



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE  
INGENIERÍA CIVIL

TEMA: EVALUACIÓN TÉCNICA FINANCIERA DEL USO DE  
GEODREN PLANAR Y CIRCULAR VS DREN FRANCÉS EN LA  
IMPLEMENTACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE UNA VÍA. (CASO  
DE ESTUDIO VÍA NANEGAL – PALMITOPAMBA)

NOMBRE:  
BRYAN RODRIGO CORREA LANDETA

QUITO, 2020

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo dedico a mis padres Rodrigo Correa y Susana Landeta, por su interminable amor, por la confianza que pusieron en mí y el apoyo en todos los ámbitos que hicieron que llegara hasta este momento.

Dedico a mi hermano Ian, que con su carácter y fuerza día a día me inspiraba para seguir adelante en este proyecto y poder acabarlo satisfactoriamente.

Dedico a mis abuelos maternos Carlitos y Toíta, quienes en el transcurso de mi vida siempre estuvieron ahí apoyándome y estoy seguro de que ellos me siguen bendiciendo día tras día desde el cielo.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, en especial a la Facultad de Ingeniería, por haberme permitido hacer realidad uno de mis sueños, alcanzar el título de Ingeniero Civil.

Agradecer a cada uno de mis profesores, quienes con sus conocimientos lograron inculcarme todo lo que ahora conozco y me ayudara todos los días en el ámbito laboral.

Agradecer de una manera muy especial a mi director de tesis| Ing. Wilson Cando, quien desde un principio tuvo toda la disposición y me apoyo en cada etapa de la realización de este trabajo.

## Índice

<b>CAPITULO 1</b> .....	<b>8</b>
<b>1.- INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>8</b>
1.1. Antecedentes .....	9
1.2. Objetivos .....	10
1.3. Localización del proyecto .....	10
1.4. Metodologías de investigación.....	12
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>15</b>
<b>2.- MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
2.1. Introducción .....	15
2.2. Definición de drenaje.....	15
2.3. Tipos de drenajes .....	16
2.4. Características de drenajes: Geodrén y Dren Francés .....	18
2.5. Usos de drenaje.....	21
2.6. Tomas de muestra de suelo: muestras alteradas .....	21
2.7. Ensayos de laboratorio.....	21
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
<b>3.- ENSAYOS DE LABORATORIO</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1. Permeabilidad de los suelos</b> .....	<b>26</b>
3.1.1. Antecedentes.....	26
3.1.2. Factores que influyen en el coeficiente de permeabilidad de los suelos .....	29
3.1.2.1. Relación de vacíos .....	29
3.1.2.2. Tamaño de partículas .....	29
3.1.2.3. Temperatura del agua .....	30

3.1.2.4.	Estructura y estratificación .....	30
3.1.2.5.	Agujeros y fisuras .....	30
3.1.2.6.	Gas y materiales extraños en los vacíos .....	30
<b>3.2.</b>	<b>Determinación del coeficiente de permeabilidad .....</b>	<b>30</b>
3.2.1.	Muestras de suelo.....	31
3.2.1.1.	Pesos unitarios inicial y final.....	31
3.2.1.2.	Análisis granulométrico .....	32
3.2.1.3.	Porcentaje de humedad .....	35
3.2.1.4.	Límite líquido y límite plástico .....	36
<b>3.3.</b>	<b>Método directo permeámetro de carga variable .....</b>	<b>37</b>
3.3.1.	Procedimiento .....	38
<b>3.4.</b>	<b>Ensayos de laboratorio .....</b>	<b>40</b>
<b>3.5.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>42</b>
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>		<b>44</b>
<b>4.- EVALUACIÓN DEL TIPO DE DRENAJE .....</b>		<b>44</b>
<b>4.1.</b>	<b>Drenaje francés .....</b>	<b>47</b>
4.1.1.	Evaluación financiera del uso del dren francés .....	48
4.1.2.	Análisis de precios unitario.....	49
<b>4.2.</b>	<b>Geodren planar o circular .....</b>	<b>54</b>
4.2.1.	Evaluación financiera del uso del geodren planar .....	55
4.2.2.	Costo unitario.....	56
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>60</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>63</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de la Vía.....	11
Tabla 2 Normas AASHTO y ASTM .....	22
Tabla 3 Correspondiente entre los tamices ASTM y UNE .....	24
Tabla 4 Tipos de suelo y su nomenclatura.....	28
Tabla 5 Métodos para medir el coeficiente de permeabilidad .....	31
Tabla 6 <i>Juego de tamices – tamaños nominales de abertura</i> .....	33
Tabla 7 Conductividad hidráulica del material .....	39
Tabla 8 Hoja de registro datos de laboratorio y cálculo para determinar el tipo de suelo, contenido de humedad y otros .....	40
Tabla 9 Hoja de registro datos de laboratorio y cálculo del coeficiente de permeabilidad método permeámetro de carga variable .....	41
Tabla 10 Cuadro de resumen de las muestras procesadas en laboratorio de materiales, para determinar el tipo de suelo, contenido de humedad, limite plástico y liquido.....	42
Tabla 11 Cuadro de resumen de las muestras procesadas en laboratorio de materiales para determinar el coeficiente de permeabilidad – permeámetro carga variable .....	43
Tabla 12 Caudales unitarios de infiltración para el cálculo de tuberías drenantes.....	44
Tabla 13 Recomendaciones para espaciamiento de sub-drenes .....	45
Tabla 14 Evaluación financiera del uso de dren francés .....	48
Tabla 15 APU drenes con tuberías PVC 160 MM .....	49
Tabla 16 APU drenes con tuberías PVC 160 MM .....	50
Tabla 17 APU DRENES CON TUBERIAS PVC 160 MM .....	51
Tabla 18 APU COLOCACIÓN DEL AGREGADO GRUESO .....	52
Tabla 19 APU LIMPIEZA FINAL.....	53
Tabla 20 DATOS PARA EL CALCULO DEL GEODREN PLANAR .....	54
Tabla 21 EVALUCIÓN FINANCIERA DEL USO DE DREN FRANCES .....	55
Tabla 22 APU GEOTEXTIL + GEOMEMBRANA 1.00 m .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación vía Nanegal-Palmitopamba .....	10
Figura 2 Drenaje Longitudinal .....	17
Figura 3 Drenaje transversal .....	17
Figura 4 Drenaje Subterráneo .....	18
Figura 5 Detalle de geodrén planar .....	19
Figura 6 Detalle de geodrén vial .....	19
Figura 7 Detalle de dren tradicional sin tubo perforado .....	20
Figura 8 Detalle de dren tradicional con tubo perforado .....	20
Figura 9 Valores del coeficiente de permeabilidad en distintos suelos .....	27
Figura 10 Valores típicos del coeficiente de permeabilidad $k$ (cm/seg) .....	28
Figura 11 Distribución granulométrica .....	35
Figura 12 Estados del suelo. Límites de Plasticidad .....	36
Figura 13 Funcionamiento del permeámetro de carga variable .....	37
Figura 14 Sección transversal de la vía de proyecto .....	46
Figura 15 Subdren de zanja .....	46
Figura 16 Datos para el cálculo del dren francés .....	47

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Resultados de los ensayos de laboratorio .....	63
Anexo 2 Determinación del coeficiente de permeabilidad .....	68

# CAPITULO 1

## 1.- Introducción

La construcción de una vía implica más allá de un diseño con sus características particulares, existen componentes necesarios que deben ser desarrollados para que una infraestructura vial pueda ser funcional para los usuarios. En la construcción de la estructura de una vía, suele tener poca importancia, la ejecución de drenajes adecuados, lo cual trae como consecuencia destrozos de la estructura vial, al perderse material fino, produciendo los llamados baches. El diseño y construcción de adecuados drenajes ayudan a solventar el problema de sedimentación y desgaste de partículas que conforman la estructura del pavimento (Structuralia, 2018).

En Ecuador, resulta común observar vías afectadas por diversas causas, en especial por fenómenos naturales, justamente es ahí donde es indispensable, la funcionalidad del drenaje pues permite la recolección, el encauzamiento y disposición de las aguas pluviales, tanto superficiales, como subterráneas para garantizar la estabilidad e integridad de la carretera.

Con este antecedente, el presente documento pretende dar a conocer la funcionalidad de los sistemas de drenaje denominado “Geodren Planar y Geodren Circular”, al igual que el dren convencional o también conocido como Dren Francés para así poder conocer cuáles son sus características físico-mecánicas. Este proyecto propone la construcción de drenajes con este sistema; hoy en día es muy importante el contexto del medio ambiente, es por esa razón que con este método reduciremos la explotación de canteras para la obtención de material granular y por ende lograremos la reducción del costo de material granular utilizado anteriormente por el sistema de Dren Francés para el drenaje longitudinal de la vía.

## **1.1. Antecedentes**

Las obras viales suelen ser de gran importancia, puesto que aportan al desarrollo de las ciudades, y a la vez es preciso garantizar la calidad de estas, para que puedan brindar un buen servicio al usuario, es entonces, en donde los drenajes en las vías se presentan como elementos estructurales imprescindibles, que influyen directamente en la duración de la carretera, el objeto principal de un drenaje consiste en captar y eliminar las aguas que corren sobre el terreno natural o que de alguna u otra forma llegan al mismo.

Habitualmente, ha sido utilizado el dren francés conocido también como subdren, apareció en el año 1859 con Henry Francés, inicialmente era utilizado en drenajes de terrenos agrícolas. Este tipo de dren se caracteriza por estar ubicado en una zanja, en donde se coloca una tubería agujerada, para luego ésta ser rodeada con material granular que permita el paso del agua hacia la tubería. Este tipo de drenajes estaba recubierto por un geotextil que no permite la erosión del suelo en alrededor.

La utilidad del dren francés es reducir los problemas de erosión y prevenir movimientos superficiales del terreno. Sin embargo, tienen poco efecto en relación a la estabilidad de los deslizamientos profundos, debido a la baja capacidad hidráulica de este tipo de sistema de drenaje (Dávila Arregui & Torres Pérez, 2010).

Hoy en día, también se emplea otro tipo de drenajes, que realizan la misma función y aplicación de transportar el agua a un tubo, con la diferencia de utilización de nuevos materiales, entre ellos se encuentra el dren denominado Geodrén. El Geodrén permite además captar, conducir y evacuar el agua de una manera rápida y eficiente, mejorando la eficiencia hidráulica de los sistemas de drenaje (Dávila Arregui & Torres Pérez, 2010). Este tipo de drenajes se está usando con mayor frecuencia, por lo cual es necesario determinar sus ventajas y desventajas al ser comparado con el Dren Francés

## 1.2. Objetivos

### Objetivo general

Presentar una evaluación técnica financiera del uso de geodren planar y circular vs dren francés en la implementación de la construcción de una vía. (Caso de estudio vía Nanegal – Palmitopamba)

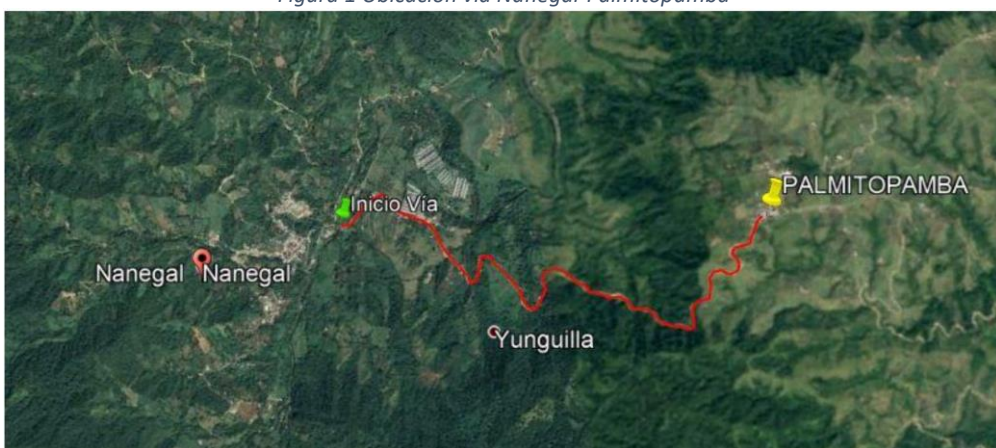
### Objetivos específicos

- Describir cual será el método constructivo y las características de cada uno de los sistemas.
- Determinar cuáles serán los costos de construcción de cada uno de los sistemas a ser estudiados.
- Interpretar los resultados para así poder seleccionar la mejor opción para esta carretera.

## 1.3. Localización del proyecto

El proyecto se localiza en la vía Nanegal – Palmitopamba, ubicada en la parroquia Nanegal, ubicada al noroccidente de la Provincia de Pichincha a 84 km del Distrito Metropolitano de Quito, delimita al Norte con la Provincia de Imbabura, al Sur con la Parroquia de Nono, al Este con las Parroquias San José de minas y Calacalí, al Oeste con las Parroquias de Gualea y Nanegal. La vía Nanegal-Palmitopamba, es una vía de segundo orden, conecta desde el centro poblado hacia los barrios periféricos de la parroquia.

*Figura 1 Ubicación vía Nanegal-Palmitopamba*



**Fuente:** Google Maps, 2020.

Tabla 1 Características de la Vía

<b>CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA</b>						
<b>Tramo (Km)</b>	<b>Ancho de vía (m)</b>	<b>Alcantarillado</b>	<b>Acera</b>	<b>Capa de rodadura (tipo)</b>	<b>Sentido de circulación</b>	<b>Bordillos</b>
6	7	Si	No	Lastrado	Doble sentido	No

**Fuente:** GAD Parroquial Nanegal, 2019

### **Caracterización de los suelos**

Nanegal está compuesto por suelos alofánicos que son aquellos provenientes de cenizas volcánicas, las cuales corresponden a materiales granulares con una considerable cantidad de vidrio volcánico, el cual tiene una estructura cristalina muy pobre, lo que lo hace inestable frente a procesos de meteorización (Paredes & Verdugo, 2004); este tipo de suelos están derivados de materiales piroclásticos o partículas sólidas de material volcánico, de textura pseudo limosas con gran capacidad de retención de agua, saturación de bases < 50%, generalmente son de color negro, profundos y suelos arenosos derivados, de materiales piroclásticos poco materializados, sin evidencia de limo, baja retención de humedad.

La parroquia posee suelos en un 60% de su territorio que por su capacidad de uso según el Sistema de Información Nacional del Agro (SINAGAP) establecido por el Instituto Ecuatoriano Espacial (IEE) y el Ministerio de Agricultura (MAGAP), están en la Clase BVP (Bosque Vegetación Protectora), que se caracterizan por ser aptos para protección y conservación; un 20% en la Clase II-IV que se caracteriza por agricultura, arables con ligeras limitantes. Y de la Clase V a la VIII un 20% del territorio, se caracterizan por poco riesgo de erosión con limitaciones fuertes a muy fuertes aptos para aprovechamiento forestal y áreas de protección (GAD Parroquial Nanegal, 2016).

### **Relieve**

Nanegal se encuentra en las estribaciones occidentales de la cordillera de los Andes del Ecuador, esta zona se caracteriza por tener un relieve escarpado a montañoso con valles paralelos profundos de montañas altas, sobre terrenos vulcano – sedimentarios, presenta una gradiente altitudinal de 2000 metros, la parte más alta es la cota de 2800 msnm

ubicada en la parte sur y la más baja en la ribera del río Guayllabamba al norte de la parroquia con una altura de 800 msnm., las pendientes oscilan entre 80% y 50% (GAD Parroquial Nanegal, 2016).

## **Geología**

Al encontrarse Nanegal sobre la Cordillera Occidental de los Andes Ecuatorianos, está sometida a los procesos geológicos que caracterizan a esta zona. Consta de un basamento oceánico con formaciones volcánicas, vulcano – sedimentarias y sedimentarias de edad Cretácico – Eoceno donde se han sobrepuesto las formaciones esencialmente volcánicas del arco Oligoceno – Actual. También, suelen ser características la formación de valles intermontañosos y, precisamente este sector se encuentra en uno de estos valles.

## **Factores Climáticos**

Por la ubicación geográfica se encuentran varias zonas bioclimáticas como son: Húmedo Sub-Tropical, Húmedo Templado, Muy Húmedo SubTemplado, Húmedo Sub-Tropical, Lluvioso Templado, Muy Húmedo Templado, Sub-Húmedo Templado.

En cuanto a las precipitaciones se presentan principalmente en la época de diciembre a mayo donde se caracteriza por ser un periodo bastante lluvioso y la época seca es de junio a noviembre con ciertas variaciones. Las temperaturas más altas justamente ocurren en los más secos, lo que suele generar alteraciones en la producción de productos agrícolas.

### **1.4. Metodologías de investigación**

Para el siguiente trabajo de investigación se procedió a realizar los siguientes procedimientos:

**Muestra alterada de campo:** este tipo de muestras se utilizan para ensayos sencillos, están constituidas por el material disgregado o fragmentado, que por lo general conserva su composición mineralógica y algo de humedad natural pero no conserva estructura y otras condiciones del terreno. En el procedimiento la muestra se envasa y transporta de forma adecuada para el ensayo en laboratorio. Para la investigación se realizó la toma de

una muestra representativa de suelo, a una profundidad de 1 metro, para posteriormente realizar la medición de permeabilidad en laboratorio.

**Permeabilidad en laboratorio:** la permeabilidad hace referencia a la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire es decir la variación de una u otra manera de la cantidad de agua a ser drenada, un suelo impermeable pierde poca agua por filtración. A partir del levantamiento de la muestra, se la transportó a un laboratorio de análisis para medir la permeabilidad.

**Comparación técnica financiera:** se efectuó una comparación técnica financiera entre los dos sistemas de drenaje planteados para el estudio: geo Dren Frances y Geodren Circular.

