muy permeables, caso contrario cuando tiene una relación de vacíos pequeña.
- **Estructura:** La estructura es una de las características más importantes que influyen sobre la permeabilidad, especialmente en suelos finos. Para igual relación de vacíos pueden existir estructuras totalmente diferentes, y, por lo tanto, permeabilidades diferentes. En este punto, es conveniente distinguir entre suelos naturales y compactados. En el primer grupo, algunos de los factores que pueden influir en la variación de la permeabilidad son la

estratigrafía y la dirección del flujo (horizontal o vertical). El segundo grupo, los factores que pueden modificar las características del flujo en el suelo son la energía y el método de compactación.

- **Grado de saturación:** En general, cuanto mayor sea el grado de saturación, mayor será la permeabilidad, debido a que en suelos no saturados se presenta el fenómeno de succión debida a los potenciales mátrico (absorción y capilaridad) y osmótica. De esta forma, el flujo del agua a través de un suelo con saturación parcial variará dependiendo del tipo de suelo y de la composición del agua. De ahí la importancia de obtener grados de saturación elevados al momento de realizar cualquier prueba de permeabilidad.
- **Composición mineralógica del suelo:** La influencia de la composición del suelo sobre la permeabilidad suele ser pequeña en limos, arenas y gravas (con la excepción de la mica y la materia orgánica); sin embargo, tiene gran importancia en las arcillas. Los cationes más comunes en las arcillas son Li, Na, K, Ca, Mg y Al, de los cuales los de menor valencia forman parte de suelos con estructuras más cerradas o dispersas. Los suelos que contienen cationes de valencias mayores, en comparación con los anteriores, forman estructuras más abiertas o floculentas.

2.2.7 Gradiente hidráulico

Terzaghi y Peck (1978) al definir la ley de Darcy indican, que, “cuando el agua circula a través de un material permeable, se produce el escurrimiento a lo largo de caminos que se desvían en forma errática, que se denominan líneas de filtración” (p. 54). La filtración se produce solamente en el caso en que exista una diferencia piezométrica h entre el punto “a” y el punto “b”, diferencia que también se denomina carga hidráulica de “a” con respecto a “b”, es por ello que se define como la pérdida de carga (altura piezométrica) por unidad de longitud recorrida. Es un vector cuya dirección se orienta con los potenciales decrecientes, expresado según la ecuación:

$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad \textbf{(Ec. 3)}$$

Donde:

Δh = altura piezonometrica.

L = Longitud recorrida.

2.2.8 Coeficiente de permeabilidad en masas estratificadas

Los depósitos de suelos transportados consisten generalmente en capas con diferentes permeabilidades. Para determinar el coeficiente k medio de tales depósitos, se obtienen muestras representativas de cada capa y se ensayan independientemente. Una vez conocidos los valores de k correspondientes a cada estrato individual, el promedio para el depósito puede ser calculado.

2.2.9 Determinación del coeficiente de permeabilidad

Para la determinación del coeficiente de permeabilidad existen diferentes métodos de ensayo de laboratorio efectuados en el lugar, y los métodos empíricos, donde el valor de K es obtenido directa e indirectamente a trasvés de las propiedades del suelo. Explica Angalone y Garibay (2006), mediante la figura 2, un resumen delos distintos métodos de cálculo del coeficiente de permeabilidad.

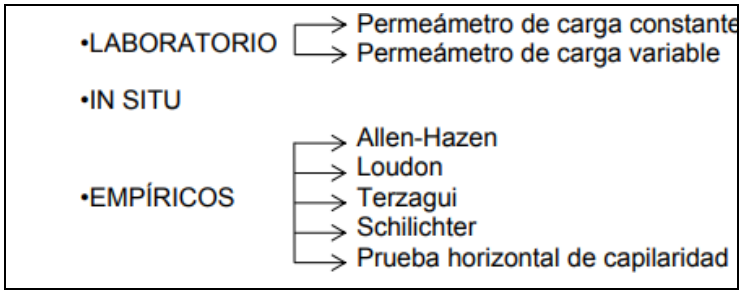


Figura 2. Determinación del coeficiente de permeabilidad.
Fuente: Angalone y Garibay (2006).

Los métodos de laboratorio se basan en la medición del coeficiente de permeabilidad (k) en muestras de suelos o directamente en barrenos perforados en el sitio en estudio, los cuales se diferencian por el tipo de aparato utilizado, a diferencia de los métodos empíricos que proporcionan la medición del coeficiente de permeabilidad correlacionando pruebas y técnicas que son utilizadas para obtener otros parámetros del suelo en estudio.

2.2.10 Permeámetro de carga constante

Según el ASTM D-2434, define que el método de ensayo de carga constante, serealiza mediante un flujo laminar de agua a través de suelos granulares que no contengan más de 10% de partículas que pasen el tamiz Nro. 200, es decir que, el ensayo va aplicado a suelos granulares gruesos como gravas y arenas, con poco porcentaje de fino, ya que pueden alterar los resultados debido a su capacidad de absorción y retención de fluidos, para esos casos existen otro tipo de ensayos, el cual no es objeto de estudio de la investigación. En la figura 3 se muestra las partes delequipo.

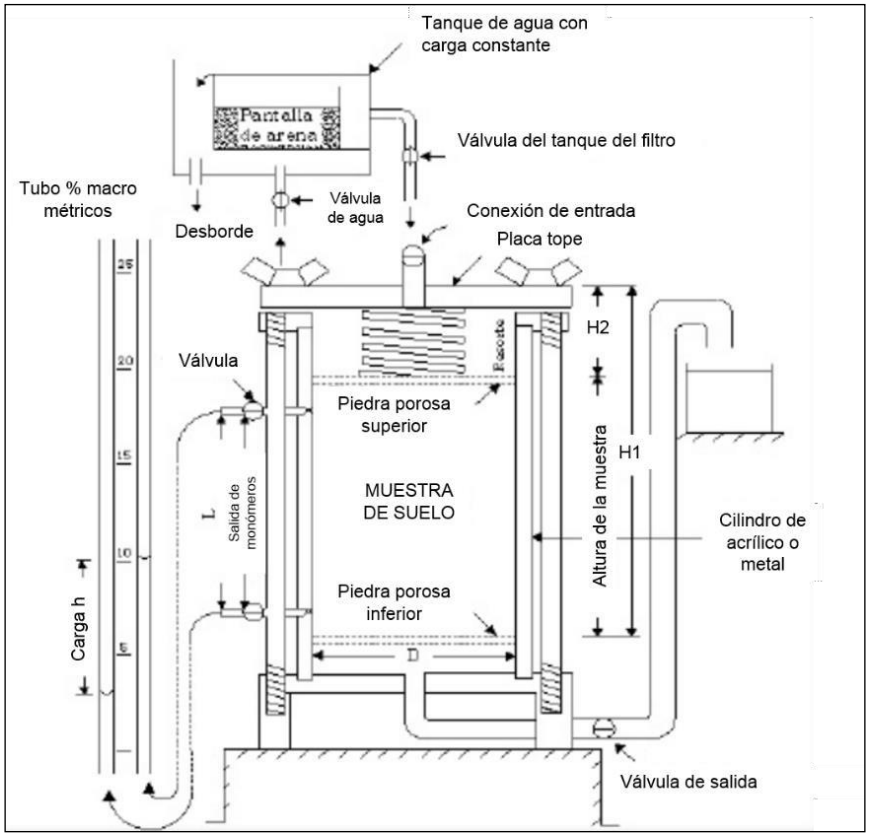


Figura 3. Permeámetro de carga constante
Fuente: ASTM D-2434.

