



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA: “CARACTERIZACIÓN DE LA PERMEABILIDAD
DEL GEOTEXTIL EN PRESAS DE MATERIALES
SUELTOS”**

AUTOR: JAYA CAÑAR, NANCY PATRICIA

**DIRECTOR: ING. SANDOVAL ERAZO, WASHINGTON
RAMIRO. Ph.D.**

SANGOLQUÍ

2016



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

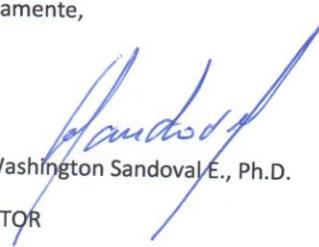
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**CARACTERIZACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DEL GEOTEXTIL EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS**” realizado por la señorita **Nancy Patricia Jaya Cañar**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita **Nancy Patricia Jaya Cañar** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de febrero del 2016

Atentamente,


Ing. Washington Sandoval E., Ph.D.

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Nancy Patricia Jaya Cañar**, con cédula de identidad N° 171362161-1, declaro que este trabajo de titulación "**CARACTERIZACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DEL GEOTEXTIL EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS**" realizado por la señorita **Nancy Patricia Jaya Cañar**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 10 de febrero del 2016

Nancy Patricia Jaya Cañar

C.C: 171362161-1



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Nancy Patricia Jaya Cañar**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la Institución el presente trabajo de titulación **“CARACTERIZACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DEL GEOTEXTIL EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 10 de febrero del 2016

Nancy Patricia Jaya Cañar

C.C: 171362161-1



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Memorando N° 015

Sangolquí, 10 de febrero del 2016

PARA: Lcda. Ana Lucía Toapanta
DIRECTORA DE LA BIBLIOTECA

DE: Ing. Pablo Caiza S., Ph.D.
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Asunto: Remitiendo Trabajo de Titulación.

Mediante el presente remito a usted, señora directora un ejemplar en formato digital del trabajo de titulación "**CARACTERIZACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DEL GEOTEXTIL EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS**", elaborado por la señorita **Nancy Patricia Jaya Cañar**.

Por la atención que dé al trámite de ingreso correspondiente le anticipo mis agradecimientos.

Atentamente,




DEDICATORIA

A mi madre y hermano con amor, admiración y profunda gratitud....

Nancy Patricia

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento al Ing. Hugo Bonifaz M.Sc., al Ing. Washington Sandoval Ph.D. y al Ing. Juan Haro por la valiosa colaboración personal y soporte técnico durante la realización del presente trabajo.

Nancy Patricia

ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA.....	1
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.1.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Justificación.....	2
CAPÍTULO 2.....	4
GENERALIDADES.....	4
2.1. Presas.....	4
2.2. Clasificación de presas de materiales sueltos.....	6
2.2.1. Presas de sección Homogénea.....	6
2.2.2. Presas Zonadas con núcleo impermeable de arcilla.....	6
2.2.3. Presas de Pantalla.....	7
2.3. Ley de Darcy.....	11
2.4. Permeabilidad.....	14
2.5. Factores que afectan el coeficiente de permeabilidad.....	15
2.5.1. Relación de vacíos.....	15
2.5.2. Temperatura del agua.....	15
2.5.3. Estructura y estratificación.....	16
2.5.4. Agujeros y fisuras.....	17
2.5.5. Tamaño de las partículas.....	17