En el **análisis técnico** se intentó conocer las características y tipos de suelo en cada tramo de la vía, y determinar si las mismas influyen o no en la elección del tipo de Geodren a utilizar. Los ensayos de laboratorio permitieron conocer estas características mecánicas del suelo como: el coeficiente de permeabilidad, la distribución granulométrica, límites líquido y plástico, entre otras características de los suelos que se encuentran descritos en capítulo 3. Estos fueron realizados siguiendo las normas técnicas que aseguran la calidad del proceso. Para medir la permeabilidad de los suelos fue elegido el permeámetro de carga variable que evita errores de medición debido a características propias de los suelos como las arcillas que al tener baja permeabilidad el tiempo de ensayo usando otros métodos es mayor, esto puede dar cabida a la evaporación del agua y/o cambios en la temperatura de la misma lo que puede producir errores de cálculo.

Seguidamente en el análisis técnico de las características de los drenes se observa que se pueden utilizar independientemente de las características del suelo debido a que los drenes están diseñados para adaptarse a las condiciones del suelo y por ende mejorar y/o permiten el drenaje de las aguas infiltradas. Por lo tanto se deja la elección del tipo de Dren directamente al análisis económico.

En el **análisis económico** primero se procedió a calcular las cantidades de materiales a usarse en un tramo de la vía, este tramo es igual para los dos tipos de drenaje, de tal manera que se pueda comparar en cuál de los dos entra mayor o menor cantidad de materiales. Para la evaluación financiera se precisó conocer el costo final de cada dren

para ellos se necesitó tanto las cantidades, como el cálculo de los APUS (Análisis de precios unitarios) de cada material usado, esto permite observar cuál de los dos es el más económico y eficiente.

En el análisis de precios unitarios se toma cada rubro (denominación de un conjunto de actividades necesarias para llevar a cabo una actividad que de como resultado la realización o construcción de una parte de la obra civil), se analiza la cantidad de material, la mano de obra y la maquina necesaria para completar el rubro. Estas cantidades pueden ser consultadas en libros de obra existentes o en publicaciones hechas por entidades que hacen públicos estos datos.

**Alcance:** En el presente trabajo de grado se hace énfasis en la funcionalidad de los Geodren Circular y Dren Francés, como sistema de subdrenaje en la vía Nanegal-Palmitopamba, haciendo una aproximación a sus características físico-mecánicas, y al diseño del sistema de drenaje bajo un mismo escenario de manera que se pueda concluir a través de un análisis comparativo técnico financiero las diferencias del uno sobre el otro.

## **CAPÍTULO 2**

### **2.- MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Introducción**

Los efectos que tiene el agua sobre la construcción de estructuras de caminos pueden resultar perjudiciales, existen varios efectos desfavorables como por ejemplo la erosión interna de finos, sifonamiento, tubificación, arrastre y la expulsión de finos, que traen como consecuencias daños a las estructuras, limitando su vida útil o de plano destruyéndolas por completo.

La vida útil de una vía y su estado de mantenimiento como ya se lo ha mencionado en párrafos anteriores, depende en gran medida del drenaje, que se realizan con la finalidad de poder eliminar el exceso de agua del suelo, y así garantizar la estabilidad de las estructuras. El drenaje debe calcularse desde el proceso de diseño de una carretera y complementarse en las etapas de mantenimiento. Dependiendo de las características de la estructura a salvaguardar, se determina un abordaje en particular, pero en relación al drenaje del terreno, el sistema Dren Tradicional o Dren Francés suele ser el más aplicado. Frente a la aplicabilidad de este abordaje, se presenta también, el sistema de drenaje Geodrén (planar y circular), creado por la empresa Pavco.

A partir de la descripción de cada uno de los sistemas, su aplicabilidad en el caso de estudio, el cálculo de costos se presenta una evaluación técnica financiera del uso del sistema Geodrén planar y circular vs el sistema de drenaje Dren Tradicional o Dren Francés, focalizado en su aplicación en la construcción de una vía, tomando como caso de estudio la Vía Nanegal – Palmitopamba (Distrito Metropolitano de Quito).

#### **2.2. Definición de drenaje**

El término drenaje, de acuerdo al sector de la construcción se lo define como una “disposición de canales, cañerías, piedras, etc., que tienen la finalidad de eliminar agua de un terreno excesivamente húmedo o dar corriente a las aguas muertas”(Construpedia, s. f.). El diseño de obras de drenaje en caminos, vías y carreteras, tiene como objetivo eliminar el exceso de agua de manera superficial y subsuperficial, evitando así que la

humedad excesiva repercute de manera negativa en la calzada (o en los materiales que la componen).

La eficacia de un sistema o red de drenaje consiste en alterar lo menos posible la red de drenaje natural, así como drenar el agua superficial y subsuperficial de un camino y esparcirla de manera que se pueda impedir la acumulación excesiva de líquido en zonas inestables, así como la erosión ulterior o subsecuente aguas abajo (Pulecio, 2015, p. 7).

Para el desarrollo de la investigación se utilizara la definición del sistema de drenaje vial planteada por Guzmán (2012) que lo describe como un “dispositivo específicamente diseñado para la recepción, canalización y evacuación de las aguas que pueden afectar directamente a las características funcionales de cualquier elemento integrante de la carretera”( p. 12).

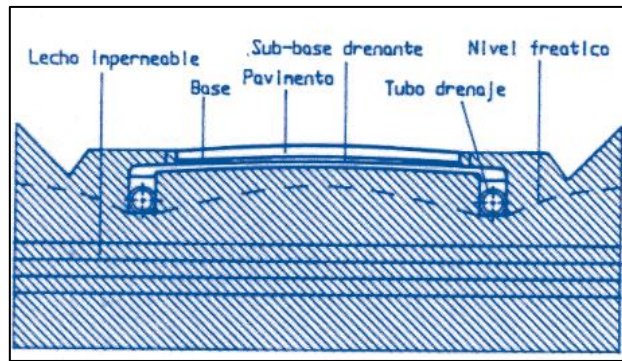
Para el diseño de las estructuras de un drenaje se requiere principalmente estimar la magnitud y frecuencia del escurrimiento producido por las tormentas, evaluar las características del drenaje superficial natural del terreno y del flujo de agua subterránea, además de considerar los posibles efectos de la carretera sobre los canales y cursos de agua existentes en lugar del proyecto.

### **2.3. Tipos de drenajes**

En el medio de la construcción se diseña y se implementa diversos tipos de drenajes que permitan solucionar problemas como el de la sedimentación o el desgaste de estructuras. De acuerdo a sus características se pueden identificar los siguientes tipos de drenaje, en función del tipo de aguas que pretenden evacuar o de la disposición geométrica con respecto al eje de la vía (Guzman Arias, 2012)

1. **Drenaje Superficial:** destinado a recolectar las aguas pluviales, su evacuación a los cauces naturales, sistemas de alcantarillado o a la capa freática del terreno, en esta categoría existen dos subgrupos:
  - a. **Drenaje longitudinal:** canaliza las aguas caídas sobre la plataforma y taludes de la explanación de forma paralela a la calzada. Para lo cual se emplean elementos como cunetas, colectores, sumideros y bajantes.

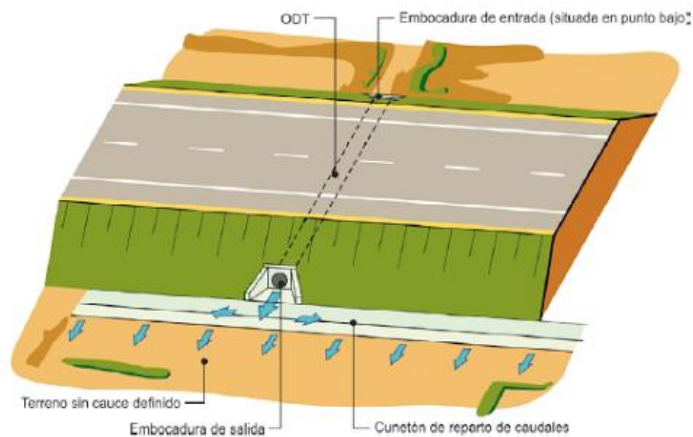
Figura 2 Drenaje Longitudinal



Fuente: Grupo Uralita, s. f.

- b. **Drenaje transversal:** permite el paso del agua a través de cauces naturales bloqueados por la infraestructura vial, de forma que no se produzcan destrozos en la misma. Se utiliza mecanismos como puentes, pontones o viaductos.

Figura 3 Drenaje transversal

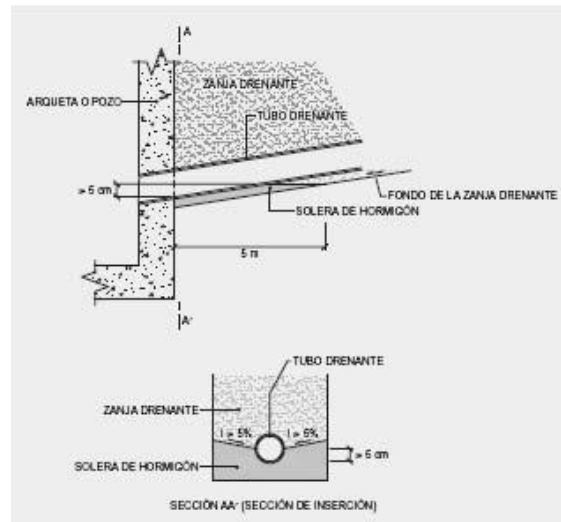


Fuente: Carreteros.org, s. f.

- 2. **Drenaje profundo:** su función es impedir el acceso del agua a capas superiores de la carretera, por lo que debe controlar el nivel freático del terreno y los posibles acuíferos y corrientes subterráneas existentes. Para lo cual se emplean diversos tipos de drenes subterráneos o tuberías.
  - a. **Drenaje subterráneo:** Red de tuberías situada en el subsuelo que sirve para conducir las aguas del mismo hasta un punto de evacuación, para evitar que el exceso de humedad en el terreno debilite la capacidad portante del edificio. El objeto de este drenaje es disminuir las presiones

de poros e impedir que aumenten. Generalmente la cantidad de agua recolectada por un sistema de drenaje depende de la permeabilidad de los suelos o rocas y de los gradientes hidráulicos.

Figura 4 Drenaje Subterráneo



Fuente: *Tipos drenajes subterráneos* - Wikivia, s. f.

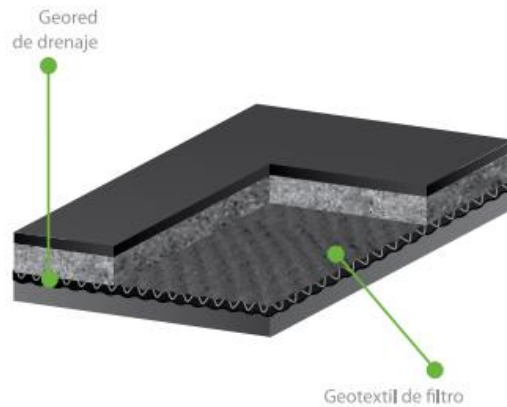
#### 2.4. Características de drenajes: Geodrén y Dren Francés

En la planificación de construcción de una vía impera el diseño y la ejecución de un drenaje adecuado a las características del terreno (drenaje del terreno), ya que con la elección del adecuado no solo se conserva la estructura del pavimento, sino también se evita de producir algún impacto negativo en el medio ambiente como en su ciclo hidrológico. Para la fundamentación teórica de la investigación se revisan las particularidades tanto del Geodrén Planar y circular, y del Subdren o Dren Francés.

- **Geodrén Planar y circular (vial)**

El geodren (planar y circular o vial) es una estructura hidráulica proviene de la empresa Pavco, y también es promocionada como Drenamax con tubería Syntex Goesynthetics. El geodrén planar es un sistema conformado por geotextiles no tejidos punzonados por agujas y geored de polietileno de alta densidad (HDPE). En este sistema el geotextil cumple la función de filtración, reteniendo las partículas del suelo y permitiendo el paso de los fluidos, y el geored es el medio drenante encargado de transportar el agua que pasa a través del filtro. Este sistema es el más adecuado para captar y conducir los fluidos en su plano hacia un sistema de evacuación (Geosistemas PAVCO, s. f.).

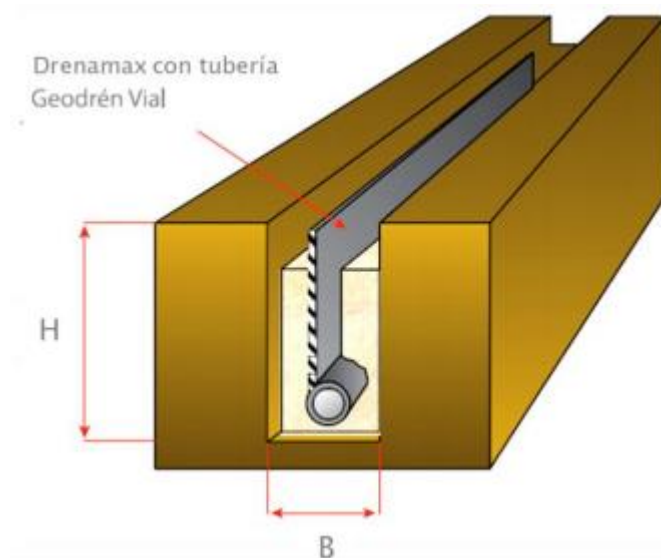
Figura 5 Detalle de geodrén planar



Fuente: Geosistemas PAVCO, s. f.

El Geodrén Vial es un sistema integral de captación, conducción y evacuación de fluidos que está compuesto por un geotextil no tejido, una red drenante y tubería de PVC corrugada de drenaje. Por sus características es una alternativa al sistema de drenaje tradicional o filtro francés, donde la red drenante y la tubería cumplen la función de drenaje, mientras el Geotextil actúa como elemento de filtración. Este sistema es resistente a la corrosión y no sufre ningún tipo de degradación por efecto de los agentes bioquímico-presentes en el ambiente. El geodrén vial se puede instalar en contacto directo con una de las paredes de la excavación, dependiendo de la dirección del flujo (Geosistemas PAVCO, s. f.).

Figura 6 Detalle de geodrén vial

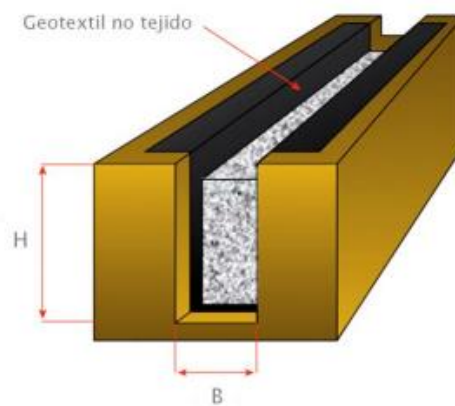


Fuente: Geosistemas PAVCO, s. f.

- **Subdren o Dren Francés**

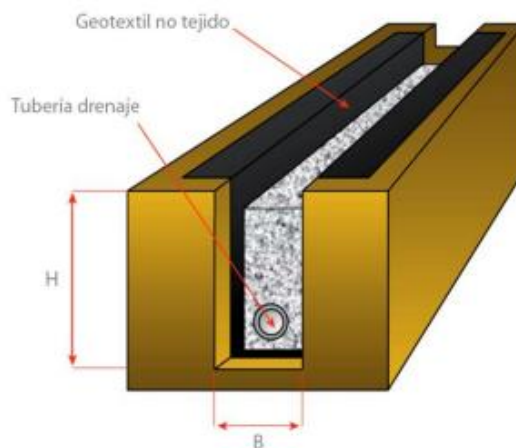
El drenaje tipo dren francés, es un subdrenaje constituido por zanjas excavadas a mano o con retroexcavadora, rellenas de material filtrante y elementos de captación y transporte de agua. Este tipo de drenaje es utilizado en carreteras (laterales a la carretera), donde la única pendiente disponible en las vías es el bombeo y los peraltes, es decir, que no existe obras menores como cunetas. El dren tradicional está conformado por una grava seleccionada envuelta en geotextil, con o sin la inclusión de un tubo perforado.

*Figura 7 Detalle de dren tradicional sin tubo perforado*



Fuente: Pulecio Díaz, 2015

*Figura 8 Detalle de dren tradicional con tubo perforado*



Fuente: Pulecio Díaz, 2015

## **2.5. Usos de drenaje**

- **Geodrén Planar y circular**

**Geodrén planar:** Muros de sótanos; rellenos sanitarios; muros en suelo reforzado; campos deportivos; minería.

**Geodrén circular (vial):** Sistema de Subdrenaje en estructura de pavimento; drenaje en campos deportivos; drenaje de sótanos y cimentaciones; drenaje túneles; muros de contención y cimentaciones.

- **Subdren o Dren Francés**

El dren francés se usa en los siguientes casos: colocado longitudinalmente al pie de los taludes de corte para interceptar filtraciones y flujos subsuperficiales que llegan a la carretera; longitudinalmente en un terraplén ubicado en la zona donde discurre el agua subterránea; formando parte de un sistema de drenes transversales y longitudinales o dispuestos como una “espina de pescado” es decir una serie de drenes paralelos que conducen a un dren central y de esta forma, con el sistema de drenaje, lograr un mayor cubrimiento del área, a fin de evacuar los flujos subsuperficiales presente en la zona de emplazamiento.

## **2.6. Tomas de muestra de suelo: muestras alteradas**

Para la realización del proyecto se tomará muestras a través de pruebas alteradas, por lo cual es propicio describir en que consiste esta técnica y cuál es su utilidad. Se define como una muestra cuya estructura interna ha sido alterada por manipulación durante el proceso de muestreo y transporte al laboratorio. Es una porción del suelo extraído con fines de estudio en el laboratorio, por lo cual no requiere su conservación en estado natural. Estas muestras suelen perder la estructura que poseía in-situ, y no representan de forma real las propiedades ingenieriles de resistencia y permeabilidad del suelo (Zuloaga, s. f.).

## **2.7. Ensayos de laboratorio**

Debido a que en el estudio se estima la realización de ensayos de laboratorio se procede a conceptualizar y detallar teóricamente la misma, para un mejor entendimiento y análisis.