La norma ASTM, describe que el equipo debe contar con:

- Cilindros de muestras con diámetros mínimos de aproximadamente 8 o 12 veces el tamaño máximo de las partículas.
- Un disco poroso o pantalla reforzada adecuado en la parte inferior con una permeabilidad mayor que la de la muestra de suelo, pero con aberturas suficientemente pequeñas (no mayor que 10% tamaño más fino) para evitar el movimiento de las partículas.
- Dos medios de manómetro para medir la pérdida de carga, h, sobre una longitud, l, equivalente a al menos el diámetro del cilindro.
- Un disco poroso o pantalla reforzada adecuado con un resorte unido a la parte superior, o cualquier otro dispositivo, para aplicar una presión de

resorte luz de 22 a 45 N-(5 a 10 lbf) carga total, cuando la placa superior se adjunta en su lugar. Esto mantendrá la densidad de la colocación y el volumen de suelo sin cambio significativo durante la saturación de la muestra y la prueba de permeabilidad

- Un tanque de filtro de carga constante, como se muestra en la figura. 2, para el suministro de agua y para eliminar la mayor parte del aire del agua del grifo, equipado con válvulas de control adecuados para mantener las condiciones.
- Los embudos grandes, equipados con cilíndrica especial canalones 25 mm (1 pulg.) De diámetro por 9,5 mm (3/8 pulg.).
- Bomba de vacío o de agua del grifo aspirador, para la evacuación y para saturar las muestras de suelo bajo vacío total.
- Manómetro Tubos, con escalas métricas para medir la altura de agua.
- Equilibrio, de 2 kg (4,4 libras) de capacidad, sensible a 1 g (0.002 lb).
- Scoop, con una capacidad de aproximadamente 100 g (0,25 libras) de suelo.
- Aparatos varios termómetro, reloj con segundero, graduado de 250 ml, frasco de un cuarto, pan de mezcla, entre otros.

2.2.11 Permeámetro de carga variable

Este tipo de dispositivo, (ver figura 4), brinda mayor exactitud para suelos menos permeables, como arcilla y limo. En este caso la cantidad de agua escurrida es medida en forma indirecta por medio de la observación de la relación entre la caída del nivel de agua en un tubo recto colocado sobre la muestra y el tiempo transcurrido.La longitud L, el área A de la muestra y el área “a” del tubo recto son conocidos. En adición, las observaciones deben ser hechas en no menos de 2 niveles diferentes deagua en el tubo recto.

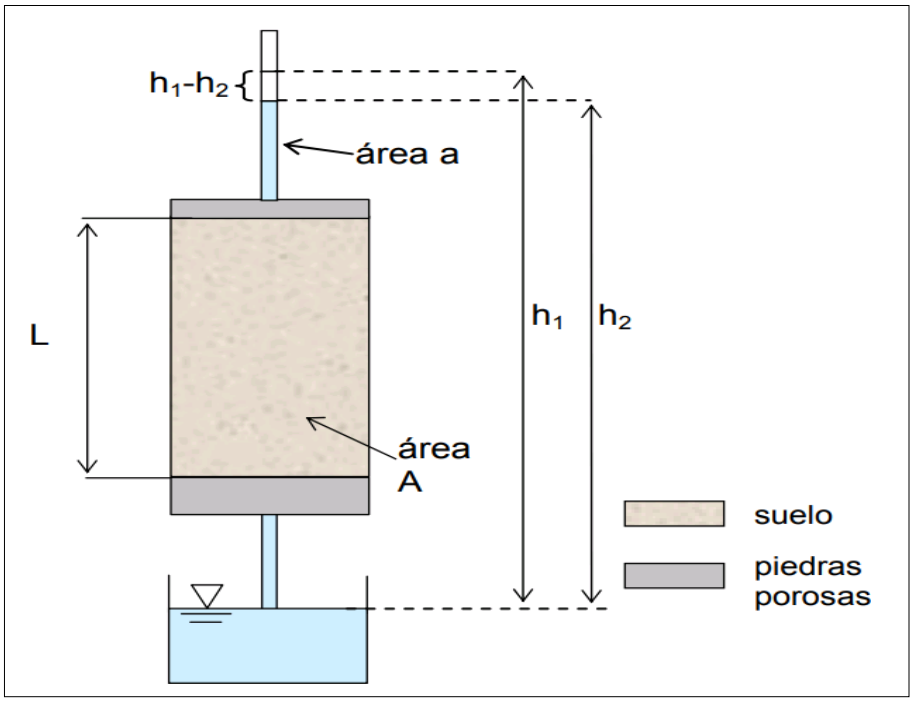


Figura 4. Permeámetro de carga variable.
Fuente: Angalone y Garibay (2006).

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

La investigación se estableció desde un punto de vista documental, ya que el proyecto, estará basado en la interpretación de manuales de uso, especificaciones técnicas sobre ensayos de permeabilidad de carga constante y la norma de la Asociación Americana de Ensayo de Materiales o por sus siglas en ingles ASTM D-2434 – Determinación del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares (carga constante). Para Arias (2016), "es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, critica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales" (p. 27).

3.2 Nivel de Investigación

El proyecto se ubica como nivel descriptivo, en donde explica Arias (op. cit) que "la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento." (p. 24). Lo esbozado anteriormente, se plantea debido a que la investigación describe el procedimiento para la confección del equipo utilizado en el ensayo de permeámetro de carga constante, del mismo modo, la investigación estableció la metodología para la calibración y realización del ensayo según la norma ASTM D-2434, para así poder determinar la permeabilidad de los suelos.

3.3 Técnicas y Herramientas a Utilizar

Para la realización de la investigación, es necesaria la aplicación de técnicas quepermitan recolectar, definir, clasificar y analizar la información referente a la

investigación, donde Arias (op. cit), establece que las técnicas de recolección de datosson las distintas formas o maneras de obtener información.

3.3.1 Técnicas

- **Revisión documental:** Se realizó mediante la consulta de libros, manuales, antecedentes de estudio referente al ensayo de permeabilidad de carga constante, con el fin de establecer las especificaciones técnicas y un manual de uso, así como también se interpretará normas internacionales como:
    - American Society for Testing and Materials (ASTM) D-2434. Determinación del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares (carga constante).

- **Observación directa:** Permitió poder establecer un inventario de los materiales utilizados en la construcción del equipo para el ensayo de permeabilidad de carga constante. De igual forma mediante la toma de notas se establecerá si el equipo estará en óptimo funcionamiento y calibrado durante las pruebas de ensayo.
- **Análisis de datos:** Esta técnica ayudó a interpretar los datos técnicos sobre las características del equipo, así como también del modo correcto de uso una vez confeccionado el equipo.

3.3.2 Herramientas

- Computadora: se utilizó para el resguardo, interpretación y transcripción detoda la información recolectada.
- Herramientas de oficina: Necesarios para poder realizar anotaciones sobre eldesarrollo del proyecto.
- Software: Permitió transcribir, guardar, corregir y presentar en digital toda la información recolectada, mediante Microsoft WORD, Microsoft EXCEL.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

4.1 Identificación de las características físicas, en conjunto con los materiales necesarios para la producción del equipo utilizado en el ensayo de permeabilidad de carga constante

Según el tipo de material, granulometría y tamaño del cilindro, el ensayo permite establecer los valores representativos del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares, y así poder conocer cómo se pueden comportar al estar en contacto con el agua. A fin de realizar un diseño óptimo y funcional del equipo, se deben establecer en primera instancia las características del equipo, el cual, basado en las especificaciones de la norma ASTM D-2434, se muestra esquemáticamente en la figura 5; teniendo como elementos principales:

- Tanque de agua con carga constante.
- Válvula de entrada y válvula de salida.
- Manguera con cuello desmontable.
- Cilindro para muestra de suelo.
- Base de drenaje con disco poroso.
- Tapa de drenaje con disco poroso.
- Cámara de recolección de carga constante.