	ix
2.5.6. Aire encerrado	18
2.6. Geosintéticos.....	19
2.7. Geotextiles	24
2.7.2. Clasificación según su método de fabricación	25
2.8. Propiedades de los Geotextiles.....	28
2.8.1. Separar	28
2.8.2. Filtrar	29
2.8.3. Drenar	30
2.8.4. Reforzar	31
2.8.5. Proteger	31
CAPÍTULO 3.....	33
CARACTERIZACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DEL GEOTEXTIL EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS	33
3.1. Análisis Granulométrico.....	33
3.1.1. Granulometría por Lavado (ASTM D 422)	33
3.1.2. Granulometría por sedimentación (ASTM D422)	35
3.1.3. Coeficiente de Uniformidad y Coeficiente de Curvatura	44
3.2. Clasificación de Suelos SUCS (ASTM D-2487-06).....	45
3.3. Calculo de Porosidad	46
3.3.1. Porosidad Eficaz	46
3.4. Humedad (W) (ASTM D 2216)	48
3.5. Calculo de Plasticidad y Límites de Atterberg (ASTM D 4318).....	48
3.6. Ensayo de Gravedad Específica Gs. (ASTM D854-02)	49
3.7. Ensayo de Consolidación (ASTM D 2435-90).	53
3.8. Ensayos en laboratorio para determinar la permeabilidad	61
3.9. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	67
CAPÍTULO 4:	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
4.1. Conclusiones	76
4.2. Recomendaciones.....	77
Bibliografía	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coeficiente de Permeabilidad "k" en cm/s	19
Tabla 2: Características y especificaciones técnicas del geotextil no tejido utilizado para drenes, subdrenes y filtros	26
Tabla 3: Características y Especificaciones del Geodren	27
Tabla 4: Granulometría muestra N°. 1 por Lavado	34
Tabla 5: Granulometría muestra N°. 2 por Lavado	34
Tabla 6: Granulometría muestra N°. 3 por Lavado	35
Tabla 7: Resumen porcentaje de grava, arena y finos.	35
Tabla 8: Análisis del Hidrómetro.....	37
Tabla 9: Análisis granulométrico por hidrómetro muestra N°. 1	38
Tabla 10: Análisis granulométrico por hidrómetro muestra N°. 2	39
Tabla 11: Análisis granulométrico por hidrómetro muestra N°. 3	40
Tabla 12: Porcentaje que pasa en 0,002 mm de diámetro	44
Tabla 13: Simbología.....	45
Tabla 14: Clasificación SUCS	45
Tabla 15: Coeficiente de Curvatura y Uniformidad.....	45
Tabla 16: Porosidad de las tres muestras ensayadas.....	46
Tabla 17: Porosidad Eficaz	47
Tabla 18: Humedad natural de las tres muestras ensayadas	48
Tabla 19: Límites de Atterberg	49
Tabla 20: Peso específico de suelos muestra N° 1	51
Tabla 21: Peso específico de suelos muestra N° 2	52
Tabla 22: Peso específico de suelos muestra N° 3.....	53
Tabla 23: Resultados de ensayo	54
Tabla 24: Ensayo de consolidación día 1	55
Tabla 25: Ensayo de consolidación día 2.....	56
Tabla 26: Ensayo de consolidación día 3.....	56
Tabla 27: Ensayo de consolidación día 4.....	57
Tabla 28: Ensayo de consolidación día 5.....	57
Tabla 29: Permeabilidad por ensayo de consolidación	60