La evaluación de las muestras está sujeta a normas AASHTO<sup>1</sup> y ASTM<sup>2</sup> del año 1990 – 1991 que se usan en el Laboratorio de Suelos.

Tabla 2 Normas AASHTO y ASTM

CAPA ESTRUCTURAL	ENSAYO	DESCRIPCIÓN	NORMATIVA	
			ASTM	AASHTO
SUBRASANTE	CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	Determinación del contenido de humedad en el suelo	D 2216	265
	GRANULOMETRIA POR TAMIZADO	Clasificación del material por el tamaño de sus partículas	D 422, D 423, D 424	T 88
	LÍMITES DE ATTERBERG	Determinación de sus consistencias para su clasificación	D 4318	T 89
	PROCTOR MODIFICADO	Densidad en función del contenido de humedad.	D 1557	T 99, MÉTODO C
	CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)	Resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas	D 1883	T 193

Fuente: AASHTO y ASTM.org

- **Contenido de humedad**

Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a  $110 \pm 5$  °C. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua.

**Instrumentos:** Horno de secado, balanza, utensilios para manipulación de recipiente, otros (cuchillos, espátulas, etc.).

**Cálculos:** Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula.

<sup>1</sup> American Association of States Highway and Transportation Officials.

<sup>2</sup> American Society for Testin And Materials.

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_1} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

W = es el contenido de humedad, (%)

$W_w$  = Peso del agua

$W_s$  = Peso seco del material

$W_1$  = es el peso de tara más el suelo húmedo, en gramos

$W_2$  = es el peso de tara más el suelo secado en horno, en gramos:

$W_t$  = es el peso de tara, en gramos

- **Granulometría**

Medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia correspondiente a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas.

**Instrumentos:** muestra de árido fino, tapa y fondos herméticos, tamizadora, bandejas y cepillos, balanza, dispositivos de lavado, y estufa.

**Cálculos:** Una vez obtenido los pesos retenidos en cada uno de los tamices, se procede a calcular el porcentaje retenido por cada uno, mediante la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Retenido Parcial} = \frac{M_{\text{Tamiz}}}{M_{\text{Total}}} \times 100$$

% Retenido Parcial = Porcentaje retenido en cada tamiz

$M_{\text{tamiz}}$  = Peso retenido en cada tamiz

$M_{\text{total}}$  = Peso total de la muestra

Para hallar el porcentaje acumulado de cada tamiz, se aplica la siguiente fórmula

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \% \text{ Retenido parcial}_{\text{Tamiz anterior}} + \% \text{ Retenido parcial}_{\text{Tamiz actual}}$$

- **Límites de Atterberg**

Se miden los límites de los contenidos de humedad que caracterizan los cuatro estados de consistencia de un suelo de grano fino: estado sólido, estado semisólido, estado plástico y estado semilíquido o viscoso. El límite entre los estados sólido y semisólido se denomina límite de retracción, el límite entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico y el límite entre los estados plástico y semilíquido, límite líquido.

**Determinación del límite líquido:** Se determina mediante la utilización de la cuchara de Casagrande; se mide la humedad de un suelo con un surco que se cierra una distancia de 13 mm tras dejar caer la cuchara de Casagrande 25 veces desde una altura de 1 cm. El ensayo se realiza aproximadamente con 100 g de muestra que previamente han pasado por el tamiz nº40 de la serie ASTM o 0,40 UNE y se mezcla con agua destilada. El límite líquido se suele representar con las letras LL.

*Tabla 3 Correspondiente entre los tamices ASTM y UNE*

Designación y abertura en mm UNE	Designación del tamiz A.S.T.M	Abertura en mm A.S.T.M
125	5	127
100	4	101,6
80	3	76.2
63	2,5	63.5
50	2	50.8
40	1.5	38.1
32	1.25	31.7
25	1	25.4
20	3/4	19.1
16	5/8	15.9
12.5	1/2	12.7
10	3/8	9.52
8	5/16	7.93
6.3	1/4	6.35
5	Nº 4	4.75
4	Nº 5	4.00
3.2	Nº 6	3.36
2.5	Nº 8	2.38
2	Nº 10	2.00
1.6	Nº 12	1.68
1.25	Nº 16	1.19
1	Nº 18	1.00
0.8	Nº 20	0.84
0.63	Nº 30	0.59
0.5	Nº 35	0.50
0.4	Nº 40	0.42
0.32	Nº 50	0.297

0.25	N° 60	0.250
0.20	N° 70	0.210
0.16	N° 80	0.177
0.125	N° 120	0.125
0.100	N° 140	0.105
0.080	N° 200	0.074
0.063	N° 230	0.062
0.050	N° 270	0.053
0.040	N° 325	0.044

**Determinación del límite plástico:** Se determina mediante la formación de pequeños cilindros en la palma de la mano sobre una superficie lisa de 3 mm de diámetro y de 25 – 30 mm de longitud. Al igual que en el ensayo del límite líquido, la muestra debe haber pasado por el tamiz n°40 ASTM o 0,4 UNE. Se representar con las siglas LP.

**Determinación del límite de retracción:** Este límite se hace presente cuando la pérdida de humedad de un suelo no lleva consigo aparejada la pérdida de volumen. Se calcula mediante el secado en estufa a 105-110°C de una muestra de suelo. Se representa con las siglas Lc.

**Determinación del índice de plasticidad:** Con la información del límite de líquido y el límite plástico, se procede a calcular el índice de plasticidad, que resulta ser la diferencia entre ambos. Se representa con las siglas IP.

$$\text{Índice de plasticidad} = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico}$$

## CAPÍTULO 3

### 3.- ENSAYOS DE LABORATORIO

#### 3.1. Permeabilidad de los suelos

##### 3.1.1. Antecedentes

En la naturaleza existen diferentes tipos de suelos, compuestos por partículas sólidas, líquidas y gases en diferentes proporciones. El líquido es usualmente agua y el gas vapor de agua. El líquido y/o vapor de agua pasa a través del suelo en mayor o menor proporción a esta característica del suelo se la llama permeabilidad, una condición que caracteriza a la permeabilidad es la porosidad del suelo, siendo esta última causa por los medios porosos del suelo. (Angelone, Garibay, & Cauhapé, 2006)

Los medios porosos son los vacíos que existe entre partículas de solidas del suelo, se dice que un suelo es más o menos poroso, dependiendo de la cantidad de espacios vacíos que exista entre sus partículas, y en consecuencia permitiendo el paso y/o almacenamiento de un mayor o menor número de partículas de agua y/o vapor de agua.

Los diferentes materiales que existen en la naturaleza tienen diferentes tamaños de partículas, entre más pequeñas son las partículas del material, existe un menor espacio entre las mismas, esta característica de porosidad baja está directamente relacionada con la permeabilidad del suelo, por lo tanto, se define como la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1973b).

Conocer la permeabilidad del suelo, es de gran importancia a la hora de determinar la capacidad de retención de aguas en una presa, en un estanque o cualquier otro embalse de tierra, cuando la permeabilidad o capacidad de filtración de agua es alta, será necesario un cambio de suelo, compactación o implementación de un material adicional (membranas) al suelo para impedir la filtración y desperdicio del fluido a retener. Para el caso de drenajes conocer el coeficiente de permeabilidad, permitirá saber la capacidad del suelo para filtrar agua. Por lo tanto, es beneficioso un suelo que permita que el agua

fluya sin problemas de encharcamiento. La permeabilidad del suelo está relacionada con las características y la porosidad del material. Un material es considerado permeable, si la cantidad de agua que deja pasar es considerable en un tiempo determinado, y al contrario si es despreciable se considera un material impermeable. (Schlumberger Limited, 2020).

Figura 9 Valores del coeficiente de permeabilidad en distintos suelos

Relacionadas con la forma de drenaje y el tipo de suelo. K en cm/seg

	100	10	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>
<b>Drenaje</b>	<b>Bueno</b>						<b>Pobre</b>			<b>Prácticamente impermeable</b>		
<b>Tipo de suelo</b>	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada			Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición. <sup>d</sup>			Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición	
<b>Determinación directa de k</b>	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.											
	Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.											
<b>Determinación indirecta de k</b>	Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.					
	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Sólo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.						Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia					

Fuente: Angelone, Garibay, & Cauhapé, 2006

La cantidad de agua que se filtra a través de cierto volumen de suelo puede ser representado por un coeficiente de permeabilidad, que es la relación lineal existente entre la velocidad del flujo de agua respecto de la gradiente de carga hidráulica (altura total de agua) denominada La ley de Darcy, la cual es aplicable a suelos de partículas no muy gruesas, quedando excluidas las gravas limpias cantos rodados etc : (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1973a)

En términos generales el grado de permeabilidad de un suelo basado en la ley de Darcy indica:

$$k = \frac{V}{i}$$

K=coeficiente de permeabilidad

V= velocidad de filtración de un fluido a través del suelo

i = gradiente hidráulico del flujo (relación entre la diferencia de niveles H y distancia (L) que el agua recorre.

Figura 10 Valores típicos del coeficiente de permeabilidad k (cm/seg)

	<i>k</i>		<i>k</i>
Grava	$10^{-1} - 10^{-2}$	Arena limosa	$10^{-5} - 10^{-7}$
Arena gruesa	$10^{-3}$	Arcilla limosa	$10^{-6} - 10^{-9}$
Arena mediana	$10^{-3} - 10^{-4}$	Arcilla	$< 10^{-9}$
Arena fina	$10^{-4} - 10^{-5}$		

Fuente: (Alvarez Manilla et al., 2002)

Tabla 4 Tipos de suelo y su nomenclatura

<b>TIPOS DE SUELOS</b>			
<b>TIPO DE SUELO</b>	<b>PREFIJO</b>	<b>SUBGRUPO</b>	<b>SUFIJO</b>
GRAVA	G	Bien graduado	W
ARENA	S	Pobrementemente graduado	P
LIMO	M	Limoso	M
ARCILLA	C	Arcilloso	C
ORGANICO	O	Límite líquido (>50)	L
TURBA	Pt	Límite líquido (<50)	H
<b>SIMBOLO</b>	<b>CARACTERISTICAS GENERALES</b>		
GW	GRAVAS (>50% en Tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduado
GP			Pobrementemente graduado
GM		Con Finos (Finos>12%)	Componente Limoso
GC			Componente Arcilloso

SW	ARENAS (<50% en Tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduado
SP			Pobremente graduado
SM		Con Finos (Finos>12%)	Componente Limoso
SC			Componente Arcilloso
ML	LIMOS	Baja Plasticidad (LL<50)	
MH		Alta Plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja Plasticidad (LL<50)	
CH		Alta Plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS ORGANICOS	Baja Plasticidad (LL<50)	
OH		Alta Plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos Altamente Orgánicos	

*Elaborado por: Bryan Correa*

*Fuente: (Alvarez Manilla et al., 2002)*

\* Límite Líquido (LL)

\* Índice de Plasticidad (IP)

### 3.1.2. Factores que influyen en el coeficiente de permeabilidad de los suelos

En el coeficiente de permeabilidad del suelo influyen varios factores, principalmente de los siguientes:

#### 3.1.2.1. RELACIÓN DE VACÍOS

La relación de vacíos de un material depende de si es un elemento sólido invariable o si es un elemento como las distintas clases de suelo con partículas sólidas que pueden estar más o menos comprimidas dando como resultado diferentes volúmenes de vacíos, a menor volumen de vacío existe una disminución de la permeabilidad.

#### 3.1.2.2. TAMAÑO DE PARTÍCULAS

La velocidad de filtración a través del suelo es proporcional al cuadrado de la dimensión promedio del poro, que a su vez está relacionado con el tamaño de los granos, así en la siguiente ecuación se relaciona:

$$V_{prom} = \frac{p * D^2}{32 * n}$$

$V_{prom}$  = es la velocidad promedio a través de un tubo capilar en cm/seg

$p$  = densidad del agua en gr/cm<sup>3</sup>

$D$  = diámetro del tubo, en cm.

$n$  = velocidad del fluido, en gr. Seg/cm<sup>2</sup>.

La presencia de partículas angulares y laminares tienden a reducir el coeficiente mucho más que las partículas redondas. (Robalino, 2014)

### **3.1.2.3. TEMPERATURA DEL AGUA**

La relación que existe entre la temperatura y la viscosidad de un líquido es proporcional. El valor del coeficiente de permeabilidad depende de la temperatura a la que fueron realizados los ensayos, la temperatura de referencia es 20°C. (Angelone et al., 2006).

### **3.1.2.4. ESTRUCTURA Y ESTRATIFICACIÓN**

El coeficiente de permeabilidad varía en el mismo suelo inalterado vs el suelo que ha sido removido y en consecuencia ha cambiado su estructura y estratificación. Los coeficientes también pueden variar horizontal y verticalmente, más aún si presentan diferentes estratificaciones.

### **3.1.2.5. AGUJEROS Y FISURAS**

Los agujeros y fisuras presentes en el suelo, por hundimiento o por un continuo proceso de humedad y secado, etc, hacen que el suelo presente una diferente permeabilidad en el suelo.

### **3.1.2.6. GAS Y MATERIALES EXTRAÑOS EN LOS VACÍOS**

El suelo adquiere con facilidad gas encerrado, se debe estar seguro que la muestra tomada no posea ningún material extraño que pueda afectar el resultado de los ensayos. Cuando el grado de saturación aumenta el coeficiente de permeabilidad también aumenta.

## **3.2. Determinación del coeficiente de permeabilidad**

Existe una clasificación general de suelos en granulares y arcillosos, siendo los primeros clasificados como permeables e impermeables los últimos conforme reúnen características que le dan un menor porcentaje de vacíos.

Existen métodos directos e indirectos cuyo objetivo es medir el coeficiente de permeabilidad K, el mismo que sirve para tomar decisiones en los proyectos civiles. En laboratorios la medida del coeficiente de permeabilidad se realiza por medio de métodos directos, utilizando diferentes tipos de permeámetros dependiendo del tipo de suelo a analizar, estos pueden ser de nivel o carga constante utilizado para suelos granulares y de nivel o carga variable para suelos finos (Terzaghi K, 1980).

*Tabla 5 Métodos para medir el coeficiente de permeabilidad*

<b>METODOS PARA MEDIR EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD</b>	
<b>DIRECTOS</b>	PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE
	PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE
	PRUEBA DIRECTA DE SUELOS EN EL LUGAR
<b>INDIRECTOS</b>	CÁLCULO A PARTIR DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA
	CÁLCULO A PARTIR DE LA PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN
	CÁLCULO CON LA PRUEBA HORIZONTAL DE CONSOLIDACIÓN

*Elaborado por: Bryan Correa*

### **3.2.1. Muestras de suelo**

Previo a iniciar con las pruebas de laboratorio para conocer el coeficiente de permeabilidad se debe preparar la muestra, como parte esencial para determinar el tipo de suelo de la muestra, se procede a calcular:

1. Pesos unitarios inicial y final.
2. Análisis Granulométrico.
3. Porcentaje de humedad.
4. Límite líquido
5. Límite Plástico

#### **3.2.1.1. PESOS UNITARIOS INICIAL Y FINAL**

Es la masa del volumen de las partículas de suelo, el valor del peso inicial y final del suelo varía por la cantidad de agua presente en la muestra, así como de la compactación y

consolidación presente en la muestra (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1973a) (Díaz Botía, 2015).

1. Peso unitario saturado se define; peso de la masa de suelo más todos sus vacíos ocupados por agua.
2. Peso unitario húmedo se define; peso de la masa de suelo más todos sus vacíos ocupados por agua y aire.
3. Peso unitario seco se define; peso de la masa de suelo por unidad de volumen donde los vacíos no contengan agua

### **3.2.1.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

A lo largo del tiempo se ha correlacionado la granulometría de material con la permeabilidad del mismo. La granulometría es un proceso por el cual se determina cuantitativamente los porcentajes de variación de los distintos tamaños de partículas de la muestra de suelo

Los métodos estandarizados por la ASTM en suelos granulares utilizadas son las siguientes (Bowles, 1981) :

<b>Clave</b>	<b>Nombre de la prueba</b>
AASHTO T88 - ASTM D422	Análisis granulométrico de Suelos por tamizado.

El análisis granulométrico es la separación de las partículas de suelo mediante el uso de los distintos tamices. Cada tamiz retiene un porcentaje de suelo diferente, este porcentaje retenido contiene rangos de tamaño de partículas.

### **EQUIPO Y MATERIALES**

#### **BALANZA**

Para muestras menores a 1000 gramos deben tener precisión de 0.1g y para muestras mayores es de 1g.

## TAMICES

A continuación, en la tabla 3.02 se muestra el tamaño nominal de las aberturas de los diferentes tamices que componen todo el juego, desde el más grande hasta el tamiz N 20, el cual clasifica los suelos en finos y gruesos, esta malla permite la separación de partículas mayores a 0.075 mm. Cuando no se tenga tamices con aberturas nominales en milímetros se puede usar tamices con aberturas en pulgadas correspondientes a la ASTM. (Hughes, 2008)

Tabla 6 Juego de tamices – tamaños nominales de abertura

Tamaños nominales de abertura	
(mm)	ASTM
75	(3")
63	(2 ½")
50	(2")
37.5	(1 ½")
25	(1")
19	(¾")
9.5	(⅜")
4.75	(N° 4)
2	(N° 10)
0.425	(N° 40)
0.075	(N° 200)

*Elaborado por: Bryan Correa*

*Fuente: Normas AASHTO T88 - ASTM D422*

## MARCOS

Son metálicos circulares rígidos con diámetro de 200 y 300 mm este último utilizado especialmente para suelos gruesos. En estos marcos se ajustan las mallas de alambre que son las que propiamente permiten la retención de partículas de suelo mayores al tamaño nominal de sus aberturas y el paso de las partículas de suelo de tamaño menor.

## DEPÓSITO RECEPTOR

Cada juego de tamices tendrá un depósito en el que se recepte el residuo del material más fino.

## **TAPA**

Cada juego de tamices tendrá una tapa para evitar la pérdida del material al momento del tamizado.