La normativa no establece dimensiones estándares a utilizar en las partes que compone el equipo y solo se limita a definir dimensiones mínimas en los cilindros de muestras de ensayo, el cual establece diámetros internos mínimos de 100mm, una altura efectiva mínima de 127mm y una capacidad de 1000ml. Adicionalmente el cilindro de muestra debe estar equipado con:

Un disco poroso o pantalla reforzada en la parte inferior con unapermeabilidad mayor que la de la muestra de suelo, pero con aberturas suficientemente pequeñas (no mayor que 10% tamaño más fino) para evitar elmovimiento de las partículas.

- Un disco poroso o pantalla reforzada con un resorte unido a la parte superior,para aplicar presión en la placa superior y mantenerla en su lugar.

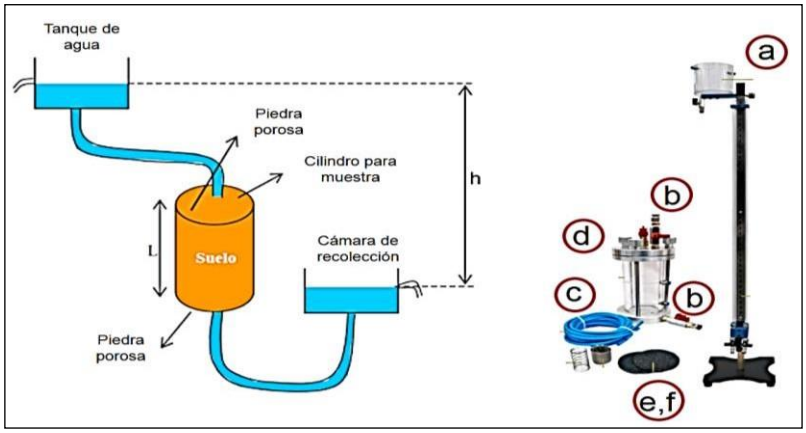


Figura 5. Esquema de funcionamiento y partes de un permeámetro de carga constante
Fuente: Valencia y Triana (2013). Editado por los autores.

a) Envase de llenado.
b) Válvula de llenado y Válvula de purga de salida.
c) Manguera de llenado.
d) Envase de almacenamiento de material granular (envase de muestra).
e) Papel de filtro o piedra porosa.

Del mismo modo, los embudos grandes a utilizar, deben ser mínimo de 25 mm (1 pulg.) de diámetro para partículas de, 5 mm (3/8 pulg.) y máximo de 13 mm (1/2

pulg.) de diámetro para partículas de 2,00 mm (N º 10). Con una longitud de la boquilla mayor que la longitud completa de la permeabilidad de la cámara, de al menos 150 mm (6 pulg.). Dichas dimensiones mínimas, mantienen la densidad de la colocación y el volumen del suelo sin cambios significativos durante la saturación de la muestra y la prueba de permeabilidad. Adicionalmente, para la utilización del equipo, se debe contar con el uso de herramientas para la realización y análisis del ensayo, por lo que se debe contar con los siguientes elementos:

- Cronometro.
- Peso de la balanza de precisión 0,1g.
- Papel de filtro.
- Cilindro graduado.

Cabe destacar que, para la operación funcional del permeámetro se deben tener en cuenta el tipo de material que va a ser estudiado, ya que el caudal debe de ser constante para que no se presenten irregularidades a la hora de la toma de datos para ser evaluados. Del mismo modo, los ensayos de carga constante no permiten obtener valores de la permeabilidad de los suelos cien por ciento exactos a la realidad debido a las siguientes razones:

- La muestra de material que se utiliza en el prototipo nunca es igual a la que se tiene en terreno, pues siempre estará algo alterada.
- La orientación in situ del material con respecto al flujo de agua es probablemente distinta en el laboratorio.
- Las paredes lisas del prototipo mejoran los caminos de flujo con respecto a los naturales en el terreno, estas condiciones del suelo natural serán casi imposibles de reproducir en el laboratorio.

Es importante resaltar que, a pesar de todas estas condiciones, el ensayo

establece valores representativos y cercanos del coeficiente de permeabilidad real del suelo, presente en los depósitos naturales o colocados en terraplenes, o cuando se empleen como base para pavimentos. En cuanto a los materiales a utilizar, no existe una restricción o limitación normativa que indique cuales materiales se deben utilizar para su fabricación, ya que, sin importar el tipo de material utilizado, este debe cumplir las siguientes condiciones:

- Debe permitir un flujo laminar de agua a través del suelo granular bajo condiciones de carga constante.
- Debe existir una continuidad de flujo sin cambio de volumen del suelo durante la prueba.
- No debe generar burbujas de aire o filtraciones durante la prueba.

4.2 Fabricación el equipo para el ensayo de permeabilidad de carga constante según la normativa vigente ASTM D-2434

Partiendo de la observación e información recopilada durante el proceso de investigación se evaluaron los diferentes criterios técnicos necesarios para el diseño del equipo teniendo en cuenta el diseño básico del permeámetro observado en la figura 5 y las especificaciones de la norma ASTM-2434, se analizó la funcionalidad, eficiencia y aspectos económicos para su confección, en donde se tomó en cuenta realizarlo con materiales y tuberías de PVC plástico de aguas blancas y una cabilla lisa cuadrada de ½” como soporte del prototipo en conjunto con una mesa de madera como base de apoyo del equipo. A continuación, se especifican los materiales utilizados al igual como se ilustra en la figura 6:

- Envase plástico boca ancha cap = 1 galón.
- Envase plástico transparente con tapa. cap = 1/4 galón.
- Llave de paso de bola D=3/4" plástico.

- Codo PVC de 90º D=3/4".
- Unión universal PVCD=3/4".
- Conexión tipo flange PVC de D=3/4".
- Niple PVC de unión con rosca D=3/4", 10cm.
- Conector plástico pico de boquilla de riego D=3/4".
- Lámina de esponja abrasiva verde para trabajo pesado scotch brite 220.
- Cabilla lisa cuadrada D=1/2".

Figura 6. Materiales PVC para la construcción del permeámetro.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

4.2.1 Elaboración de la instalación hidráulica para el prototipo

Para la construcción y elaboración del permeámetro de carga constante se debiótener en cuenta el tipo de material, seleccionado y el calibre del material en que se elaboraría el prototipo para ser utilizado en el laboratorio, además de ser identificado el lugar donde va a ser ubicado el prototipo, por ello se utilizó material PVC de alta resistencia y que pueda perdurar con el tiempo si se realiza la limpieza

y correcto uso del equipo.

Tomando en cuenta lo anterior, se procedió en primera instancia a realizar el armado de la parte superior del equipo, donde se realizó un orificio por la parte inferior al envase de llenado, el cual se le anexó la conexión tipo frange de ¾” en conjunto con la llave de paso que permite el paso del fluido y la llave universal que conectará con el envase de la muestra. En la figura 7, se muestra el armado de la partesuperior del equipo.

Siguiendo el mismo procedimiento se arma la parte inferior del equipo, conectando la llave de purga junto al codo de 90º que permite la salida del líquido hacia el conector plástico de pico para la medición, luego de que pasa el envase de la muestra, todo ello unido con niples PVC de 10cm como se puede observar en lafigura 8.