	xi
Tabla 30: Valores	65
Tabla 31: Permeabilidad sin geotextil muestra N°.1	65
Tabla 32: Permeabilidad con geotextil muestra N°.2.....	65
Tabla 33: Permeabilidad con geotextil muestra N°. 3.....	66
Tabla 34: Permeabilidad con geotextil muestra N°. 4.....	66
Tabla 35: Gradiente hidráulico y velocidad de descarga.....	66
Tabla 36: Granulometría material de filtro Clase 1 Tipo A.....	68
Tabla 37: Granulometría material de filtro Clase 1 Tipo B.....	68
Tabla 38: Granulometría material de filtro Clase 2	70
Tabla 39: Permeabilidad con geotextil sin geotextil.....	72
Tabla 40: Permeabilidad Ensayo de Consolidación	73
Tabla 41: Permeabilidad con porcentaje pasa tamiz N° 200	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sección transversal de una presa de materiales sueltos	5
Figura 2: Presa homogénea.....	6
Figura 3: Presas Zonadas.....	7
Figura 4: Presas con Pantalla	7
Figura 5: Filtración a través de una presa de tierra.....	9
Figura 6: Presa homogénea sin drenaje interno	9
Figura 7: Experimento de la Ley de Darcy de un flujo laminar en un medio poroso.	12
Figura 8: Ley de Darcy a escala macroscópica ya que las velocidades microscópicas son muy difíciles de medir.	13
Figura 9: Separación de dos capas de suelo	29
Figura 10: Geotextil como filtro	30
Figura 11: Drenaje	30
Figura 12: Refuerzo de suelo.....	31
Figura 13: Protección de Talud	32
Figura 14: Equipo granulometría por Sedimentación	36
Figura 15: Curva granulométrica por lavado y sedimentación muestra N°.1	41
Figura 16: Curva granulométrica por lavado y sedimentación muestra N°. 2	42
Figura 17: Curva granulométrica por lavado y sedimentación muestra N°.3	43
Figura 18: Porosidad de 3 muestras ensayadas.....	47
Figura 19: Equipo Ensayo Gravedad Específica.....	50
Figura 20: Tiempo Vs. Asentamiento día 1	58
Figura 21: Tiempo Vs. Asentamiento día 2.....	58
Figura 22: Tiempo Vs. Asentamiento día 3	58
Figura 23: Tiempo Vs. Asentamiento día 4.....	59
Figura 24: Tiempo Vs. Asentamiento día 5.....	59
Figura 25: Relación de vacíos Vs. Presión	61

	xiii
Figura 26: Permeabilidad Carga Constante	62
Figura 27 Equipo permeabilidad carga constante	64
Figura 28: Gradiente hidráulico Vs. Velocidad de descarga	67
Figura 29: Granulometría comparativa entre Filtro tipo A NEVI-12 y arcillas del núcleo presa Río Grande	69
Figura 30: Granulometría comparativa entre Filtro tipo B NEVI-12 y arcillas del núcleo presa Río Grande	69
Figura 31: Granulometría comparativa entre Filtro clase 2 NEVI-12 y arcillas del núcleo presa Río Grande	70
Figura 32: Carta de Plasticidad.....	71
Figura 33: Variación de valores de Permeabilidad con geotextil sin geotextil y consolidación.....	73
Figura 34: Permeabilidad en el tiempo	75

RESUMEN

Actualmente los proyectos de construcción en el Ecuador están orientados por el plan del buen vivir, dentro del que se destacan las obras de propósito múltiple, como es la construcción del Proyecto Multipropósito Chone destinado a almacenar grandes volúmenes de agua con fines de desarrollo urbano y agrícola. El proyecto ubicado en el cantón Chone en la provincia de Manabí incluye como su principal elemento la presa Río Grande. La demanda para cubrir necesidades como el acceso permanente a agua de calidad para el consumo humano, agua para riego y al mismo tiempo evitar posibles riesgos de inundación en época de lluvias, obliga a la construcción de estructuras hídricas de gran tamaño con mayor frecuencia. Esto a su vez requieren solucionar problemas específicos de erosión y de filtración los cuales han dado lugar en los últimos años a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de protección como los geotextiles usados como estructuras filtrantes. En la presente investigación se desea demostrar que la tecnología de los geotextiles puede ser usada como filtro en presas de materiales sueltos. En los ensayos de laboratorio se usaron muestras de suelo tomadas del núcleo de la presa Río Grande, las mismas que cumplieron satisfactoriamente los requerimientos planteados al inicio de la presente investigación. El análisis granulométrico, ensayos de humedad, límites de Atterberg, gravedad específica y permeabilidad fueron realizados siguiendo la normativa ASTM. La influencia del geotextil en el funcionamiento del núcleo de la presa se fue determinada utilizando un permeámetro de carga constante y se ensayó tres muestras con geotextil, y una muestra sin geotextil.