## **MORTERO**

Junto con su triturador de caucho este sirve para separar las partículas aglomeradas.

## **HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS**

Entre ellos están; recipientes para pesar, para secar, espátulas, brochas, etc.

## **PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

Homogenizar la muestra de suelo, y prepararla por medio de cuarteo de acuerdo a las normas AASHTO T87 para muestras secas de suelos alterados ó AASHTO T146 para muestras húmedas de suelos perturbados. Después se debe secar la muestra de suelo constante a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , excepto si se observa materia orgánica se seca a  $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . El peso mínimo aproximado de la muestra a utilizarse varía de acuerdo al tamaño máximo de las partículas de suelo.

## **TAMIZADO- PROCEDIMIENTO**

Se realiza un primer análisis usando los diferentes tamices hasta llegar al N°4. Puede ser de manera mecánica durante 10 minutos o manual con movimientos circulares manteniendo la muestra en movimiento.

Se determina y registra el peso de suelo retenido en cada tamiz, para que el procedimiento sea considerado válido el peso perdido en el proceso no debe ser mayor al 1% de la muestra. Para la sedimentación de suelo fino la arena con limo y arcilla que se pueda desintegrar con facilidad se lo hará en seco, de lo contrario el ensayo se hará por vía húmeda.

Para el análisis sobre el tamiz N°200, se deja la muestra en remojo para que los terrones se ablanden, luego se lava sobre el tamiz.

## TAMIZADO- PROCEDIMIENTO

Se debe calcular:

Pesos retenidos en cada Tamiz

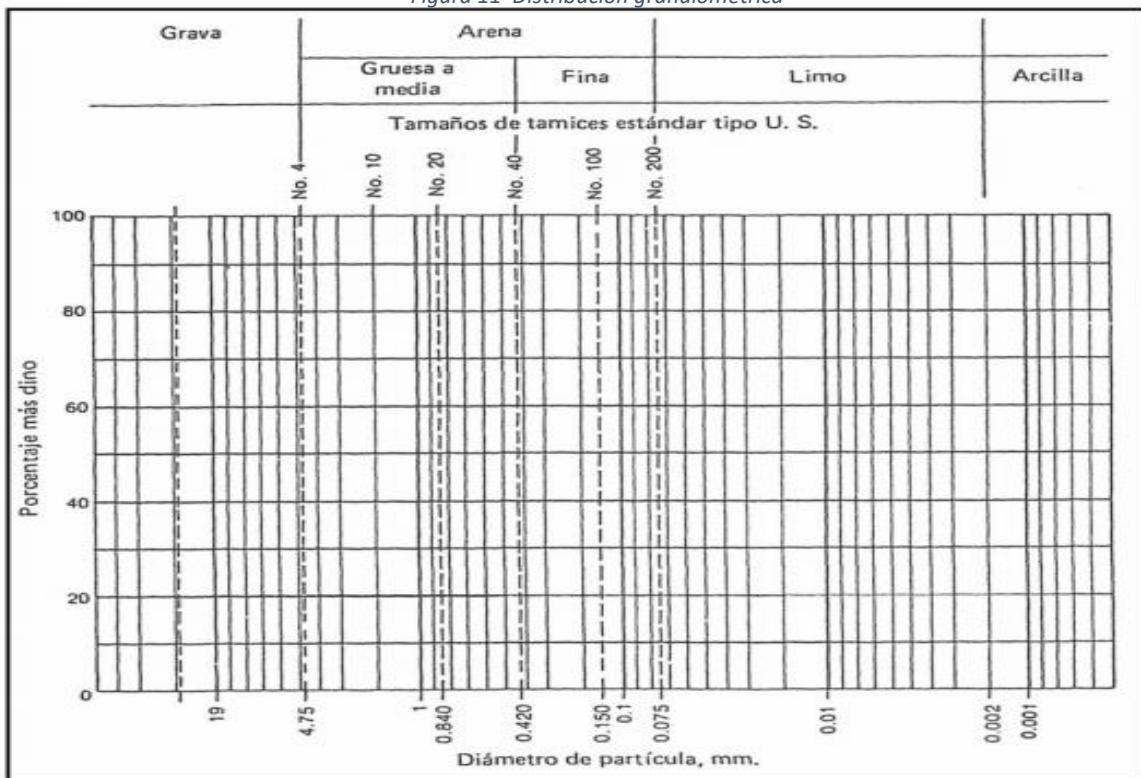
Pesos Acumulados (con menos del 1% de pérdida)

Porcentajes de pesos retenidos.

Porcentaje que pasa en cada tamiz (100% menos el % retenido acumulado)

Los resultados de la granulometría se expresan en una gráfica donde en el orden de las abscisas a escala logarítmica están el tamaño nominal de las aberturas de los tamices y en el lado de las ordenadas están a escala lineal el porcentaje que pasa en cada tamiz (Libre & Pereira, 2017).

Figura 11 Distribución granulométrica



Fuente: Libre & Pereira, 2017

### 3.2.1.3. PORCENTAJE DE HUMEDAD

Clave

Nombre de la prueba

AASHTO 265 - ASTM D2216

determinación en el laboratorio del contenido de Agua (humedad), suelo, roca y mezclas de suelo agregado.

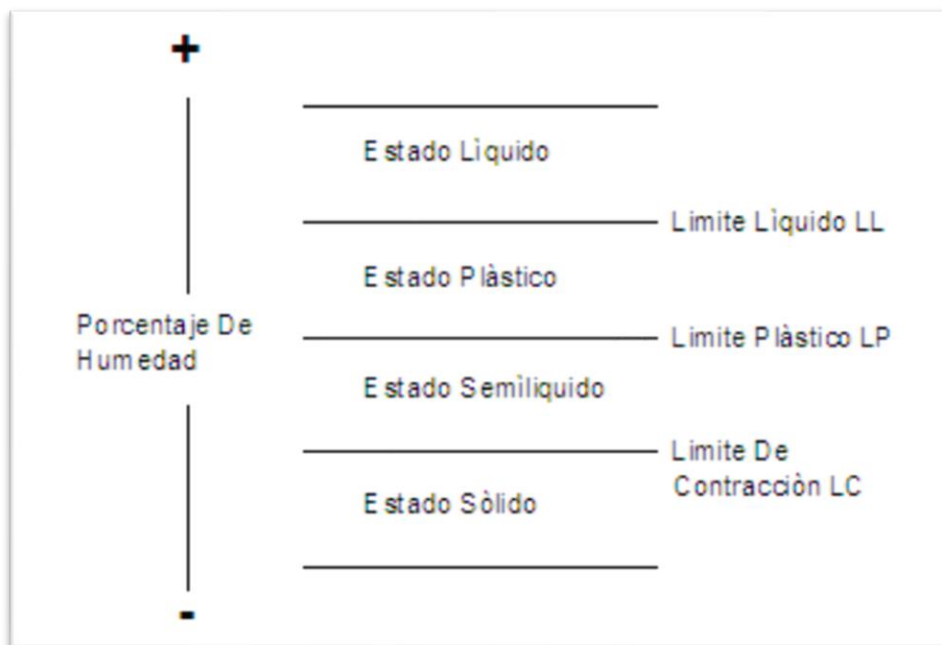
### 3.2.1.4. LÍMITE LÍQUIDO Y LIMITE PLÁSTICO

Algunos tipos de suelo al ser remodelados con diferentes porcentajes de agua, adoptan una característica denominada Plasticidad, usualmente las arcillas son el tipo de suelo que contiene esta característica, se ha comprobado que estos suelos contienen partículas finas de forma laminar que influyen en la compresibilidad del suelo y debido a su pequeño tamaño y vacíos entre partículas hacen que la permeabilidad del suelo sea baja, de ahí su importancia (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1973a).

El límite líquido es el límite en el cual el porcentaje de humedad de la muestra de suelo le permite tener un comportamiento plástico, un porcentaje mayor a este hace que el comportamiento de la muestra sea el de un fluido viscoso.

El límite plástico es el límite donde la muestra de suelo puede remodelarse y deformarse sin agrietarse.

Figura 12 Estados del suelo. Límites de Plasticidad

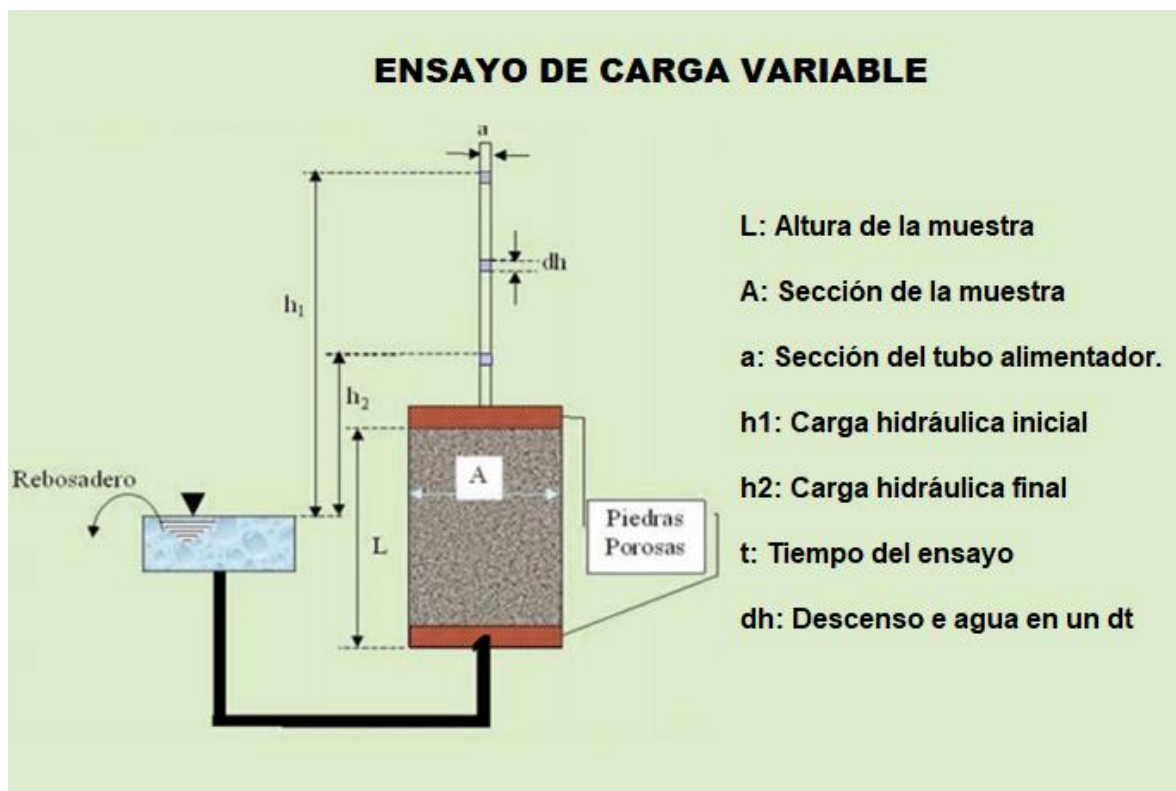


Fuente: (Díaz Botía, 2015)

### 3.3. Método directo permeámetro de carga variable

Este método es utilizado principalmente para suelos finos arcillosos o limo arcillosos. En este ensayo está considerado el tiempo en realizarse ya que la cantidad de flujo que atraviesa la muestra es pequeña para permitir mediciones precisas como en el permeámetro de carga constante. Sin embargo, el permeámetro de carga variable ver figura 3.03 también puede ser usado para suelos gruesos, los principios son los mismos, lo que los diferencian son las fórmulas empleadas, en el permeámetro de carga variable se mide la cantidad de agua que filtra la muestra de suelo, se utiliza un volumen determinado de líquido, diferenciando por las alturas del tubo alimentador (Alvarez Manilla et al., 2002).

Figura 13 Funcionamiento del permeámetro de carga variable



Fuente: (Alvarez Manilla et al., 2002)

Estos permeámetros de carga variable suelen usarse en suelos como arenas, limos y/o sus mezclas, la permeabilidad de arcillas se determina con la prueba de consolidación. La razón de esto es evitar errores en la medición ya que la baja permeabilidad de las arcillas necesitaría tiempos de ensayos demasiado largos dando lugar a evaporación y/o cambios de temperatura en las muestras, los mismos que pueden acarrear errores en los cálculos.

Los métodos estandarizados por la ASTM para pruebas de permeabilidad en suelos utilizadas son las siguientes:

<b>Clave</b>	<b>Libro</b>	<b>Nombre de la prueba</b>
D2434	04.08	Tasa de Infiltración de suelos granulares mediante la prueba de carga constante
D5084	04.09	Conductividad Hidráulica de Materiales porosos saturados utilizando la prueba del permeámetro de pared flexible.
AASHTO T125		Determinación del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares carga constante

El equipo necesario:

- Aparato de permeabilidad con válvulas para saturar la muestra.
- Bureta graduada con soporte.
- Cilindro graduado
- Recipiente graduado
- Termómetro
- Cronómetro
- Herramientas y accesorios

### **3.3.1. Procedimiento**

- Preparación de equipo
- Preparación de la muestra: depende de la muestra estas pueden ser alteradas e inalteradas.
- Presión de confinamiento y saturación de la muestra. La norma ASTM D 5084-90 recomienda el uso de la tabla 3.02 para valores de gradientes hidráulicas máximas según la conductividad hidráulica del material
- Medición de la Conductividad Hidráulica

Tabla 7 Conductividad hidráulica del material

CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (cm/s)	GRADIENTE HIDRUALICA MAXIMA RECOMENDADA
$1 \times 10^{-3}$ a $1 \times 10^{-4}$	2
$1 \times 10^{-4}$ a $1 \times 10^{-5}$	5
$1 \times 10^{-5}$ a $1 \times 10^{-6}$	10
$1 \times 10^{-6}$ a $1 \times 10^{-7}$	20

Elaborado por: Bryan Correa. Fuente: (Yelo Díaz, 2019)

Después de que los equipos hayan sido preparados y las muestras hayan sido analizadas, se empieza el ensayo con el permeámetro de carga variable. La muestra de suelo se ingresa en la bureta y se la protege por una piedra porosa en la parte superior e inferior es importante que esté completamente saturada de agua sin aire (agua destilada), para lo cual se procede a colocar el agua en la parte superior de la bureta, que es la encargada de la carga hidráulica el objetivo del ensayo es medir el tiempo y la cantidad de agua que ha filtrado en el proceso. En el proceso se utilizan 3 diámetros diferentes del tubo de carga.

El agua del tubo desciende en un tiempo  $t$  desde un nivel inicial denominado  $h_1$  hasta un nivel final  $h_2$ , se registra el tiempo transcurrido desde que se abren las válvulas de entrada y salida de agua hasta que se vuelva a cerrar las válvulas marcando  $h_2$

De tal forma para el cálculo de la permeabilidad se tiene la fórmula: (Robalino, 2014).  
Esta fórmula es utilizada para calcular el coeficiente de permeabilidad en laboratorio.

$$K = \frac{aL}{At} \times \ln \frac{h_1}{h_2}$$

- K= Coeficiente de permeabilidad (cm/seg.)
- a= Sección transversal del tubo de carga (cm<sup>2</sup>)
- L= Longitud de la muestra (cm.)
- A= Sección de la muestra (cm<sup>2</sup>)
- t= tiempo del ensayo (seg.)
- h<sub>1</sub>= Altura del agua al comienzo del ensayo (cm.)
- h<sub>2</sub>= Altura del agua finalizado el ensayo (cm.)