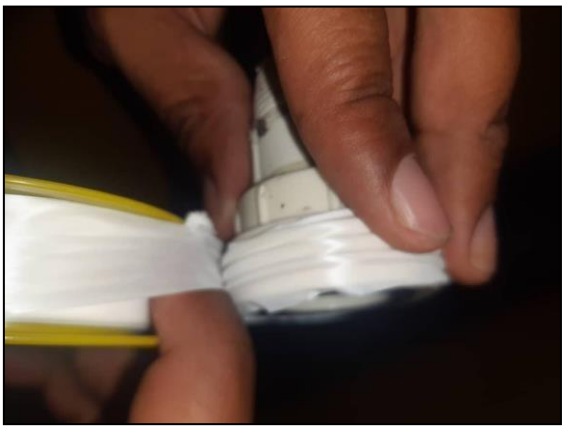


Figura 7. Confección de la parte superior del equipo.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

Figura 8. Confección de la parte inferior del equipo.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

4.2.2 Envase de almacenamiento de material granular

Una vez confeccionada la parte superior, se tomó el envase de ¼” que contendrá el material granular, al cual se le realizó un orificio tanto en la parte inferior como superior del envase, a fin de que el fluido pueda entrar desde la parte de llenado hasta la salida para la muestra, el cual se les anexo una conexión tipo frange de ¾” en cada lado para poder realizar la conexión y desconexión del envase para el llenado del material granular. Cabe destacar que debido al tamaño del material seleccionado para cada probeta es inferior al diámetro de la tubería que trasportara el flujo; fue necesario la instalación en la parte superior como inferir se le anexó la lámina de esponja abrasiva verde (ver figura 9), que servirá como refuerzo impidiendo la salida del material, como se puede observar en la figura 10.

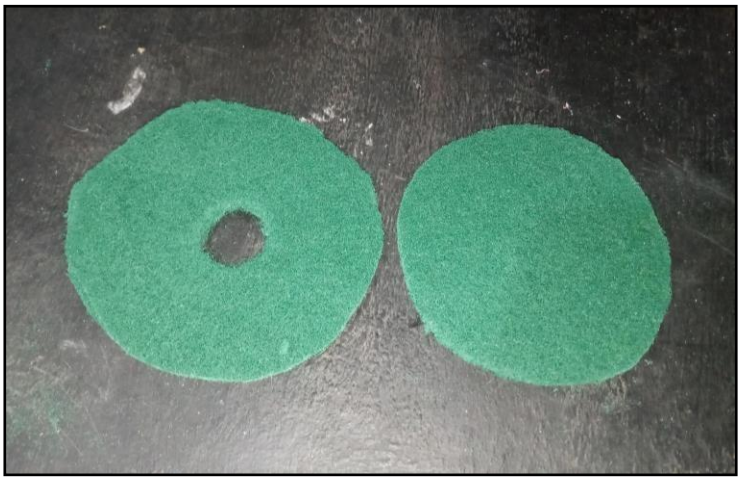


Figura 9. Lámina de esponja abrasiva verde para trabajo pesado scotch brite 220.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

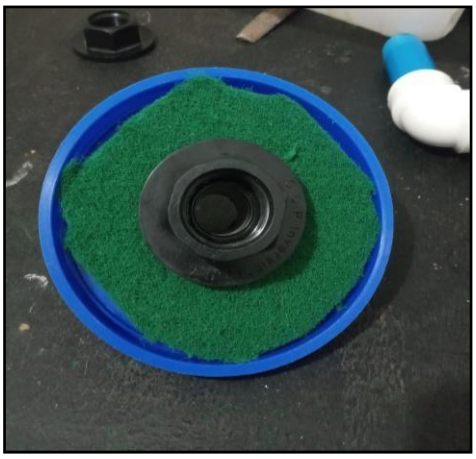


Figura 10. Conexión tipo flange con esponja abrasiva.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

4.2.3 Armado completo del prototipo

Teniendo las distintas partes ya armadas se procede a confeccionar el prototipo para determinar la altura y la funcionalidad del mismo, el cual tiene es de 70cm aproximadamente, como se muestra en la figura 11. Es importante resaltar que la unión universal sirve como mecanismo para poder retirar y conectar el envase de muestra granular sin tener que desarmar todo el equipo o retirarlo de la base.

Figura 11. Equipo permeámetro casero sin base metálica.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

4.2.4 Soporte de estructura metálica y Mesa de madera para base del equipo.

Con el fin de brindarle la estabilidad necesaria al prototipo se realizó un soporte de estructura metálica, el cual fue elaborado con cabilla lisa cuadrada con un diámetro de ½", cortada y soldada por una mano de obra calificada en soldadura, como se puede observar enla figura 12, el cual terminó con una altura de 1,00m, ver figura 13.

Posteriormente, se optó por colocar el equipo en una mesa de madera como base de apoyo, ya que este material ofrece una superficie plana y resistente, ideal

para soportar el peso del equipo y facilitar su manipulación durante la elaboración del ensayo, como se puede observar en la figura 14.

Figura 12. Soldadura para soporte de estructura metálica del permeámetro.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

Figura 13.Soporte de estructura metálica.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

Figura 14. Mesa de madera para base del equipo.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

En la figura 15, se muestra la confección completa del equipo, el cual busca apoyar y complementar el desarrollo de más practicas académicas que fomenten el aprendizaje de todo estudiantado que hace uso de estos espacios diseñados para experimentar y aprender; a través de la implementación de nuevos equipos o prototipos.

Figura 15. Permeámetro de carga constante.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

4.2.5 Envase de rebose para carga constante

Con la finalidad de generar un equipo que mantenga un nivel de agua constante, se procedió a anexar un envase en la parte externa del equipo, entre el envase de almacenamiento y el envase de la muestra, de modo que este se conecte al envase de almacenamiento por medio de una manguera al nivel requerido para el ensayo, esto para así poder mantener por rebose un nivel constante mientras se va ingresando agua al envase de almacenamiento. En la figura 16, se muestra la descripción de las partes del equipo ya pintado y confeccionado. Cabe destacar que en total se tiene un rendimiento de armado y confección total de 1 equipo diario, tomando en cuenta el suministro, transporte y construcción.

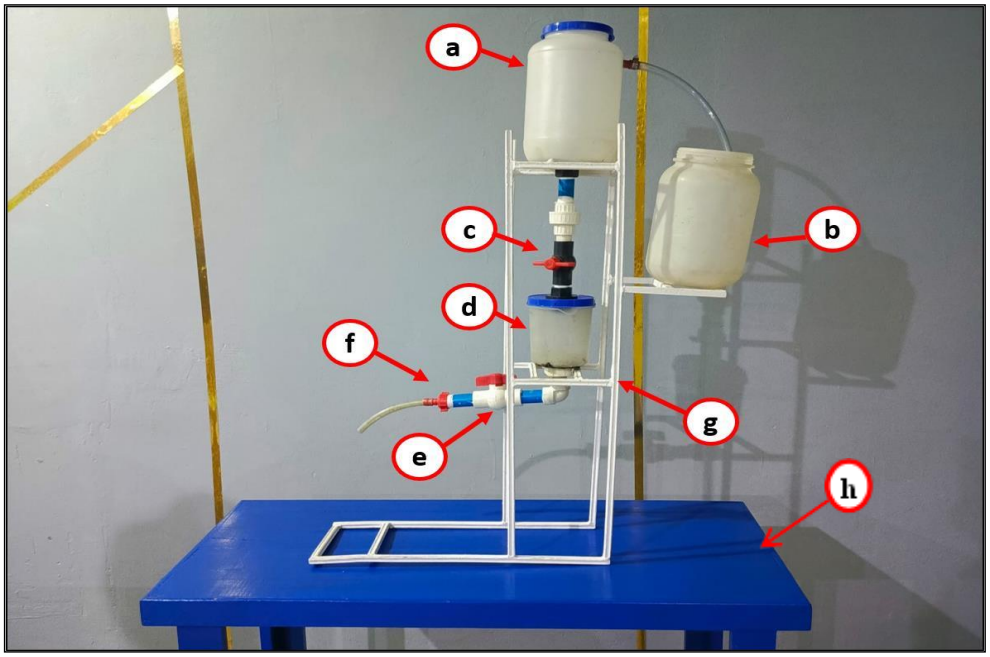


Figura 16. Partes del permeámetro de carga constante.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

a) Envase de llenado.

b) Envase de almacenamiento y rebose para carga constante.

c) Válvula de llenado.

d) Envase de almacenamiento de material granular (envase de muestra).

e) Válvula de purga de salida.

f) Boquilla de salida o toma de muestra.

g) Soporte de estructura metálica para el permeámetro de carga constante.

h) Mesa de madera como base del equipo.

4.3 Determinación mediante pruebas, la calibración y operatividad del equipo de permeabilidad de carga contante para el ensayo de permeabilidad, según los procedimientos de la norma ASTM D-2434

Terminada la confección del prototipo de permeámetro de carga constante, se procedió a verificar el buen funcionamiento del equipo según el cumplimiento de losrequisitos establecidos en la norma, es decir que, cada ensayo es conforme la normaASTM D-2434, en donde se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

- Materiales granulares gruesos mayores al tamiz #200.
- Material con una permeabilidad alta.
- Estabilidad volumétrica en las tomas de muestras.
- Debe permitir un flujo laminar de agua a través del suelo granular bajo condiciones de carga constante.
- Debe existir una continuidad de flujo sin cambio de volumen del suelo durante la prueba.
- No debe generar burbujas de aire o filtraciones durante la prueba.

4.3.1 Equipos y materiales para el ensayo

- Permeámetro de carga constante.
- Tamiz de abertura Nro. 4 (3/4 de pulg).
- Envase plástico de 1galón.
- Cronometro digital Zsd-0009 con pantalla LED de FECGA automática
- Cilindro de medición graduable cap: 200mililitros.
- Cilindro de medición graduable cap: 400mililitros.

- Cinta métrica de 3m.

4.3.2 Selección del material

Como se estableció anteriormente, el ensayo de permeabilidad de carga constante, se realiza sobre los suelos granulares gruesos, en el cual se mantiene un flujo de agua constante, por lo que se tomó en consideración cuatro (4) tipos de materiales granulares de diferentes diámetros, en donde se utilizaron dos (2) como muestras representativas, una de un área de préstamo que contiene grava fina y otra de arena fina.

4.3.3 Procedimiento de ensayo de la muestra representativa 1 (grava fina)

- **Preparación de la muestra**

Se evalúa en primera instancia el material que esté libre de materia orgánica, para que posteriormente por medio del tamiz se tome una muestra lo suficientemente grandes como para llenar por completo el recipiente de la muestra, en la figura 17, se muestra el tamizado de la muestra en una malla Nro. 4 (3/4 de pulg.). Seguidamente, una vez seleccionado el material requerido, se procede a llenado del envase donde irá la muestra, tomando en consideración que, en la parte de abajo del envase, se debe colocar la esponja abrasiva verde para evitar que el material salga durante el ensayo, pero que a su vez no afecte el flujo del agua, como se observa en la figura 18. Cabe destacar que se enumeró y codifico la muestra para la distinta toma del ensayo.

Figura 17. Tamizado del material granular.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

Figura 18. Llenado del envase de muestra con el material granular.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

- **Armado del equipo**

Para el armado del equipo, se realizó una inspección previa a cada una de las partes, a fin de verificar que este no contenga suciedad o material granular que afecte el ensayo. Seguidamente se procedió a colocar el envase de llenado en la parte superior de la base metálica y se realizaron las respectivas conexiones entre el envase de llenado, la válvula principal de llenado y la muestra granular, por medio de las uniones universales y los niples de PVC de agua blanca. Por último, se conectó la parte inferior del equipo a la muestra granular, manteniendo siempre la válvula de purga cerrada antes de iniciar el llenado del equipo.

- **Medición de la altura hidráulica**

En este paso se determina la altura hidráulica (h), para el cual el agua ejercerá presión sobre la muestra, así como también la altura de la muestra (L), ya que dichas constantes permiten calcular el gradiente hidráulico requerido para el cálculo de la permeabilidad. Del mismo modo, se mida el radio (r) del envase donde se coloca la muestra, a fin de estimar el área transversal del envase (A). A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

L = 14 cm.

h = 54 cm.

r = 6,5 cm. = A = 132,73 cm2

- **Preparación del ensayo**

Una vez colocada la muestra de suelo granular en el envase y armado el equipo

sobre la base metálica, se procedió en primera instancia a abrir la válvula principal del equipo, recordando mantener aun cerrada la válvula de salida o de purga, y se procedió al llenado del equipo hasta saturar la muestra. Cabe destacar que en este paso se debe llenar el equipo hasta la línea de flujo contante en el envase de llenado y se debe verificar constantemente que la muestra se sature completamente y sin burbujas de aire (ver figura 19).

Figura 19. Llenado con agua del equipo.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

- **Etapa de prueba**

En esta parte del ensayo, se abre la válvula de purga durante unos segundos, para asegurar la salida de todas las burbujas de aire en la muestra y verificar el flujo continuo del agua. Seguidamente se con el uso de la probeta graduada, el cronómetro digital y libreta de apuntes (ver figura 20), se procede a la toma de 5 muestras representativas, en el cual, se mantiene el flujo de agua constante en el envase de llenado, mientras se abre la válvula de salida o de purga.

Figura 20. Toma de muestras representativas.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

En la tabla 1, se puede observar el tiempo (T) requerido para el llenado de la probeta graduada de capacidad de 200ml (V) una vez el agua pasa a través de la muestra, el cual a partir de dichos datos se calcula el caudal (Q) de salida.

Tabla 1. Tiempo y volumen de las muestras representativas del ensayo

Muestra	Tiempo (T)	Volumen (V)	Caudal (Q)
1	5,04 s	200 cm3	39,68 cm3/s
2	4,68 s	200 cm3	42,74 cm3/s
3	4,25 s	200 cm3	47,06 cm3/s
4	5,10 s	200 cm3	39,22 cm3/s
5	4,55 s	200 cm3	43,96 cm3/s

Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

- **Cálculo de la prueba**

En la tabla 2, se muestra permeabilidad (K) de cada una de las muestras, en donde se toma en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$i = \frac{h}{L}$$

Dónde:

i = Gradiente hidráulico.

L = Longitud de la muestra.

h= Carga hidráulica.

$$i_{Muestra\ 1} = \frac{54\ cm}{14\ cm} = 3{,}85\ cm$$

Permeabilidad de la muestra 1:

$$K = \frac{QxL}{hxA}$$

Donde:

K = Permeabilidad.

L = Longitud de la muestra.

h= Carga hidráulica

A= Área de la muestra.