Tabla 9 Hoja de registro datos de laboratorio y cálculo del coeficiente de permeabilidad método permeámetro de carga variable



**LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS**

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**AASHTO-T 125, ASTM-D 2434, ASTM-D 5084**

**Proyecto:** TESIS **Director tesis:** ING. WILSON CANDO  
**Descripción del Suelo:** CH **Ensayado:** BRYAN CORREA L.  
**Fecha de muestreo:** 27/8/2020 **Colaborado:** Laboratorios LDMS  
**Fecha de ensayo:** 29/8/2020 **Absisa:** 0+000

Clasific. Suelo.	L.L.	I.P.
CH	64,3	47,64

DATOS DE INICIO	
DIAMETRO DE LA MUESTRA EN LA CELDA DEL EQUIPO (cm)	7,62
LONGITUD DE LA MUESTRA (cm)	15,15
ÁREA DE LA CELDA QUE CONTIENE A LA MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	45,60
VOLUMEN NETO QUE CONTENDRA SUELO EN LA CELDA (cm <sup>3</sup> )	690,90

**PRUEBA PARA CALCULAR EL ÁREA DE LA BURETA**

MEDICIONES	1	2	3
LECTURA INICIAL (cm)	90,90	99,40	97,50
LECTURA FINAL (cm)	34,56	42,21	37,65
PESO DE LA TARA (gr)	47,75	47,75	47,75
PESO DE LA TARA + AGUA (gr)	55,23	50,11	58,76
PESO DEL AGUA (gr)	7,48	2,36	11,01
DENSIDAD DEL AGUA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00
VOLUMEN DEL AGUA (cm <sup>3</sup> )	7,48	2,36	11,01
DIFERENCIA DE ALTURA (cm)	56,34	57,19	59,85
ÁREA DE LA BURETA (cm <sup>2</sup> )	0,132762	0,041262	0,183957
ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	0,119326940		

Calculo del Área de la bureta

$$A = \frac{V_{\text{agua}}}{lec_1 - lec_2}$$

PRUEBA PARA REALIZAR EL CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD			
MEDICIÓN	1°	2°	3°
LECTURA INICIAL (cm.)	96,0	96,0	96,0
LECTURA FINAL (cm.)	88,7	83,1	78,3
DIFERENCIA DE TIEMPO (min.)	15,0	30,0	45,0
DIFERENCIA DE TIEMPO (s.)	900,0	1800,0	2700,0
ALTURA DEL PISO HASTA LA MARCA 0 GRADUADA	17,1	17,1	17,1
ALTURA DEL PISO HASTA EL NIVEL DEL AGUA	10,4	10,4	10,4
DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE EL ESPEJO DE AGUA Y LA MARCA DE 0	6,7	6,7	6,7
h <sub>1</sub>	102,7	102,7	102,7
h <sub>2</sub>	90,7	93,5	91,8
ln(h <sub>1</sub> /h <sub>2</sub> )	0,12480618	0,094385583	0,11263564
PERMEABILIDAD (k)	5,50E-06	2,08E-06	1,65E-06
PERMEABILIDAD PROMEDIO (k)	3,08E-06		

Observacion: con el resultado obtenido nos indica que corresponde a 0,00000383 o lo que es lo mismo 3,08\*10<sup>-6</sup> o simplemente por reducción de decimales es (10<sup>-6</sup>)

*Elaborado por: Bryan Correa.*

### 3.5. Resultados

En tabla se presenta un resumen de resultados del procesamiento de las 11 muestras para determinar el tipo de suelo, contenido de humedad, límites plásticos, líquidos y observaciones

Tabla 10 Cuadro de resumen de las muestras procesadas en laboratorio de materiales, para determinar el tipo de suelo, contenido de humedad, limite plástico y liquido

ESAYO GRANULOMÉTRICO AASHTO T88 -ASTM D 422 - INEN 696; ENSAYO DE HUMEDAD AASHTO 265 - ASTM D2216 - INEN 690 ENSAYO LIMITES DE ATTERBERG ASHTO T89 Y T90 - ASTM D 4318 - INEN 691 Y 692							
Fecha de muestreo: 27/8/2020 Fecha de ensayo: 28/8/2020					CLASIFICACIÓN DE SUELO		
NOMBRE	W	WL	WP	IP	SUCS =	AASHTO =	OBSERVACIONES:
muestra 1	23.70%	64.30%	16.66%	47.64%	CH	A-7-5	Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad y alta plasticidad, arcillas francas
muestra 2	24.51%	0.00%	0.00%	NP	SP	A-3	Arenas pobremente graduadas, arenas con grava, poco o ningún fino. Predomina un tamaño o una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios
muestra 3	24.23%	65.70%	27.47%	38.23%	CH	A-7-5	Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad y alta plasticidad, arcillas francas
muestra 4	40.75%	72.40%	29.30%	43.10%	CH	A-7-5	Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad y alta plasticidad, arcillas francas
muestra 5	24.31%	18.80%	14.76%	4.04 %	ML - CL	A-4 a A-6	Caso de frontera ya que se encuentra sobre los límites de los dos signos. Limos inorgánicos de baja compresibilidad. Arcillas inorgánicas de baja a media
muestra 6	30.93%	0.00%	0.00%	NP	SP	A-3	Arenas pobremente graduadas, arenas con grava, poco o ningún fino. Predomina un tamaño o una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios
muestra 7	20.22%	0.00%	0.00%	NP	SP	A-3	Arenas pobremente graduadas, arenas con grava, poco o ningún fino. Predomina un tamaño o una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios
muestra 8	24.13%	0.00%	0.00%	NP	SP	A-3	Arenas pobremente graduadas, arenas con grava, poco o ningún fino. Predomina un tamaño o una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios
muestra 9	34.49%	37.60%	17.49%	20.11%	CL	A-6	Arcillas inorgánicas de baja a media compresibilidad arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas

muestra 10	29.18%	38.90%	15.52%	23.38%	CL	A-6	Arcillas inorgánicas de baja a media compresibilidad arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas
muestra 11	38.28%	36.70%	18.55%	18.15%	CL	A-6	Arcillas inorgánicas de baja a media compresibilidad arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas

*Elaborado por: Bryan Correa*

En tabla 11 se presenta un cuadro de resumen de resultados, obtenidos a partir del procesamiento de datos y cálculos para las 11 muestras siguiendo las normas de los ensayos para calcular el coeficiente de permeabilidad mediante el método de carga variable

*Tabla 11 Cuadro de resumen de las muestras procesadas en laboratorio de materiales para determinar el coeficiente de permeabilidad – permeámetro carga variable*

<b>DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD</b>							
<b>AASHTO-T 125, ASTM-D 2434, ASTM-D 5084</b>							
<b>CUADRO DE RESUMEN DE 11 MUESTRAS</b>							
Fecha de muestreo:		27/8/2020					
<b>Fecha de ensayo:</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>Clasific. Suelo.</b>	<b>L.L.</b>	<b>I.P.</b>	<b>VOLUMEN NETO QUE CONTENDRÁ SUELO EN LA CELDA (cm3)</b>	<b>ÁREA PROMEDIO (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>PERMEABILIDAD PROMEDIO (k)</b>
29/8/2020	muestra 1	CH	64.3	47.64	690.90	0.1193	3.08E-06
29/8/2020	muestra 2	SP	NP	NP	690.90	18.0460	1.09E-02
29/8/2020	muestra 3	CH	65.7	38.23	690.90	0.1474	6.59E-07
29/8/2020	muestra 4	CH	72.4	43.1	690.90	0.1444	6.45E-07
29/8/2020	muestra 5	MLCL	18.8	4.04	690.90	0.4433	8.66E-05
29/8/2020	muestra 6	SP	NP	NP	690.90	18.9421	1.25E-02
29/8/2020	muestra 7	SP	NP	NP	690.90	2.4366	1.33E-03
29/8/2020	muestra 8	SP	NP	NP	690.90	6.4060	3.17E-03
29/8/2020	muestra 9	CL	37.6	20.11	690.90	0.1726	4.15E-05
29/8/2020	muestra 10	CL	38.9	23.38	690.90	0.3019	6.68E-05
29/8/2020	muestra 11	CL	36.7	18.15	690.90	0.2958	6.61E-05

*Elaborado por: Bryan Correa*

## CAPÍTULO 4

### 4.- EVALUACIÓN DEL TIPO DE DRENAJE

El propósito de un dren subterráneo es disminuir la presión de poros e impedir que el agua subterránea cause inestabilidad en las estructuras adyacentes. La profundidad de los drenes depende del tipo de dren a utilizar. Las partículas de suelo finas pueden llegar transportarse con el agua a tapan el drenaje por lo que dependiendo del tipo de suelo se debe utilizar diversos tipos de filtro que impidan el paso del suelo pero que a su vez permitan la filtración rápida del agua (Valdez Romero & Vasquez Peña, 2012).

De acuerdo al tipo de suelo (tamaño de las partículas), se debe elegir el tipo de geotextil a usarse. En el mercado existen de diferentes tipos de geotextil, esto se debe tanto al tamaño de la abertura de su tejido como la composición del material de fabricación. La elección deberá hacerse siguiendo especificaciones técnicas del material acorde al tipo de suelo en el tramo de vía a drenar (Valdez Romero & Vasquez Peña, 2012).

El diámetro de la tubería de drenaje y el material de fabricación se determina de acuerdo al caudal a drenar y a la capacidad del tubo de soportar las cargas del suelo y la carga vehicular, así como el movimiento debido al tráfico vehicular, el material idóneo suele ser los sintéticos, como el polipropileno, polietileno, PVC, tanto por su flexibilidad y adaptación al suelo como por su fácil transporte (Alimentación y Medio Ambiente, 2010).

El cálculo del caudal de agua que va a drenar y por tanto el diámetro de tubería de drenaje varía dependiendo del nivel freático, si la tubería se encuentra por encima de este, se considera solamente factores que influyan en la infiltración de agua provenientes de las bermas, y se considera según el coeficiente de permeabilidad (Dirección General, 2003).

*Tabla 12 Caudales unitarios de infiltración para el cálculo de tuberías drenantes*

CAUDALES UNITARIOS DE INFILTRACIÓN PARA EL CÁLCULO DE TUBERÍAS DRENANTES			
ESTADO DE IMPERMEABILIDAD SUPERFICIAL	ALTO	MEDIO	BAJO
Caudal unitario $q$ ( $l/m^2\cdot s$ )	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-2}$

*Elaborado por: Bryan Correa*

*Fuente: Dirección General, 2003*

El espaciamiento de los drenes (Longitud entre pozos de registro consecutivos en los que se produce el desagüe de la tubería drenante hacia la superficie) es calculado bajo las siguientes consideraciones tanto para régimen de flujo permanente

$$E^2 = \frac{4kh}{I} (h + 2d) - 8(h + d)^2 \frac{h}{3h + d}$$

Donde:

K= conductividad hidráulica (cm/h)

H= altura de la zanja

I= intensidad media diaria de la lluvia de diseño que define la recarga (mm/día)

E= espaciamiento de los drenes

d= distancia entre el estrato impermeable y el fondo de las zanjas de los drenes

Tabla 13 Recomendaciones para espaciamiento de sub-drenes

Tipo Suelo	Composición del Suelo		
	% Arena	% Limo	% Arcilla
Arena	80-100	0-20	0-20
Greda arenosa	50-80	0-50	0-20
Greda	30-50	30-50	0-20
Greda arcillosa	20-50	20-50	20-30
Arcilla arenosa	50-70	0-20	30-50
Arcilla limosa	0-20	50-70	30-50
Arcilla	0-50	0-50	30-100

Fuente: California Highway Manual (1997).

Cuando la pendiente del terreno es menor o igual a 1% la longitud del tubo será inferior a la calculada y como longitud máxima será entre 150 y 200 m, la elección de estos diferentes parámetros estará basada en la conservación y limpieza del sistema y del proyecto (Alimentación y Ambiente, 2003).

Para la tubería drenante bajo el nivel freático el proyecto deberá efectuar un cálculo específico para tratarla como red de flujo. Para caracterizar el terreno se utilizarán parámetros determinados en situ.

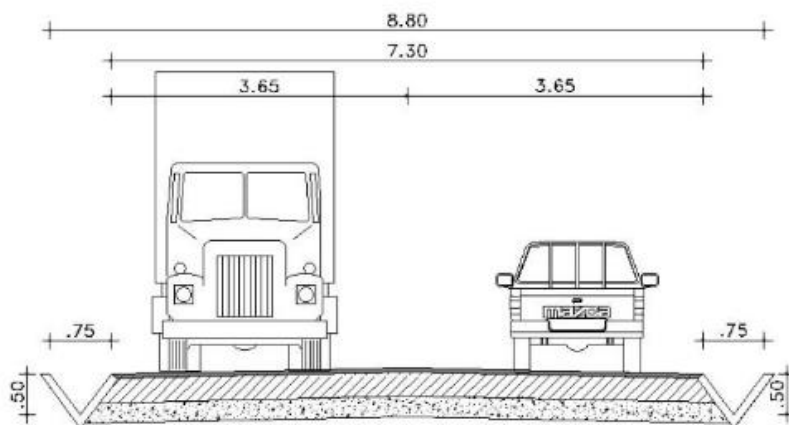
La determinación del caudal implica un complejo análisis hidrológico que es imposible de realizar sin la información detallada, por lo tanto, generalmente se estima por medio

de procedimientos indirectos y por recomendaciones de las normas existentes, estas aseguran el funcionamiento adecuado del sistema, la mayoría de las veces estos diámetros son sobreestimados desde el punto de vista hidráulico (Comunicaciones, 2011).

Para realizar la comparación de los dos métodos de drenaje se tomará las siguientes consideraciones, se rellenará la zanja con el mismo material que debe cumplir con la granulometría adecuada para su fin, la tubería será la misma en los dos diseños tanto en material como de diámetro y del tamaño de perforaciones en determinada superficie del tubo, para la recolección y transporte de agua de agua

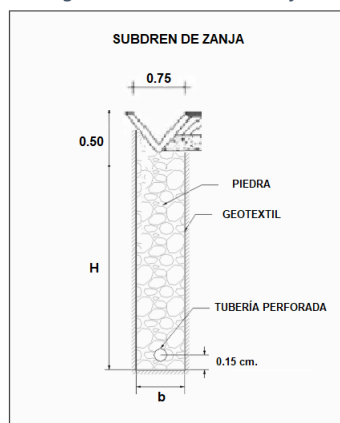
Es por esto que, para la elección de dos tipos de drenaje basados en el análisis de precio unitario, se debe determinar los criterios de diseño. Para el cálculo, se dispone de las siguientes condiciones y la comparación de los costos que implicarían elegir uno u otro tipo de dren.

Figura 14 Sección transversal de la vía de proyecto



Fuente: GAD Provincia de Pichincha, 2012

Figura 15 Subdren de zanja



Fuente: Valdez, 2012

#### 4.1. Drenaje francés

Compuesto por tubería, material grueso que sirve como filtro, y geotextil que impide el paso de partículas de suelo.

Figura 16 Datos para el cálculo del dren francés

<b>DRENAJE TIPO FRANCES PARA 40 METROS</b>		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
LONGITUD	m	40
ancho de la zanja	m	0.6
profundidad de la zanja	m	0.6
INCLINACIÓN 1%	%	1
GEOTEXTIL LONG. QUE SOBREPASA	m	0.35
Diámetro de la tubería	m	0.16
Perímetro de geo dren	m	2.5
Distancia de transporte desde la Mina Rio Blanco	km	60
<b>CALCULOS</b>		
Área lateral calculada con la inclinación del 1%	m <sup>2</sup>	32.00
Volumen de excavación	m <sup>3</sup>	19.2
Volumen de relleno posterior	m <sup>3</sup>	15.2
Geotextil área necesaria para cubrir los 40 m	m <sup>2</sup>	100
Colocación agregado grueso	m <sup>3</sup>	15.2
Tubería de Drenaje	m	40
Área de limpieza	m <sup>2</sup>	24

Elaborado por: Bryan Correa

#### 4.1.1. Evaluación financiera del uso del dren francés

Tabla 14 Evaluación financiera del uso de dren francés

EVALUACIÓN TÉCNICA FINANCIERA DEL USO DE GEODREN PLANAR Y CIRCULAR VS DREN FRANCÉS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE UNA VÍA. (CASO DE ESTUDIO VÍA NANEGAL – PALMITOPAMBA)								
DRENAJE: DREN TIPO FRANCES								
FUENTE: RUBROS CAMARA DE LA CONSTRUCCION AGOSTO 2020								
RUBROS COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE PICHINCHA NOV 2019 ACTUALIZADO CON LOS INDICES DEL CONSUMIDOR AL 2020								
ELABORADO POR: BRYAN CORREA								
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)2020- DRENAJE TIPO FRANCES								
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO				PRECIO TOTAL
				MATERIAL	MANO OBRA	EQUIPO	C. DIRECTO	
1.-	<b>MOVIMIENTOS DE TIERRAS</b>							<b>248.09</b>
1.1	EXCAVACIÓN DE ZANJAS	m3	40.56	0.00	2.73	3.39	6.12	248.09
2.-	<b>ESTRUCTURA</b>							<b>1531.87</b>
2.1	GEOMEMBRANA DE POLIETILENO 2.00m.	m2	100.00	3.20	2.97	0.15	6.32	631.64
2.2	DRENES CON TUBERIAS PVC 160mm	m	40.00	12.10	1.41	0.07	13.58	543.11
2.3	COLOCACIÓN DEL AGREGADO GRUESO	m3	19.20	11.16	2.61	4.83	18.60	357.12
3.-	<b>OBRAS EXTERIORES</b>							<b>44.00</b>
3.1	LIMPIEZA FINAL	m2	24.00	0.00	1.75	0.09	1.83	44.00
<b>PORCENTAJES DE GASTO POR PROCESO CONSTRUCTIVO</b>								
ITEM	RUBROS PRINCIPALES DE LA CONSTRUCCIÓN		COSTO PARCIAL		PORCENTAJE PARCIAL			
2.-	MOVIMIENTOS DE TIERRAS		248.09		13.60 %			
3.-	ESTRUCTURA		1531.87		83.99 %			
4.-	OBRAS EXTERIORES		44.00		2.41 %			
	<b>TOTAL</b>		<b>1823.95</b>		<b>100.00 %</b>			
<b>VALOR DE LA CONSTRUCCIÓN POR ML</b>								
	<b>DATOS DE LA CONSTRUCCIÓN</b>							
1	LONGITUD DEL DRENAJE							40.00
2	COSTO DIRECTO TOTAL							1823.95
3	COSTO DIRECTO / M							<b>45.60</b>

Elaborado por: Bryan Correa

#### 4.1.2. Análisis de precios unitario

Tabla 15 APU drenes con tuberías PVC 160 MM

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
EVALUACIÓN DEL TIPO DE DRENAJE: DRENAJE TIPO FRANCES					
RUBRO:		DTF001		FECHA	NOV 2020
DESCRIPCIÓN:					UNIDAD
EXCAVACIÓN DE ZANJAS					M
<b>1. MATERIALES</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
Total, materiales					0.00
<b>2. MANO DE OBRA</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15837	Peón (ESTRUC. OCUP. E2)	Hora	0.25	3.6	0.90
15839	Operador de equipo liviano (ESTRUC. OCUP. D2)	Hora	0.25	3.5	0.88
15871	Operadores Equipo Pesado (ESTRUC. OCUP. C1 G1)	Hora	0.25	3.82	0.96
Total, mano de obra					2.73
<b>3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
18228	Compresor	Hora	0.25	1.8	0.45
18268	Retroexcavadora 75 HP	Hora	0.13	25	3.25
Herramientas				5.00%	0.14
Total equipo, maquinaria y herramientas					3.3865
<b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>					
<b>5. UTILIDAD</b>					
<b>6. IMPUESTOS</b>					
Total Precio Unitario de Excavación de zanjas a máquina en suelo altamente consolidado h=0.00-2.75m					6.12
<b>Especificaciones técnicas:</b>					
RENDIMIENTO: 0.25 Horas/m3					