Q = Caudal.

$$K_{Muestra\ 1} = \frac{39{,}68\ \text{cm3/s}\ \ x14\ cm}{54\ cmx132{,}73\ cm2}$$

$$K_{Muestra\ 1} = 0{,}077 = 7{,}7\text{x}10^{-2}$$

Del mismo modo, se calcula la permeabilidad en las siguientes muestras tomadas, en donde en la tabla 3, se muestran los resultados de las distintas permeabilidades, teniendo en cuenta el promedio de 0,08307 ($8{,}30x10^{-2}$).

Tabla 2. Cálculo de la permeabilidad de cada una de las muestras tomadas.

Muestra	Tiempo (T)	Volumen (V)	Caudal (Q)	Carga Hidraulica (h)	Long. de la muestra	Área de la muestra	Premeabilidad (K)
1	5,04	400	79,37	54	14	132,73	0,1550225
2	4,68	400	85,47	54	14	132,73	0,1669473
3	4,25	400	94,12	54	14	132,73	0,1838384
4	5,10	400	78,43	54	14	132,73	0,1531987
5	4,55	400	87,91	54	14	132,73	0,1717172

Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

- **Determinación del nivel de permeabilidad**

Por último, con el resultado de la permeabilidad promedio, se determina el tipo de suelo y el grado de permeabilidad, conforme la norma ASTM D-2434, en la figura 21 y 22, se muestra que es un suelo GP (Grava pobremente graduara con 5% de finos) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y un grado de permeabilidad medio.

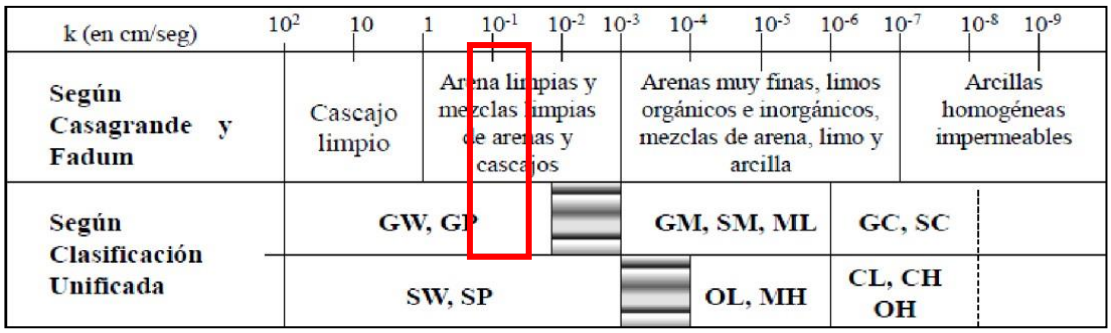


Figura 21. Clasificación del suelo según su permeabilidad de la muestra 1.
Fuente: ASTM D-2434.

Valor de k (cm/seg)	Grado de permeabilidad
$> 10^{-1}$	Elevada
10^{-1} a 10^{-3}	Media
10^{-3} a 10^{-5}	Baja
10^{-5} a 10^{-7}	Muy baja
$< 10^{-7}$	Prácticamente impermeable

Figura 22. Grado de permeabilidad del suelo de la muestra 1.
Fuente: ASTM D-2434.

4.3.4 Procedimiento de ensayo de la muestra representativa 2 (arena fina)

- **Preparación de la muestra**

Al igual que en la primera muestra, se revisó que esta estuviese libre de materia orgánica y se procedió al llenado del envase de muestra, tomando en cuenta las esponjas abrasivas para evitar la pérdida de material durante el ensayo. En la figura 23 se muestra el envase de muestra con el material granular.

Figura 23. Llenado del envase de muestra con el material granular de la muestra 2.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

- **Armado del equipo**

Seguidamente se procedió a colocar el envase de llenado en la parte superior de la base metálica y se realizaron las respectivas conexiones entre el envase de llenado, la válvula principal de llenado y la muestra granular. Por último, se conectó la parte inferior del equipo a la muestra granular, manteniendo siempre la válvula de purga cerrada antes de iniciar el llenado del equipo. En la figura 24 se muestra el equipo de permeámetro de carga constante con el material granular de la muestra representativa número 2 (arena fina).

Figura 24. Permeámetro de carga constante con el material granular de la muestra 2.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

- **Medición de la altura hidráulica**

En este paso se tienen las medidas respectivas del ensay, el cual son constantes sin importar el material granular de la muestra ya que mantienen la misma altura hidráulica (h), la altura de la muestra (L), el radio (r) del envase donde se coloca la muestra, y el área transversal del envase (A). A continuación, se muestran los datos:

L = 14 cm.

h = 54 cm.

r = 6,5 cm. = A = 132,73 cm2

- **Preparación del ensayo**

Una vez colocada la muestra de suelo granular en el envase y armado el equipo sobre la base metálica, se procedió en primera instancia a abrir la válvula principal del equipo, recordando mantener aun cerrada la válvula de salida o de purga, y se procedió al llenado del equipo hasta saturar la muestra. Cabe destacar que en este paso se debe llenar el equipo hasta la línea de flujo contante en el envase de llenado y se debe verificar constantemente que la muestra se sature completamente y sin burbujas de aire.

- **Etapa de prueba**

En esta parte del ensayo, se abre la válvula de purga durante unos segundos, para asegurar la salida de todas las burbujas de aire en la muestra y verificar el flujo continuo del agua. Seguidamente con el uso de la probeta graduada, el cronómetro digital y libreta de apuntes (ver figura 25), se procede a la toma de 5 muestras representativas, en el cual, se mantiene el flujo de agua constante en el envase de llenado, mientras se abre la válvula de salida o de purga.

Figura 25. Toma de muestras representativas, material granular 2.
Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

En la tabla 3, se puede observar el tiempo (T) requerido para el llenado de la probeta graduada de capacidad de 400ml (V) una vez el agua pasa a través de la muestra, el cual a partir de dichos datos se calcula el caudal (Q) de salida.

Tabla 3. Tiempo y volumen de las muestras representativas del ensayo

Muestra	Tiempo (T)	Volumen (V)	Caudal (Q)
1	57,5s	400cm3	6,09 cm3/s
2	61,4s	400cm3	6,51cm3/s
3	56,87s	400cm3	7,03cm3/s
4	57,32s	400cm3	6,98cm3/s
5	59,48s	400cm3	6,72cm3/s

Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

- **Cálculo de la prueba**

En la tabla 4, se muestra permeabilidad (K) de cada una de las muestras, siguiendo las ecuaciones aplicadas al ensayo de la muestra representativa número 1, tomando en cuenta un resultado promedio de 0,01313 ($1{,}31x10^{-2}$).

Tabla 4. Cálculo de la permeabilidad de la muestra representativa número 2.

Muestra	Tiempo (T)	Volumen (V)	Caudal (Q)	Carga Hidraulica (h)	Long. de la muestra	Área de la muestra	Premeabilidad (K)
1	57,5	400	6,96	54	14	132,73	0,0135881
2	61,4	400	6,51	54	14	132,73	0,0127250
3	56,87	400	7,03	54	14	132,73	0,0137386
4	57,32	400	6,98	54	14	132,73	0,0136307
5	59,48	400	6,72	54	14	132,73	0,0131357

Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

- **Determinación del nivel de permeabilidad**

Con el resultado de la permeabilidad promedio, se determina el tipo de suelo yel grado de permeabilidad, conforme la norma ASTM D-2434, en la figura 26 y 27, semuestra que es un suelo SP (Arena pobremente graduada con 5% de finos) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y un grado de permeabilidad medio.

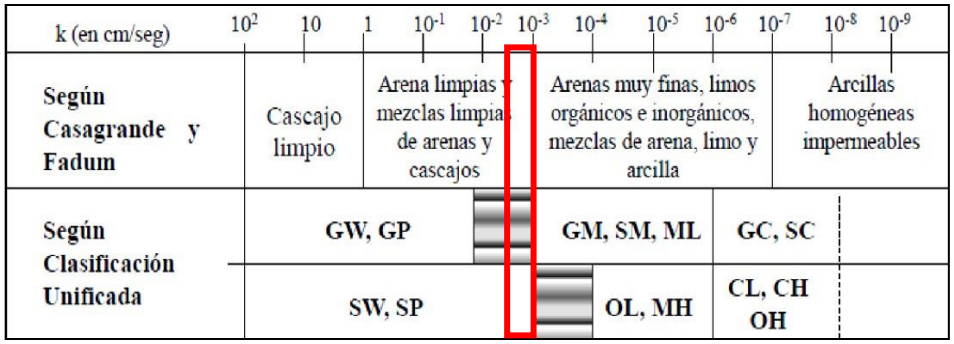


Figura 26. Clasificación del suelo de la muestra 2 según su permeabilidad.
Fuente: ASTM D-2434

.

Valor de k (cm/seg)	Grado de permeabilidad
$> 10^{-1}$	Elevada
10^{-1} a 10^{-3}	Media
10^{-3} a 10^{-5}	Baja
10^{-5} a 10^{-7}	Muy baja
$< 10^{-7}$	Prácticamente impermeable

Figura 27. Grado de permeabilidad del suelo de la muestra 2.
Fuente: ASTM D-2434.

4.4 Establecimiento de los costos de fabricación del equipo mediante eluso del programa comercial IP3

Para la elaboración del equipo de manera industrial o detallada, se debe contar con un presupuesto estimado que detalle todos los materiales requeridos para llevar a cabo su fabricación, así como sus correspondientes costos. Es por ello que se realizó por medio del programa comercial IP3, los cálculos asociados a los materiales de construcción, la mano de obra necesaria y los equipos a utilizar para su confección, utilizándose dicho programa ya que tiene la capacidad de organizar y calcular mediante fórmulas cada uno de los aspectos que deben ser considerados en cualquier análisis de precio unitario (A.P.U) utilizando su hoja de cálculo.

Bajo este contexto, es pertinente el ingreso de datos preliminares para el cálculo de las partidas con el programa, en donde se asignaron los siguientes parámetros de entrada en el programa:

- Mano de obra:
  - Jornada laboral de 8h.
  - 1,33 $/día bono de alimentación.
  - Prestaciones sociales 420% (según la ley orgánica del trabajo).
- 15% en gastos administrativos.
- 10% en imprevistos y utilidad.
- 0% de financiamiento.
- Impuesto al Valor Agregado (I.V.A) en 16%.
- Moneda: dólares ($)

Es importante resaltar que, el cálculo del monto total se realiza en moneda extranjera, con la finalidad de poder evitar que el monto general se vea afectado por la devaluación de la moneda local y preservar el mayor tiempo posible el resultado

del presupuesto. Ahora bien, para la construcción del equipo se establecieron un total de tres (3) partidas, en el cual la mayoría se ubica en el suministro de materiales, en donde el equipo de permeámetro tiene un costo total de $354,82 (dólares) aproximadamente como se muestra en la tabla 5, lo cual puede variar dependiendo de dónde se ubiquen los materiales y la mano de obra. En el anexo A del proyecto, se muestra el presupuesto general y el análisis de precios unitarios de cada una de sus partidas

Tabla 5. Presupuesto general para la confección del equipo

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NUCLEO ANZOÁTEGUI
EXTENSION CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA:

CONTRATANTE: UNIVERSIDAD DE ORIENTE - EXTENSIÓN CANTAURA

P R E S U P U E S T O					
PART No	**DESCRIPCIÓN**	**UND.**	**CANT.**	**P.U. ($)**	**TOTAL ($)**
1	CONFECCIÓN DE EQUIPO PERMEÁMETRO DECARGA CONSTANTE. INCLUYE SOPORTE DE ACERO.	UND	1,00	161,68	161,68
2	MESA DE MADERA COMO BASE DE APOYO DE EQUIPO PERMEÁMETRO, MEDIDAS L: 1,00m x A:0,50m x 0,85m. INCLUYE REVESTIMIENTO CON PINTURA ESMALTE.	UND	1,00	120,48	120,48
3	ACCESORIOS DE MEDICIÓN DE VOLUMEN Y TIEMPO. ((01) CILINDRO DE MEDICIÓN CLASE B GRADUADO DE FACIL MEDICIÓN PARA LIQUIDOSHECHO EN VIDRIO CAPACIDAD 400ml - (01) CRONOMETRO DIGITAL ZSD-0009 DE FECGA AUTOMÁTICA, INDICADOR DE FECHA Y ALARMA, PANTALLA LED, PROTECCIÓN DE GOMA).	JG	1,00	23,72	23,72
				SUB-TOTAL ($):	**305,88**
				16.00% IMPUESTO DE LEY:	**48,94**
	TOTAL GENERAL DEL PRESUPUESTO ($):				**354,82**

Fuente: Hidalgo y Caraballo (2024).

4.5 Presentación de un manual técnico sobre la realización del ensayo de permeabilidad de carga constante, que contemple las recomendaciones de uso y limpieza del equipo

El siguiente objetivo presenta un manual de uso del permeámetro de carga constante, como herramienta para la determinación de la permeabilidad de los suelos. El mismo, como se muestra en el anexo B, incluye un procedimiento de calibración y describe paso a paso el modo de empleo, conceptos básicos y cálculos de las pruebas según especificaciones las norma ASTM D-2434. En los primeros capítulos se describen ampliamente el objetivo y alcance del equipo, así como también la descripción teórica del proceso de ensayos que aplican junto con su norma que los rige, descripción, equipo, procedimiento de aplicación y consideraciones especiales.

Como parte final del manual, se presentan los resultados del ensayo para la permeabilidad de los suelos y su clasificación según el resultado del mismo, utilizados junto con datos y ecuaciones para posteriormente presentar un análisis comparativo-cualitativo con los ensayos de laboratorio. Es importante resaltar que, el diseño del manual de uso para el equipo destinado al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de Oriente, extensión Cantaura, con la finalidad de establecer el paso a paso durante la realización del ensayo, para que tanto los alumnos y docente encargado de la materia, realicen una correcta partica de laboratorio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Tomando en cuenta la investigación realizada y las características contempladas en la norma ASTM D-2434 se demostró que el equipo está conformado por cuatro (04) partes esenciales que son el envase de almacenamiento, envase de rebose de carga constante, cilindro de muestra del ensayo y envase de salida.
- El armado de equipo se realizó conforme a la norma ASTM D-2434, mediante tuberías y accesorios de PVC que pueden ser encontrados en ferretería, obteniendo así un equipo para ser utilizado en el laboratorio de mecánica de suelos para el ensayo de carga constante el cual nos permitirá determinar el coeficiente de permeabilidad sobre suelos granulares.
- El ensayo de permeabilidad de carga constante, se realiza sobre los suelos granulares, por lo que se tomó en consideración cuatro tipos de materiales granulares gruesos de diferentes diámetros, en donde se utilizaron (02) dos de ellos como muestras representativa, una de un área de préstamo que contiene grava fina y otra de arena fina a las cuales se le realizaron 5 tomas de muestras distintivas, teniendo un tiempo promedio entre las cinco muestras para la grava fina de 4,72 s, el cual da como resultado un caudal promedio de 42,53 cm3/s y para la arena fina un tiempo promedio de 58.51 s, el cual da como resultado un caudal promedio de 6.66 cm3/s.
- Considerando los resultados anteriores en conjunto con los datos de las constantes (altura hidráulica (h), la altura de la muestra (L), el radio (r) del envase donde se coloca la muestra, y el área transversal del envase (A)), medidas previamente obtenemos las distintas permeabilidades de cada toma de muestra representativa, para el ensayo con grava fina se obtuvo como resultado

una permeabilidad promedio de 0,08307 ($8{,}30x10^{-2}$) y para el ensayo con arena fina se obtuvo como resultado una permeabilidad promedio de 0,01313 ($1{,}31x10^{-2}$).