Elaborado por: Bryan Correa

Tabla 16 APU drenes con tuberías PVC 160 MM

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>EVALUACIÓN DEL TIPO DE DRENAJE: DRENAJE TIPO FRANCES</b>					
<b>RUBRO:</b>	DTF002		FECHA	<b>NOV 2020</b>	
<b>DESCRIPCIÓN:</b>				<b>UNIDAD</b>	
GEOMEMBRANA DE POLIETILENO 2.00				<b>M2</b>	
<b>1. MATERIALES</b>					
	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Costo total</b>
18958	Geomembrana polietileno 2.00mm	m	1	3.2	3.20
<b>Total materiales</b>				<b>3.20</b>	
<b>2. MANO DE OBRA</b>					
	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Costo total</b>
15837	Peón (ESTRUC. OCUP. E2)	Hora	0.4	3.6	1.44
15868	Maestro de obra (ESTRUC. OCUP. C1)	Hora	0.4	3.82	1.53
<b>Total mano de obra</b>				<b>2.97</b>	
<b>3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>					
	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Costo total</b>
			Herramientas	5.00%	0.15
<b>Total equipo, maquinaria y herramientas</b>				<b>0.1484</b>	
<b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>					
<b>5. UTILIDAD</b>					
<b>6. IMPUESTOS</b>					
<b>Total Precio Unitario de geomembrana de polietileno 2.00</b>				<b>6.32</b>	
<b>Especificaciones técnicas:</b>					
RENDIMIENTO: 0.40 Horas/m2					

Elaborado por: Bryan Correa

Tabla 17 APU DRENES CON TUBERIAS PVC 160 MM

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>EVALUACIÓN DEL TIPO DE DRENAJE: DRENAJE TIPO FRANCES</b>					
<b>RUBRO:</b>		DTF003		FECHA	<b>NOV 2020</b>
<b>DESCRIPCIÓN:</b>					<b>UNIDAD</b>
DRENES CON TUBERIAS PVC 160mm					<b>M</b>
<b>1. MATERIALES</b>					
<b>Descripción</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Costo total</b>
16842	Tubo PVC 160 mm x 3 m desagüe PLASTIGAMA	u	0.35	32.6	11.41
17865	Soldadura P/TUB PVC Polilimpia PLASTIGAMA	3.785cc	0.01	25.29	0.25
17866	Soldadura P/TUB PVC Polipega 3.785cc PLASTIGAMA	3.785cc	0.01	43.43	0.43
<b>Total materiales</b>					<b>12.10</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>					
<b>Descripción</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Costo total</b>
15837	Peón (ESTRUC. OCUP. E2)	Hora	0.2	3.6	0.72
15838	Albañil (ESTRUC. OCUP. D2)	Hora	0.2	3.45	0.69
<b>Total mano de obra</b>					<b>1.41</b>
<b>3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>					
<b>Descripción</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Costo total</b>
Herramientas				5.00%	0.07
<b>Total, equipo, maquinaria y herramientas</b>					<b>0.0705</b>
<b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>					
<b>5. UTILIDAD</b>					
<b>6. IMPUESTOS</b>					
<b>Total, Precio Unitario de Drenes con tuberías PVC de 160mm</b>					<b>13.58</b>
<b>Especificaciones técnicas:</b>					
RENDIMIENTO: 0.20 Horas/m					

Elaborado por: Bryan Correa

Tabla 18 APU COLOCACIÓN DEL AGREGADO GRUESO

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>EVALUACIÓN DEL TIPO DE DRENAJE: DRENAJE TIPO FRANCES</b>					
<b>RUBRO:</b>		DTF004		FECHA	<b>NOV 2020</b>
<b>DESCRIPCIÓN:</b>					<b>UNIDAD</b>
COLOCACIÓN DEL AGREGADO GRUESO					<b>M3</b>
<b>1. MATERIALES</b>					
<b>Descripción</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Costo total</b>
18347	Piedra	m3	0.85	10.63	9.04
18790	Canto rodado puesto en obra	m3	0.2	10.63	2.13
<b>Total materiales</b>					<b>11.16</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>					
<b>Descripción</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Costo total</b>
15837	Peón (ESTRUC. OCUP. E2)	Hora	0.5	3.6	1.80
15868	Maestro de obra (ESTRUC. OCUP. C1)	Hora	0.1	4.04	0.40
15871	Operadores Equipo Pesado (ESTRUC. OCUP. C1 G1)	Hora	0.1	4.04	0.40
<b>Total mano de obra</b>					<b>2.61</b>
<b>3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>					
<b>Descripción</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Costo total</b>
15877	Excavadora de oruga	Hora	0.1	47	4.70
Herramientas				5.00%	0.13
<b>Total equipo, maquinaria y herramientas</b>					<b>4.8304</b>
<b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>					
<b>5. UTILIDAD</b>					
<b>6. IMPUESTOS</b>					
<b>Total Precio Unitario de colocación del agregado grueso</b>					<b>18.60</b>
<b>Especificaciones técnicas:</b>					
RENDIMIENTO: 0.10 Horas/m3. Sin excavación ni geotextil					

Elaborado por: Bryan Correa

Tabla 19 APU LIMPIEZA FINAL

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>EVALUACIÓN DEL TIPO DE DRENAJE: DRENAJE TIPO FRANCES</b>					
<b>RUBRO:</b>		DTF005		<b>FECHA</b>	<b>NOV 2020</b>
<b>DESCRIPCIÓN:</b>					<b>UNIDAD</b>
LIMPIEZA FINAL					<b>M</b>
<b>1. MATERIALES</b>					
<b>Descripción</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Costo total</b>
<b>Total materiales</b>					<b>0.00</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>					
<b>Descripción</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Costo total</b>
15837	Peón (ESTRUC. OCUP. E2)	Hora	0.49	3.6	1.75
<b>Total mano de obra</b>					<b>1.75</b>
<b>3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>					
<b>Descripción</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Costo total</b>
Herramientas				5.00%	0.09
<b>Total equipo, maquinaria y herramientas</b>					<b>0.09</b>
<b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>					
<b>5. UTILIDAD</b>					
<b>6. IMPUESTOS</b>					
<b>Total Precio Unitario de Excavación de zanjas a máquina en suelo altamente consolidado h=0.00-2.75m</b>					<b>1.83</b>
<b>Especificaciones técnicas:</b>					
RENDIMIENTO: 0.25 Horas/m3					

Elaborado por: Bryan Correa

## 4.2. Geodren planar o circular

El geodren planar tiene un geotextil que actúa como filtro que impide que pasen partículas de suelo que puedan obstruir la tubería circular que forma parte del mismo dren, la tubería ha sido previamente perforada para captar y conducir el agua filtrada.

Tabla 20 DATOS PARA EL CALCULO DEL GEODREN PLANAR

<b>GEODREN PLANAR PARA 40 METROS</b>		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
LONGITUD	m	40
ancho de la zanja	m	0.3
profundidad de la zanja	m	0.6
INCLINACIÓN 1%	%	1
GEOTEXTIL LONG. QUE SOBREPASA	m	0.2
Diámetro de la tubería	m	0.16
Perímetro de geodren	m	0.8
Perímetro de geotextil	m	1.70
<b>CALCULOS</b>		
Área lateral calculada con la inclinación del 1%	m <sup>2</sup>	32.00
Volumen de excavación	m <sup>3</sup>	9.6
Volumen de relleno posterior	m <sup>3</sup>	3.84
Geodren	m <sup>2</sup>	32
Colocación agregado grueso	m <sup>3</sup>	9.6
Tubería de Drenaje	m	40
Área de limpieza	m <sup>2</sup>	12

Elaborado por: Bryan Correa

#### 4.2.1. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL USO DEL GEODREN PLANAR

Tabla 21 EVALUACIÓN FINANCIERA DEL USO DE DREN FRANCÉS

EVALUACIÓN TÉCNICA FINANCIERA DEL USO DE GEODREN PLANAR O CIRCULAR VS DREN FRANCÉS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE UNA VÍA. (CASO DE ESTUDIO VÍA NANEGAL – PALMITOPAMBA)								
DRENAJE: GEODREN PLANAR								
FUENTE: RUBROS CAMARA DE LA CONSTRUCCION AGOSTO 2020								
RUBROS COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE PICHINCHA NOV 2019 ACTUALIZADO CON LOS INDICES DEL CONSUMIDOR AL 2020								
ELABORADO POR: BRYAN CORREA								
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)2020- DRENAJE GEODREN PLANAR								
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO				PRECIO TOTAL
				MATERIAL	MANO OBRA	EQUIPO	C. DIRECTO	
1.-	<b>MOVIMIENTOS DE TIERRAS</b>							<b>58.72</b>
1.1	EXCAVACIÓN DE ZANJAS	m3	9.60	0.00	2.73	3.39	6.12	58.72
2.-	<b>ESTRUCTURA</b>							<b>721.67</b>
	<b>GEOTEXTIL</b>							
2.1	GEOTEXTIL + GEOMEMBRANA	m2	3.84	11.16	2.97	0.15	14.27	54.81
2.2	DRENES CON TUBERIAS PVC 160mm	M	40.00	12.10	1.41	0.07	13.58	543.11
2.3	COLOCACIÓN DEL AGREGADO GRUESO	m3	9.60	11.16	2.61	4.83	18.60	178.56
3.-	<b>OBRAS EXTERIORES</b>							<b>22.00</b>
3.1	LIMPIEZA FINAL	m2	12.00	0.00	1.75	0.09	1.83	22.00
<b>PORCENTAJES DE GASTO POR PROCESO CONSTRUCTIVO</b>								
ITEM	RUBROS PRINCIPALES DE LA CONSTRUCCIÓN			COSTO PARCIAL		PORCENTAJE PARCIAL		
2.-	MOVIMIENTOS DE TIERRAS			58.72		7.32 %		
3.-	ESTRUCTURA			721.67		89.94 %		
4.-	OBRAS EXTERIORES			22.00		2.74 %		
	<b>TOTAL</b>			<b>802.39</b>		<b>100.00 %</b>		
<b>VALOR DE LA CONSTRUCCIÓN POR ML</b>								
	<b>DATOS DE LA CONSTRUCCIÓN</b>							
1	LONGITUD DEL DRENAJE							40.00
2	COSTO DIRECTO TOTAL							802.39
3	COSTO DIRECTO / M							<b>20.06</b>

Elaborado por: Bryan Correa

## 4.2.2. Costo unitario

Tabla 22 APU GEOTEXTIL + GEOMEMBRANA 1.00 m

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
EVALUACIÓN DEL TIPO DE DRENAJE: DRENAJE TIPO GEODREN PLANAR					
RUBRO:		DTF002		FECHA	NOV 2020
DESCRIPCIÓN:					UNIDAD
GEOTEXTIL + GEOMEMBRANA 1.00 m					M2
<b>1. MATERIALES</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
18956	Geomembrana polietileno 1.00mm	m2	1	2.8	2.80
18009	Tensar -BX 1100 (3/4m x 75m)	U	2.2344	3.74	8.36
<b>Total materiales</b>					<b>11.16</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15837	Peón (ESTRUC. OCUP. E2)	Hora	0.4	3.6	1.44
15868	Maestro de obra (ESTRUC. OCUP. C1)	Hora	0.4	3.82	1.53
<b>Total mano de obra</b>					<b>2.97</b>
<b>3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
			Herramientas	5.00%	0.15
<b>Total equipo, maquinaria y herramientas</b>					<b>0.15</b>
<b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>					
<b>5. UTILIDAD</b>					
<b>6. IMPUESTOS</b>					
<b>Total Precio Unitario de geomembrana de polietileno 2.00</b>					<b>14.27</b>
<b>Especificaciones técnicas:</b>					
RENDIMIENTO: 0.40 Horas/m2					

Elaborado por: Bryan Correa

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tras la investigación profunda expuesta en capítulos anteriores, podemos determinar que:

El dren francés debe tener una adecuada selección de agregado grueso como material filtrante, este es susceptible a colmatación. Por lo que la capacidad drenante depende mucho de esta selección y correcta instalación.

En el geodren la geomembrana tiene alta capacidad hidráulica y el geotextil contiene una capa de prefiltros que previenen la colmatación.

	Dren francés	Geodren planar o circular
Costo directo total	\$ 1823.95	\$ 802.39
Costo Total por metro	\$ 45.60	\$ 20.06

En cuanto al rendimiento de materiales con el geodren se puede obtener ahorros de hasta el 30%, dado que para la construcción de un dren francés se requiere mayor sección de excavación y por lo tanto mayor volumen de medio drenante en el caso estudiado es el agregado grueso, mientras que con el geodren al ser un elemento laminar se requiere menor sección de excavación y menor volumen de material para la conformación de la capa de prefiltros. Este rendimiento repercute en un ahorro en costo total. Tanto por material excavado como por su transporte hasta el sitio de obra.

El geodren es un sistema de subdrenaje costo-eficiente y técnicamente viable, sin embargo, la solución más apropiada depende mucho de las condiciones del sitio, y del tipo de suelo de la importancia de la vía, etc. Su uso debe ser técnicamente evaluado según la necesidad del proyecto

El Geodren Planar es la mejor opción a utilizar en términos económicos para el proyecto.

Entre las ventajas de la utilización del dren francés se tiene:

- Se puede abrir las zanjas por medio de maquinaria pesada, es decir la instalación es más fácil y más rápida.

- Sistema apto para captación y conducción del agua, previene la acumulación de esta.
- Debido al sistema constructivo y a la implementación de este se previene la erosión del suelo.

Entre las desventajas de la utilización del dren francés se tiene:

- Alto costo comparado con el geodren planar.
- Necesita mantenimiento por lo que sus costos también son altos por tratarse de mayor cantidad de material.

Entre las ventajas de la utilización del geodren planar se tiene:

- Reemplaza el uso de colchones drenantes
- Reducción en la explotación de materiales pétreos no renovables
- Menor riesgo de colmatación en el sistema de drenaje
- Fácil transporte al sitio de instalación
- Es flexible y se adapta a la Geometría de la obra
- Menor volumen de excavación en las estructuras de pavimento

Entre las desventajas de la utilización del geodren planar se tiene:

- No es apto el uso de maquinaria pesada para las zanjas, debido a su tamaño estas deben ser abiertas mediante una excavación manual.
- El tiempo de instalación de este sistema es mas lento que el dren francés.

Se recomienda asegurarse que el fondo de la zanja de drenaje sea impermeable, de no serlo se realizará un cambio de suelo.

Cuando en las operaciones de inspección y limpieza en zanjas drenantes, se detecten fugas o roturas en el sistema, se deberá proceder —siempre que sea posible— a la apertura de la zanja, la extracción y sustitución de los elementos en mal estado y la posterior restitución del sistema a su estado inicial.

Los sub-drenes tienen forma típica; el tubo colector ha sido calculado para la longitud total de cada tramo y el caudal de infiltración máximo esperado. El diseño para longitudes

de sub-drenes mayores a 300 m recomienda diámetro de 200 mm, y para longitudes menores el diámetro de 160 mm, con una pendiente longitudinal entre 1% y 2%.

En los sitios donde existe flujo concentrado de agua (ojos de agua) el uso de geotextiles puede no ser adecuado y se puede requerir un sistema de mechas drenantes.

Las raíces de las plantas afectan en forma grave los filtros y se debe evitar sembrar árboles cerca a los sub-drenes.

Debe tenerse especial cuidado de no romper el geotextil al colocar los materiales granulares y debe evitarse la exposición al sol de la tela, por varios periodos de tiempo.

Con los Geotextiles las condiciones técnicas particulares del proyecto determinarán las características que deben cumplir de acuerdo a fenómenos de punzonamiento y colmatación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alimentación y Medio Ambiente, M. de A. (España). (2010). Sistemas de Drenaje, Caminos Naturales de España, 48–93.
- Alvarez Manilla, A., Juan, A., Valadéz, P., Paúl, C., Anguas, G., Itandehui, G. E., & Peña, M. (2002). LA PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS EN LOS PROBLEMAS DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES. APLICACIÓN EN LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE. Sanfandalia.
- Angelone, S. M. I., Garibay, M. T. I., & Cauhapé, M. (2006). Permeabilidad del Suelo. Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agromensura. Rosario. Retrieved from [https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad en Suelos.pdf](https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf)
- Bowles, J. E. (1981). Manual de Laboratorio de Suelos En Ingeniería Civil. Mexico: McGRAW-HILL.
- Carreteros.org. (s. f.). Drenaje Superficial. Recuperado 18 de noviembre de 2020, de [http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5\\_2ic2016/apartados/4.htm](http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5_2ic2016/apartados/4.htm)
- Comunicaciones, M. de O. P. y. (2011). Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Obras de Drenaje. Manual de Carreteras Del Paraguay, 293.
- Construpedia. (s. f.). Drenaje | Construpedia, enciclopedia construcción. Recuperado 11 de noviembre de 2020, de <https://www.construmatica.com/construpedia/Drenaje>
- Dávila Arregui, C. G., & Torres Pérez, I. D. (2010). Implementación de un sistema de optimización de procesos constructivos para obras de drenaje vial. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/3600>
- Díaz Botía, W. A. (2015). MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CÁLCULO TRABAJO DE GRADO WILMAR ÁNDRES BOTÍA DIAZ UNIVERSIDAD. Bogota. <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>
- Dirección General, C. (2003). Recomendaciones para el proyecto y construcción del drenaje subterráneo en obras de carretera. Orden Circular 17/2003, 117.
- GAD Parroquial Nanegal. (2016). PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARROQUIA NANEGAL 2015-2019.
- GAD Parroquial Nanegal. (2019). Vialidad y Transporte. <http://www.gadnanegal.gob.ec/index.php/ct-menu-item-11/ct-menu-item-25>