- Para la confección del equipo se realizó un presupuesto previo teniendo en consideración el suministro de cada elemento de forma individual el cual arrojo un total general para su fabricación de $354,82.
- Por último, en base a toda la información recopilada y los resultados obtenidos en los objetivos anteriores, se elaboró un manual de uso del equipo de permeabilidad de carga constante, con la finalidad de establecer un paso a paso durante la realización del ensayo, para que tanto los alumnos y docente encargado de la materia, realicen una correcta partica de laboratorio.

5.2 Recomendaciones

- Determinar no solo las características físicas del equipo de permeabilidad de carga constante, sino también las del equipo de permeabilidad de carga variable,con la finalidad de conocer las características del equipo utilizado para determinar la permeabilidad en los suelos de granos finos.
- Confeccionar un envase de muestras cuyas dimensiones sean mayores, a fin de poder realizar ensayos a gravas de diámetros superiores al tamiz Nro. 50.
- Realizar la prueba con material granular cuya permeabilidad haya sido ensayada en laboratorio, para así poder determinar con mayor exactitud la precisión del equipo confeccionado.
- Calcular los precios y costos de producción, realizar un presupuesto en base a laproducción al mayor, donde se obtengan precios más bajos de los materiales para la producción en masa del equipo.
- Utilizar los equipos de seguridad recomendados (bata de laboratorio guantes, botas y lentes), para evitar accidentes mayores, sobre las personas a cargo de lasprácticas.
- Limpiar y guardar de manera correcta, para garantizar la conservación del mismo para futuros semestres y estudiantes de la carrera de ingeniería civil.

REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA

Arias, F. (2016). *El Proyecto de Investigación* (Séptima Edición). Episteme. Sevilla, España.

Angalone, S. y Garibay, M (2006). *Geología y Geotecnia - Permeabilidadde los suelos.* Universidad Nacional del Rosario. Bogotá, Colombia.

Braja, M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotecnia* (Cuarta Edición). Editorial CENGACE. México.

Briceño, P. y Prado, E. (2014). *Permeámetro de carga constante para el cálculo de una propiedad hidráulica de suelos (permeabilidad) (PCC- SM).* Barinas, Venezuela.

Díaz, J. Cely, L. y Perdomo, S. (2019). *Elaboración de un prototipo de permeámetro de cabeza constante para los laboratorios de ingeniería de la Universidad Cooperativa Campus Villavicencio.* Colombia.

Montoya, A. y Palma, S. (2006). *Fabricación de un permeámetro de pared flexible para el laboratorio de mecánica de suelos de la ESIA Zacatenco*. México DF, México.

Norma ASTM. *American SocietyofTestingMaterials D-2434 - Determinación del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares.*

Ruge, J. Valencia, C. y Triana, J. (2013). *Diseño, construcción y puesta en funcionamiento de permeámetro de carga constante para suelos granulares*. Bogotá, Colombia.

Tamayo y Tamayo (2000), *El proceso de la investigación científica.* México: Editorial Limusa de SA de CV

Rico, A. y Castillo, H (1968). *La ingeniería de los suelos en las víasterrestres.* (Novena edición). Editorial Limusa. D.F, México.

Terzaghi, K. y Peck, Ralph. (1978). *MECÁNICA DE LOS SUELOS EN LA INGENIERÍA PRÁCTICA* (Segunda Edición). Editorial EL ATENEO.España.

Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (Quinta Edición). Editorial Limusa. México.

HOJA DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	**ELABORACIÓN DE PERMEÁMETRO PARA EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE PARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EXTENSIÓN CANTAURA**
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	**Código ORCID / e-mail**	
Dhercy Paola Caraballo León	**ORCID**	23.546.891
	e-mail	Dherpcl@gmail.com
	e-mail	
José Ángel Hidalgo Mosqueda	**ORCID**	24.832.538
	e-mail	Joseangelhidalgolv@gmail.com
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Ensayo
Permeabilidad
Permeámetro de carga constante
Laboratorio
ASTM D-2434
Agregado grueso
Grava

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Civil

Resumen (abstract):

RESUMEN

El objetivo principal de la investigación es dotar a la Universidad de Oriente, Extensión Cantaura, con equipos de laboratorio que permitan el desarrollo de la asignatura Laboratorio de Mecánica de Suelos, es por ello que se planteó una investigación de tipo documental con un nivel descriptivo, basado en la confección de un permeámetro para la realización del ensayo de permeabilidad de carga constante. Bajo este contexto, por medio de la revisión bibliográfica se obtuvieron las características físicas del equipo conforme a la norma ASTM D-2434. Posteriormente para su fabricación se utilizaron accesorios PVC de aguas blancas, incluyendo una cabilla lisa de ½" como soporte del prototipo en conjunto con una mesa de madera como base de apoyo del equipo. Una vez confeccionado se tomaron dos muestras representativas para el ensayo, una grava fina con dimensiones de ¾" (Tamiz Nro. 4), en donde se obtuvo una permeabilidad promedio de 0,08307 ($8{,}30x10{-}2$), y otra de arena fina con permeabilidad promedio de 0,01313 ($1{,}31x10{-}2$). Además se realizó el cálculo del presupuesto, el cual consta de 3 partidas con un monto total general de $354,82. Por último, se elaboró un manual de uso, con el fin de establecer un paso a paso durante la realización del ensayo, para que tanto los alumnos y docente encargado de la materia, realicen una correcta partica de laboratorio.

.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código ORCID / e-mail	
Prof. Jesús Álvarez	**ROL**	**CA** ( ) **AS** (X) **TU** ( ) **JU** ( )
	ORCID	C.I: 4.510.362
	e-mail	Sainca40@yahoo.com
	e-mail	
Prof. Gabriela Prado	**ROL**	**CA** ( ) **AS** ( ) **TU** ( ) **JU** (X)
	ORCID	CI: 18.594.213
	e-mail	gabrielaprado_2010@hotmail.com
	e-mail	
Prof. Jesús Salas	**ROL**	**CA** ( ) **AS** ( ) **TU** ( ) **JU** (X)
	ORCID	CI: 13.967.985
	e-mail	jeedsalu@gmail.com
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2024	07	16

Lenguaje: **SPA**

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
AECTTG_ DPCLJAHM 2024

Alcance:

Espacial: UNIVERSAL

Temporal: INTEMPORAL

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero Civil

Nivel Asociado con el Trabajo:

Pregrado

Área de Estudio:

Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Extensión Cantaura

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU Nº 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda "SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC Nº 696/2009".

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLAÑOS CURIEL
Secretario

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA * UNIVERSIDAD DE ORIENTE * SECRETARÍA CONSEJO UNIVERSITARIO

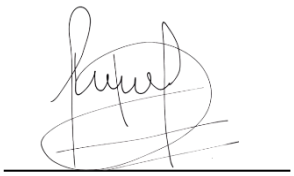
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Articulo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): "Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización".



Dhercy Caraballo

AUTOR

José Hidalgo

AUTOR

Prof. Jesús Álvarez

TUTOR