- Geosistemas PAVCO. (s. f.). Geodrén Planar y Vial.  
<http://www.amancowavin.com.ar/wp-content/uploads/descargas/geosinteticos/amanco-grodren-brochure.pdf>
- Grupo Uralita. (s. f.). EJEMPLOS DE DRENAJE. Recuperado 18 de noviembre de 2020, de <https://docplayer.es/18382667-Ejemplos-de-drenaje-con-tuberias-adequa.html>
- Guzman Arias, D. A. (2012). DRENAJE VIAL, CONCEPTOS BASICOS PARA EL DISEÑADOR GEOMETRICO. StuDocu.  
<https://www.studocu.com/co/document/universidad-pontificia-bolivariana/hidrologia/apuntes/drenaje-vial-conceptos-basicos-para-el-disenador-geometrico-v2/6875596/view>
- Hughes, R. (2008). Manual de ensayos de suelos y materiales. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 287.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1973a). *Mecánica de suelos, Tomo I, Fundamentos de la Mecánica de Suelos (Vol. I)*. MEXICO: LIMUSA. Retrieved from [https://www.academia.edu/38530731/Mecánica\\_de\\_suelos\\_Tomo\\_I\\_Eulalio\\_Juárez\\_Badillo\\_y\\_Alfonso\\_Rico\\_Rodríguez](https://www.academia.edu/38530731/Mecánica_de_suelos_Tomo_I_Eulalio_Juárez_Badillo_y_Alfonso_Rico_Rodríguez)
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1973b). *Mecánica de Suelos, I*, 489.
- Libre, U., & Pereira, S. (2017). *Guías Para Los Laboratorios De Mecánica De Suelos De La Universidad Libre Seccional Pereira, I*.
- Obando, T. (2009). *Sondeos Geotécnicos y Calicatas*.  
<https://www.academia.edu/download/32077265/Sondeos-geotecnicos-calicatas.pdf>
- Paredes, M., & Verdugo, R. (2004). *Génesis y Estructura de los suelos alofanicos en Chile*.  
[http://www.gdegeotecnia.cl/docs/Genesis\\_y\\_Estructura\\_de\\_los\\_Suelos\\_Alofanicos\\_en\\_Chile.pdf](http://www.gdegeotecnia.cl/docs/Genesis_y_Estructura_de_los_Suelos_Alofanicos_en_Chile.pdf)
- Pulecio Díaz, J. A. (2015). *Tipologías Obras de Drenaje y Subdrenajes en vías*.  
[https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/10184/1/2015\\_NC\\_Tipologia%20obras%20\\_Pulecio.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/10184/1/2015_NC_Tipologia%20obras%20_Pulecio.pdf)
- Robalino, B. (2014). DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD. Loja. Retrieved from [https://www.academia.edu/7229757/DETERMINACIÓN\\_DEL\\_COEFICIENTE\\_DE\\_PERMEABILIDAD](https://www.academia.edu/7229757/DETERMINACIÓN_DEL_COEFICIENTE_DE_PERMEABILIDAD)

- Schlumberger Limited. (2020). Permeabilidad.
- Structuralia. (2018). La importancia del drenaje longitudinal en carreteras.  
<https://blog.structuralia.com/la-importancia-del-drenaje-longitudinal-carreteras>
- Terzaghi K, P. R. (1980). Coeficiente de permeabilidad.
- Tipos drenajes subterráneos—Wikivia. (s. f.). Recuperado 18 de noviembre de 2020, de  
[http://www.wikivia.org/wikivia/index.php?title=Tipos\\_drenajes\\_subterr%C3%A1neos](http://www.wikivia.org/wikivia/index.php?title=Tipos_drenajes_subterr%C3%A1neos)
- Valdez Romero, M., & Vasquez Peña, L. (2012). ESTUDIO DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUBDRENAJE PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL MACRODESPLAZAMIENTO DE PUENTELOMA DE LA VÍA LÉNTAG-RÍO SAN FRANCISCO DE 50 KM DE LONGITUD UBICADA EN LA PROVINCIA DEL AZUAY, 71. Retrieved from  
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2272/1/tps772.pdf>
- Yelo Díaz, Ó. (2019). Puesta en funcionamiento del permeámetro de carga variable, un equipo de laboratorio para ensayos de permeabilidad en suelos cohesivos. Retrieved from  
[http://repositorio.upct.es/handle/10317/8149#.XjsTo7yp\\_pE.mendeley](http://repositorio.upct.es/handle/10317/8149#.XjsTo7yp_pE.mendeley)
- Zuloaga, I. (s. f.). Muestra Alterada. Diccionario. Recuperado 18 de noviembre de 2020, de <https://www.diccionario.geotecnia.online/palabra/muestra-alterada/>











Anexo 2 Determinación del coeficiente de permeabilidad



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD,  
DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**  
**AASHTO-T 125, ASTM-D 2434, ASTM-D 5084**

<b>Proyecto:</b>	TESIS	<b>Director tesis</b>	ING. WILSON CANDO
<b>Descripción del Suelo:</b>	SP	<b>Ensayado:</b>	BRYAN CORREA L.
<b>Fecha de muestreo:</b>	27/8/2020	<b>Colaborado</b>	Laboratorios LDMS
<b>Fecha de ensayo:</b>	29/8/2020	<b>Absisa:</b>	0+500

Clasific. Suelo.	L.L.	I.P.
SP	NP	NP

DATOS DE INICIO	
DIAMETRO DE LA MUESTRA EN LA CELDA DEL EQUIPO (cm)	7,62
LONGITUD DE LA MUESTRA (cm)	15,15
ÁREA DE LA CELDA QUE CONTIENE A LA MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	45,60
VOLUMEN NETO QUE CONTENDRA SUELO EN LA CELDA (cm <sup>3</sup> )	690,90

**PRUEBA PARA CALCULAR EL ÁREA DE LA BURETA**

MEDICIONES	1	2	3
LECTURA INICIAL (cm)	90,90	99,40	97,50
LECTURA FINAL (cm)	90,1	99,0	96,9
PESO DE LA TARA (gr)	47,75	47,75	47,75
PESO DE LA TARA + AGUA (gr)	54,39	57,88	60,12
PESO DEL AGUA (gr)	6,64	10,13	12,37
DENSIDAD DEL AGUA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00
VOLUMEN DEL AGUA (cm <sup>3</sup> )	6,64	10,13	12,37
DIFERENCIA DE ALTURA (cm)	0,81	0,40	0,60
ÁREA DE LA BURETA (cm <sup>2</sup> )	8,197284	25,324500	20,616333
ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	18,046039095		

Calculo del Área de la bureta

$$A = \frac{V_{\text{agua}}}{lec_1 - lec_2}$$

**PRUEBA PARA REALIZAR EL CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD**

MEDICIÓN	1°	2°	3°
LECTURA INICIAL (cm.)	96,0	96,0	96,0
LECTURA FINAL (cm.)	90,4	93,45	88,98
DIFERENCIA DE TIEMPO (min.)	15,0	30,0	45,0
DIFERENCIA DE TIEMPO (s.)	900,0	1800,0	2700,0
ALTURA DEL PISO HASTA LA MARCA 0 GRADUADA	17,1	17,1	17,1
ALTURA DEL PISO HASTA EL NIVEL DEL AGUA	10,4	10,4	10,4
DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE EL ESPEJO DE AGUA Y	6,7	6,7	6,7
h <sub>1</sub>	102,7	102,7	102,7
h <sub>2</sub>	15,7	3,4	2,0
ln(h <sub>1</sub> /h <sub>2</sub> )	1,88006406	3,396340646	3,938664936
PERMEABILIDAD (k)	1,25E-02	1,13E-02	8,75E-03
PERMEABILIDAD PROMEDIO (k)	1,09E-02		

Observacion: con el resultado obtenido nos indica que corresponde a 0,0109 o lo que es lo mismo 1,09\*10<sup>-2</sup> o simplemente por reducción de decimales es (10<sup>-2</sup>)



**LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD,  
DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS**

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**AASHTO-T 125, ASTM-D 2434, ASTM-D 5084**

<b>Proyecto:</b>	TESIS	<b>Director tesis</b>	ING. WILSON CANDO
<b>Descripción del Suelo:</b>	CH	<b>Ensayado:</b>	BRYAN CORREA L.
<b>Fecha de muestreo:</b>	27/8/2020	<b>Colaborado</b>	Laboratorios LDMS
<b>Fecha de ensayo:</b>	29/8/2020	<b>Absisa:</b>	1+000

Clasific. Suelo.	L.L.	I.P.
CH	65,7	38,23

DATOS DE INICIO	
DIAMETRO DE LA MUESTRA EN LA CELDA DEL EQUIPO (cm)	7,62
LONGITUD DE LA MUESTRA (cm)	15,15
ÁREA DE LA CELDA QUE CONTIENE A LA MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	45,60
VOLUMEN NETO QUE CONTENDRA SUELO EN LA CELDA (cm <sup>3</sup> )	690,90

**PRUEBA PARA CALCULAR EL ÁREA DE LA BURETA**

MEDICIONES	1	2	3
LECTURA INICIAL (cm)	90,90	99,40	97,50
LECTURA FINAL (cm)	37,98	45,62	30,44
PESO DE LA TARA (gr)	47,75	47,75	47,75
PESO DE LA TARA + AGUA (gr)	57,71	52,37	59,03
PESO DEL AGUA (gr)	9,96	4,62	11,28
DENSIDAD DEL AGUA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00
VOLUMEN DEL AGUA (cm <sup>3</sup> )	9,96	4,62	11,28
DIFERENCIA DE ALtura (cm)	52,92	53,78	67,06
ÁREA DE LA BURETA (cm <sup>2</sup> )	0,188178	0,085915	0,168176
ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	0,147423160		

Calculo del Área de la bureta

$$A = \frac{V_{agua}}{lec_1 - lec_2}$$

**PRUEBA PARA REALIZAR EL CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD**

MEDICIÓN	1°	2°	3°
LECTURA INICIAL (cm.)	96,0	96,0	96,0
LECTURA FINAL (cm.)	88,7	83,1	78,3
DIFERENCIA DE TIEMPO (min.)	15,0	30,0	45,0
DIFERENCIA DE TIEMPO (s.)	900,0	1800,0	2700,0
ALTURA DEL PISO HASTA LA MARCA O GRADUADA	17,1	17,1	17,1
ALTURA DEL PISO HASTA EL NIVEL DEL AGUA	10,4	10,4	10,4
DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE EL ESPEJO DE AGUA Y	6,7	6,7	6,7
h <sub>1</sub>	102,7	102,7	102,7
h <sub>2</sub>	101,6	100,0	99,0
ln(h <sub>1</sub> /h <sub>2</sub> )	0,01076858	0,026641931	0,036692267
PERMEABILIDAD (k)	5,86E-07	7,25E-07	6,66E-07
PERMEABILIDAD PROMEDIO (k)	6,59E-07		

Observacion: con el resultado obtenido nos indica que corresponde a 0,000000659 o lo que es lo mismo 6,59\*10<sup>-7</sup> o simplemente por reducción de desimales es (10<sup>-7</sup>)



**LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD,  
DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS**

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**AASHTO-T 125, ASTM-D 2434, ASTM-D 5084**

<b>Proyecto:</b>	TESIS	<b>Director tesis</b>	ING. WILSON CANDO
<b>Descripción del Suelo:</b>	CH	<b>Ensayado:</b>	BRYAN CORREA L.
<b>Fecha de muestreo:</b>	27/8/2020	<b>Colaborado</b>	Laboratorios LDMS
<b>Fecha de ensayo:</b>	29/8/2020	<b>Absisa:</b>	1+500

Clasific. Suelo.	L.L.	I.P.
CH	72,4	43,1

DATOS DE INICIO	
DIAMETRO DE LA MUESTRA EN LA CELDA DEL EQUIPO (cm)	7,62
LONGITUD DE LA MUESTRA (cm)	15,15
ÁREA DE LA CELDA QUE CONTIENE A LA MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	45,60
VOLUMEN NETO QUE CONTENDRA SUELO EN LA CELDA (cm <sup>3</sup> )	690,90

**PRUEBA PARA CALCULAR EL ÁREA DE LA BURETA**

MEDICIONES	1	2	3
LECTURA INICIAL (cm)	90,90	99,40	97,50
LECTURA FINAL (cm)	34,40	73,10	32,60
PESO DE LA TARA (gr)	47,75	47,75	47,75
PESO DE LA TARA + AGUA (gr)	55,15	49,79	62,33
PESO DEL AGUA (gr)	7,40	2,04	14,58
DENSIDAD DEL AGUA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00
VOLUMEN DEL AGUA (cm <sup>3</sup> )	7,40	2,04	14,58
DIFERENCIA DE ALTURA (cm)	56,50	26,30	64,90
ÁREA DE LA BURETA (cm <sup>2</sup> )	0,130970	0,077559	0,224650
ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	0,144393026		

Calculo del Área de la bureta

$$A = \frac{V_{\text{agua}}}{lec_1 - lec_2}$$

**PRUEBA PARA REALIZAR EL CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD**

MEDICIÓN	1°	2°	3°
LECTURA INICIAL (cm.)	96,0	96,0	96,0
LECTURA FINAL (cm.)	88,7	83,1	78,3
DIFERENCIA DE TIEMPO (min.)	15,0	30,0	45,0
DIFERENCIA DE TIEMPO (s.)	900,0	1800,0	2700,0
ALTURA DEL PISO HASTA LA MARCA O GRADUADA	17,1	17,1	17,1
ALTURA DEL PISO HASTA EL NIVEL DEL AGUA	10,4	10,4	10,4
DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE EL ESPEJO DE AGUA Y	6,7	6,7	6,7
h <sub>1</sub>	102,7	102,7	102,7
h <sub>2</sub>	101,6	100,0	99,0
ln(h <sub>1</sub> /h <sub>2</sub> )	0,01076858	0,026641931	0,036692267
PERMEABILIDAD (k)	5,74E-07	7,10E-07	6,52E-07
PERMEABILIDAD PROMEDIO (k)	6,45E-07		

Observacion: con el resultado obtenido nos indica que corresponde a 0,000000645 o lo que es lo mismo 6,45\*10<sup>-7</sup> o simplemente por reducción de decimales es (10<sup>-7</sup>)



**LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD,  
DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS**

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**AASHTO-T 125, ASTM-D 2434, ASTM-D 5084**

<b>Proyecto:</b>	TESIS	<b>Director tesis</b>	ING. WILSON CANDO
<b>Descripción del Suelo:</b>	ML - CL	<b>Ensayado:</b>	BRYAN CORREA L.
<b>Fecha de muestreo:</b>	27/8/2020	<b>Colaborado</b>	Laboratorios LDMS
<b>Fecha de ensayo:</b>	29/8/2020	<b>Absisa:</b>	2+000

Clasific. Suelo.	L.L.	I.P.
MLCL	18,8	4,04

DATOS DE INICIO	
DIAMETRO DE LA MUESTRA EN LA CELDA DEL EQUIPO (cm)	7,62
LONGITUD DE LA MUESTRA (cm)	15,15
ÁREA DE LA CELDA QUE CONTIENE A LA MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	45,60
VOLUMEN NETO QUE CONTENDRA SUELO EN LA CELDA (cm <sup>3</sup> )	690,90

**PRUEBA PARA CALCULAR EL ÁREA DE LA BURETA**

MEDICIONES	1	2	3
LECTURA INICIAL (cm)	90,90	99,40	97,50
LECTURA FINAL (cm)	67,89	79,92	89,23
PESO DE LA TARA (gr)	47,75	47,75	47,75
PESO DE LA TARA + AGUA (gr)	56,31	48,79	55,23
PESO DEL AGUA (gr)	8,56	1,04	7,48
DENSIDAD DEL AGUA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00
VOLUMEN DEL AGUA (cm <sup>3</sup> )	8,56	1,04	7,48
DIFERENCIA DE ALTURA (cm)	23,01	19,48	8,27
ÁREA DE LA BURETA (cm <sup>2</sup> )	0,372003	0,053378	0,904450
ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	0,443277040		

Calculo del Área de la bureta

$$A = \frac{V_{\text{agua}}}{lec_1 - lec_2}$$

**PRUEBA PARA REALIZAR EL CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD**

MEDICIÓN	1°	2°	3°
LECTURA INICIAL (cm.)	96,0	96,0	96,0
LECTURA FINAL (cm.)	88,7	83,1	78,3
DIFERENCIA DE TIEMPO (min.)	15,0	30,0	45,0
DIFERENCIA DE TIEMPO (s.)	900,0	1800,0	2700,0
ALTURA DEL PISO HASTA LA MARCA O GRADUADA	17,1	17,1	17,1
ALTURA DEL PISO HASTA EL NIVEL DEL AGUA	10,4	10,4	10,4
DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE EL ESPEJO DE AGUA Y	6,7	6,7	6,7
h <sub>1</sub>	102,7	102,7	102,7
h <sub>2</sub>	55,0	40,2	23,3
ln(h <sub>1</sub> /h <sub>2</sub> )	0,62447893	0,937199131	1,48164349
PERMEABILIDAD (k)	1,02E-04	7,67E-05	8,08E-05
PERMEABILIDAD PROMEDIO (k)	8,66E-05		

Observacion: con el resultado obtenido nos indica que corresponde a 0,000866 o lo que es lo mismo 8,66\*10<sup>-4</sup> simplemente por reducción de decimales es (10<sup>-4</sup>)



**LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD,  
DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS**

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**AASHTO-T 125, ASTM-D 2434, ASTM-D 5084**

<b>Proyecto:</b>	TESIS	<b>Director tesis</b>	ING. WILSON CANDO
<b>Descripción del Suelo:</b>	SP	<b>Ensayado:</b>	BRYAN CORREA L.
<b>Fecha de muestreo:</b>	27/8/2020	<b>Colaborado</b>	Laboratorios LDMS
<b>Fecha de ensayo:</b>	29/8/2020	<b>Absisa:</b>	2+500

Clasific. Suelo.	L.L.	I.P.
SP	NP	NP

DATOS DE INICIO	
DIAMETRO DE LA MUESTRA EN LA CELDA DEL EQUIPO (cm)	7,62
LONGITUD DE LA MUESTRA (cm)	15,15
ÁREA DE LA CELDA QUE CONTIENE A LA MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	45,60
VOLUMEN NETO QUE CONTENDRA SUELO EN LA CELDA (cm <sup>3</sup> )	690,90

**PRUEBA PARA CALCULAR EL ÁREA DE LA BURETA**

MEDICIONES	1	2	3
LECTURA INICIAL (cm)	90,90	99,40	97,50
LECTURA FINAL (cm)	89,95	98,85	96,84
PESO DE LA TARA (gr)	47,75	47,75	47,75
PESO DE LA TARA + AGUA (gr)	60,12	58,76	63,45
PESO DEL AGUA (gr)	12,37	11,01	15,70
DENSIDAD DEL AGUA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00
VOLUMEN DEL AGUA (cm <sup>3</sup> )	12,37	11,01	15,70
DIFERENCIA DE ALTURA (cm)	0,95	0,55	0,66
ÁREA DE LA BURETA (cm <sup>2</sup> )	13,020842	20,017818	23,787576
ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	18,942078682		

Calculo del Área de la bureta

$$A = \frac{V_{agua}}{lec_1 - lec_2}$$

**PRUEBA PARA REALIZAR EL CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD**

MEDICIÓN	1°	2°	3°
LECTURA INICIAL (cm.)	96,0	96,0	96,0
LECTURA FINAL (cm.)	88,7	83,1	78,3
DIFERENCIA DE TIEMPO (min.)	15,0	30,0	45,0
DIFERENCIA DE TIEMPO (s.)	900,0	1800,0	2700,0
ALTURA DEL PISO HASTA LA MARCA O GRADUADA	17,1	17,1	17,1
ALTURA DEL PISO HASTA EL NIVEL DEL AGUA	10,4	10,4	10,4
DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE EL ESPEJO DE AGUA Y	6,7	6,7	6,7
h <sub>1</sub>	102,7	102,7	102,7
h <sub>2</sub>	12,0	3,3	1,1
ln(h <sub>1</sub> /h <sub>2</sub> )	2,14690547	3,428839813	4,545634421
PERMEABILIDAD (k)	1,50E-02	1,20E-02	1,06E-02
PERMEABILIDAD PROMEDIO (k)	1,25E-02		

Observacion: con el resultado obtenido nos indica que corresponde a 0,0125 o lo que es lo mismo 1,25\*10<sup>-2</sup>o simplemente por reducción de decimales es (10<sup>-2</sup>)



**LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD,  
DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS**

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**AASHTO-T 125, ASTM-D 2434, ASTM-D 5084**

<b>Proyecto:</b>	TESIS	<b>Director tesis</b>	ING. WILSON CANDO
<b>Descripción del Suelo:</b>	SP	<b>Ensayado:</b>	BRYAN CORREA L.
<b>Fecha de muestreo:</b>	27/8/2020	<b>Colaborado</b>	Laboratorios LDMS
<b>Fecha de ensayo:</b>	29/8/2020	<b>Absisa:</b>	3+000

Clasific. Suelo.	L.L.	I.P.
SP	NP	NP

DATOS DE INICIO	
DIAMETRO DE LA MUESTRA EN LA CELDA DEL EQUIPO (cm)	7,62
LONGITUD DE LA MUESTRA (cm)	15,15
ÁREA DE LA CELDA QUE CONTIENE A LA MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	45,60
VOLUMEN NETO QUE CONTENDRA SUELO EN LA CELDA (cm <sup>3</sup> )	690,90

**PRUEBA PARA CALCULAR EL ÁREA DE LA BURETA**

MEDICIONES	1	2	3
LECTURA INICIAL (cm)	90,90	99,40	97,50
LECTURA FINAL (cm)	88,04	95,79	92,44
PESO DE LA TARA (gr)	47,75	47,75	47,75
PESO DE LA TARA + AGUA (gr)	59,00	48,98	63,11
PESO DEL AGUA (gr)	11,25	1,23	15,36
DENSIDAD DEL AGUA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00
VOLUMEN DEL AGUA (cm <sup>3</sup> )	11,25	1,23	15,36
DIFERENCIA DE ALTURA (cm)	2,86	3,61	5,06
ÁREA DE LA BURETA (cm <sup>2</sup> )	3,933497	0,340665	3,035534
ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	2,436564973		

Calculo del Área de la bureta

$$A = \frac{V_{agua}}{lec_1 - lec_2}$$

**PRUEBA PARA REALIZAR EL CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD**

MEDICIÓN	1°	2°	3°
LECTURA INICIAL (cm.)	96,0	96,0	96,0
LECTURA FINAL (cm.)	88,7	83,1	78,3
DIFERENCIA DE TIEMPO (min.)	15,0	30,0	45,0
DIFERENCIA DE TIEMPO (s.)	900,0	1800,0	2700,0
ALTURA DEL PISO HASTA LA MARCA O GRADUADA	17,1	17,1	17,1
ALTURA DEL PISO HASTA EL NIVEL DEL AGUA	10,4	10,4	10,4
DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE EL ESPEJO DE AGUA Y	6,7	6,7	6,7
h <sub>1</sub>	102,7	102,7	102,7
h <sub>2</sub>	20,1	5,1	2,0
ln(h <sub>1</sub> /h <sub>2</sub> )	1,63059491	3,004534286	3,938664936
PERMEABILIDAD (k)	1,47E-03	1,35E-03	1,18E-03
PERMEABILIDAD PROMEDIO (k)	1,33E-03		

Observacion: con el resultado obtenido nos indica que corresponde a 0,00133 o lo que es lo mismo 1,33\*10<sup>-3</sup> o simplemente por reducción de decimales es (10<sup>-3</sup>)



**LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD,  
DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS**

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD  
AASHTO-T 125, ASTM-D 2434, ASTM-D 5084**

<b>Proyecto:</b>	TESIS	<b>Director tesis</b>	ING. WILSON CANDO
<b>Descripción del Suelo:</b>	SP	<b>Ensayado:</b>	BRYAN CORREA L.
<b>Fecha de muestreo:</b>	27/8/2020	<b>Colaborado</b>	Laboratorios LDMS
<b>Fecha de ensayo:</b>	29/8/2020	<b>Absisa:</b>	3+500

Clasific. Suelo.	L.L.	I.P.
SP	NP	NP

DATOS DE INICIO	
DIAMETRO DE LA MUESTRA EN LA CELDA DEL EQUIPO (cm)	7,62
LONGITUD DE LA MUESTRA (cm)	15,15
ÁREA DE LA CELDA QUE CONTIENE A LA MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	45,60
VOLUMEN NETO QUE CONTENDRA SUELO EN LA CELDA (cm <sup>3</sup> )	690,90

**PRUEBA PARA CALCULAR EL ÁREA DE LA BURETA**

MEDICIONES	1	2	3
LECTURA INICIAL (cm)	90,90	99,40	97,50
LECTURA FINAL (cm)	90,06	92,39	94,54
PESO DE LA TARA (gr)	47,75	47,75	47,75
PESO DE LA TARA + AGUA (gr)	58,44	63,23	60,43
PESO DEL AGUA (gr)	10,69	15,48	12,68
DENSIDAD DEL AGUA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00
VOLUMEN DEL AGUA (cm <sup>3</sup> )	10,69	15,48	12,68
DIFERENCIA DE ALTURA (cm)	0,84	7,01	2,96
ÁREA DE LA BURETA (cm <sup>2</sup> )	12,725952	2,208245	4,283716
ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	6,405971320		

Calculo del Área de la bureta

$$A = \frac{V_{agua}}{lec_1 - lec_2}$$

**PRUEBA PARA REALIZAR EL CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD**

MEDICIÓN	1°	2°	3°
LECTURA INICIAL (cm.)	96,0	96,0	96,0
LECTURA FINAL (cm.)	88,7	83,1	78,3
DIFERENCIA DE TIEMPO (min.)	15,0	30,0	45,0
DIFERENCIA DE TIEMPO (s.)	900,0	1800,0	2700,0
ALTURA DEL PISO HASTA LA MARCA O GRADUADA	17,1	17,1	17,1
ALTURA DEL PISO HASTA EL NIVEL DEL AGUA	10,4	10,4	10,4
DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE EL ESPEJO DE AGUA Y	6,7	6,7	6,7
h <sub>1</sub>	102,7	102,7	102,7
h <sub>2</sub>	22,1	7,3	3,1
ln(h <sub>1</sub> /h <sub>2</sub> )	1,53578212	2,638473274	3,500410005
PERMEABILIDAD (k)	3,63E-03	3,12E-03	2,76E-03
PERMEABILIDAD PROMEDIO (k)	3,17E-03		

Observacion: con el resultado obtenido nos indica que corresponde a 0,00317 o lo que es lo mismo 3,17\*10<sup>-3</sup> o simplemente por reducción de decimales es (10<sup>-3</sup>)



**LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD,  
DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS**

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD  
AASHTO-T 125, ASTM-D 2434, ASTM-D 5084**

<b>Proyecto:</b>	TESIS	<b>Director tesis</b>	ING. WILSON CANDO
<b>Descripción del Suelo:</b>	CL	<b>Ensayado:</b>	BRYAN CORREA L.
<b>Fecha de muestreo:</b>	27/8/2020	<b>Colaborado</b>	Laboratorios LDMS
<b>Fecha de ensayo:</b>	29/8/2020	<b>Absisa:</b>	4+000

Clasific. Suelo.	L.L.	I.P.
CL	37,6	20,11

DATOS DE INICIO	
DIAMETRO DE LA MUESTRA EN LA CELDA DEL EQUIPO (cm)	7,62
LONGITUD DE LA MUESTRA (cm)	15,15
ÁREA DE LA CELDA QUE CONTIENE A LA MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	45,60
VOLUMEN NETO QUE CONTENDRA SUELO EN LA CELDA (cm <sup>3</sup> )	690,90

**PRUEBA PARA CALCULAR EL ÁREA DE LA BURETA**

MEDICIONES	1	2	3
LECTURA INICIAL (cm)	90,90	99,40	97,50
LECTURA FINAL (cm)	62,45	59,76	77,44
PESO DE LA TARA (gr)	47,75	47,75	47,75
PESO DE LA TARA + AGUA (gr)	55,69	50,04	51,38
PESO DEL AGUA (gr)	7,94	2,29	3,63
DENSIDAD DEL AGUA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00
VOLUMEN DEL AGUA (cm <sup>3</sup> )	7,94	2,29	3,63
DIFERENCIA DE ALTURA (cm)	28,45	39,64	20,06
ÁREA DE LA BURETA (cm <sup>2</sup> )	0,279079	0,057765	0,180947
ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	0,172597043		

Calculo del Área de la bureta

$$A = \frac{V_{agua}}{lec_1 - lec_2}$$

**PRUEBA PARA REALIZAR EL CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD**

MEDICIÓN	1°	2°	3°
LECTURA INICIAL (cm.)	96,0	96,0	96,0
LECTURA FINAL (cm.)	88,7	83,1	78,3
DIFERENCIA DE TIEMPO (min.)	15,0	30,0	45,0
DIFERENCIA DE TIEMPO (s.)	900,0	1800,0	2700,0
ALTURA DEL PISO HASTA LA MARCA O GRADUADA	17,1	17,1	17,1
ALTURA DEL PISO HASTA EL NIVEL DEL AGUA	10,4	10,4	10,4
DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE EL ESPEJO DE AGUA Y	6,7	6,7	6,7
h <sub>1</sub>	102,7	102,7	102,7
h <sub>2</sub>	45,3	31,1	20,4
ln(h <sub>1</sub> /h <sub>2</sub> )	0,81806368	1,193961418	1,618239925
PERMEABILIDAD (k)	5,21E-05	3,80E-05	3,44E-05
PERMEABILIDAD PROMEDIO (k)	4,15E-05		

Observacion: con el resultado obtenido nos indica que corresponde a 0,0000415 o lo que es lo mismo 4,15\*10<sup>-5</sup> o simplemente por reducción de decimales es (10<sup>-5</sup>)



**LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD,  
DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS**

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**AASHTO-T 125, ASTM-D 2434, ASTM-D 5084**

<b>Proyecto:</b>	TESIS	<b>Director tesis</b>	ING. WILSON CANDO
<b>Descripción del Suelo:</b>	CL	<b>Ensayado:</b>	BRYAN CORREA L.
<b>Fecha de muestreo:</b>	27/8/2020	<b>Colaborado</b>	Laboratorios LDMS
<b>Fecha de ensayo:</b>	29/8/2020	<b>Absisa:</b>	4+500

Clasific. Suelo.	L.L.	I.P.
CL	38,9	23,38

DATOS DE INICIO	
DIAMETRO DE LA MUESTRA EN LA CELDA DEL EQUIPO (cm)	7,62
LONGITUD DE LA MUESTRA (cm)	15,15
ÁREA DE LA CELDA QUE CONTIENE A LA MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	45,60
VOLUMEN NETO QUE CONTENDRA SUELO EN LA CELDA (cm <sup>3</sup> )	690,90

**PRUEBA PARA CALCULAR EL ÁREA DE LA BURETA**

MEDICIONES	1	2	3
LECTURA INICIAL (cm)	90,90	99,40	97,50
LECTURA FINAL (cm)	34,40	73,10	32,60
PESO DE LA TARA (gr)	47,75	47,75	47,75
PESO DE LA TARA + AGUA (gr)	62,24	58,11	64,32
PESO DEL AGUA (gr)	14,49	10,36	16,57
DENSIDAD DEL AGUA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00
VOLUMEN DEL AGUA (cm <sup>3</sup> )	14,49	10,36	16,57
DIFERENCIA DE ALTURA (cm)	56,50	26,30	64,90
ÁREA DE LA BURETA (cm <sup>2</sup> )	0,256457	0,393909	0,255313
ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	0,301892724		

Calculo del Área de la bureta

$$A = \frac{V_{agua}}{lec_1 - lec_2}$$

**PRUEBA PARA REALIZAR EL CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD**

MEDICIÓN	1°	2°	3°
LECTURA INICIAL (cm.)	96,0	96,0	96,0
LECTURA FINAL (cm.)	88,7	83,1	78,3
DIFERENCIA DE TIEMPO (min.)	15,0	30,0	45,0
DIFERENCIA DE TIEMPO (s.)	900,0	1800,0	2700,0
ALTURA DEL PISO HASTA LA MARCA O GRADUADA	17,1	17,1	17,1
ALTURA DEL PISO HASTA EL NIVEL DEL AGUA	10,4	10,4	10,4
DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE EL ESPEJO DE AGUA Y	6,7	6,7	6,7
h <sub>1</sub>	102,7	102,7	102,7
h <sub>2</sub>	50,5	33,3	21,2
ln(h <sub>1</sub> /h <sub>2</sub> )	0,71082937	1,125954465	1,576867984
PERMEABILIDAD (k)	7,92E-05	6,27E-05	5,86E-05
PERMEABILIDAD PROMEDIO (k)	6,68E-05		

Observacion: con el resultado obtenido nos indica que corresponde a 0,0000627 o lo que es lo mismo 6,27\*10<sup>-5</sup> o simplemente por reducción de decimales es (10<sup>-5</sup>)



**LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD,  
DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS**

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD  
AASHTO-T 125, ASTM-D 2434, ASTM-D 5084**

<b>Proyecto:</b>	TESIS	<b>Director tesis</b>	ING. WILSON CANDO
<b>Descripción del Suelo:</b>	CL	<b>Ensayado:</b>	BRYAN CORREA L.
<b>Fecha de muestreo:</b>	27/8/2020	<b>Colaborado</b>	Laboratorios LDMS
<b>Fecha de ensayo:</b>	29/8/2020	<b>Absisa:</b>	5+000

Clasific. Suelo.	L.L.	I.P.
CL	36,7	18,15

DATOS DE INICIO	
DIAMETRO DE LA MUESTRA EN LA CELDA DEL EQUIPO (cm)	7,62
LONGITUD DE LA MUESTRA (cm)	15,15
ÁREA DE LA CELDA QUE CONTIENE A LA MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	45,60
VOLUMEN NETO QUE CONTENDRA SUELO EN LA CELDA (cm <sup>3</sup> )	690,90

**PRUEBA PARA CALCULAR EL ÁREA DE LA BURETA**

MEDICIONES	1	2	3
LECTURA INICIAL (cm)	90,90	99,40	97,50
LECTURA FINAL (cm)	34,40	73,10	32,60
PESO DE LA TARA (gr)	47,75	47,75	47,75
PESO DE LA TARA + AGUA (gr)	63,41	58,15	61,69
PESO DEL AGUA (gr)	15,66	10,40	13,94
DENSIDAD DEL AGUA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00
VOLUMEN DEL AGUA (cm <sup>3</sup> )	15,66	10,40	13,94
DIFERENCIA DE ALTURA (cm)	56,50	26,30	64,90
ÁREA DE LA BURETA (cm <sup>2</sup> )	0,277165	0,395430	0,214789
ÁREA PROMEDIO (cm <sup>2</sup> )	0,295794389		

Calculo del Área de la bureta

$$A = \frac{V_{agua}}{lec_1 - lec_2}$$

**PRUEBA PARA REALIZAR EL CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD**

MEDICIÓN	1°	2°	3°
LECTURA INICIAL (cm.)	96,0	96,0	96,0
LECTURA FINAL (cm.)	88,7	83,1	78,3
DIFERENCIA DE TIEMPO (min.)	15,0	30,0	45,0
DIFERENCIA DE TIEMPO (s.)	900,0	1800,0	2700,0
ALTURA DEL PISO HASTA LA MARCA O GRADUADA	17,1	17,1	17,1
ALTURA DEL PISO HASTA EL NIVEL DEL AGUA	10,4	10,4	10,4
DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE EL ESPEJO DE AGUA Y	6,7	6,7	6,7
h <sub>1</sub>	102,7	102,7	102,7
h <sub>2</sub>	48,8	33,3	22,3
ln(h <sub>1</sub> /h <sub>2</sub> )	0,74428674	1,125954465	1,52767397
PERMEABILIDAD (k)	8,13E-05	6,15E-05	5,56E-05
PERMEABILIDAD PROMEDIO (k)	6,61E-05		

Observacion: con el resultado obtenido nos indica que corresponde a 0,0000661 o lo que es lo mismo 6,61\*10<sup>-5</sup> o simplemente por reducción de decimales es (10<sup>-5</sup>)