PALABRAS CLAVES:

- **PRESA DE MATERIALES SUELTOS**
- **GEOTEXTIL**
- **NUCLEO**
- **PERMEABILIDAD**
- **FILTRACIÓN**

ABSTRACT

Currently construction projects in Ecuador are targeted by the good living plan, within which highlights the works of multi purpose, such as the construction of the Chone Multi-purpose Project for storing large volumes of water for urban development and agricultural ends. The project located in the canton Chone in the province of Manabí includes the Rio Grande dam as its main element. The demand to cover needs as the permanent access to quality water for human consumption, irrigation water and at the same time to avoid possible risks of flooding in the rainy season, forces to the construction of water structures of great size with increasing frequency. At the same time this require to solve specific problems of erosion and filtration which have led in recent years to research and development of new protection technologies such as geotextiles used as filter structures. In this research it wants to show that geotextiles technology can be used as a filter in loose materials dams. In laboratory tests soil samples taken from the core of the Rio Grande dam were used, the same ones that satisfactorily met the requirements raised at the beginning of this investigation. The sieve analysis, moisture tests, Atterberg limits, specific gravity and permeability were performed in accordance with the ASTM standards. The influence of the geotextile in the operation of the dam core was determined using a constant head permeameter and three samples with geotextile, and one sample without geotextile.

KEYWORDS:

- **LOOSE MATERIALS DAM**
- **GEOTEXTILE**
- **CORE**
- **PERMEABILITY**
- **FILTRATION**

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Actualmente los proyectos de construcción en Ecuador está orientado por el plan del buen vivir, como la realización de proyectos de propósito múltiple, entre ellos destaca, la construcción de la presa Río Grande en el cantón Chone provincia de Manabí.

La ciudad de Chone, se encuentra ubicada en la parte occidental del Ecuador en la provincia de Manabí (costa ecuatoriana), con coordenadas: 601512 E, 9923462 N, zona 17-Sur (WGS84), limita al norte con la provincia de Esmeraldas y el cantón Pedernales; al sur con los cantones de Pichincha, Bolívar y Tosagua; al este con El Carmen, Flavio Alfaro y la provincia de Los Ríos; y, al oeste con los cantones Sucre, Jama y Pedernales.

Los graves efectos de la época lluviosa, en especial cuando aparece el fenómeno de “El Niño”, dejan en evidencia la vulnerabilidad de las estructuras y de la población, principalmente ante los fenómenos como las inundaciones, debido al insuficiente conocimiento del peligro existente, siendo otro elemento impulsor el bajo control municipal en estos sitios, que permite la ocupación indiscriminada del suelo (INAMHI, 2008).

La construcción del embalse de la represa Río Grande está destinado a regular los caudales del río con una triple finalidad: disminuir los riesgos de inundación de la ciudad de Chone, asegurar el abastecimiento de agua potable a la población, y satisfacer la demanda de agua para una zona de riego de aproximadamente 2200 ha. (MCPEC, 2011)

Uno de los problemas en las presas de materiales sueltos es la filtración de aguas, por lo que se deben utilizar diferentes capas de materiales

graduados en las presas, para evitar que los finos del núcleo de la presa sean arrastrados por el agua filtrada. Una de las capas de materiales que componen los filtros son de arena, y en remplazo de esta capa actualmente se utilizan geotextiles, por lo que se plantea la necesidad de investigar que tanto influye la presencia del geotextil en las condiciones de permeabilidad del material del núcleo con el filtro.

1.2. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Investigar la permeabilidad del material arcilloso que conforma el núcleo de la presa Río Grande del Cantón Chone, provincia de Manabí, conjuntamente con el uso de geotextil como filtro.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características físicas, porosidad y permeabilidad de los materiales que conforman el núcleo de la presa.
- Determinar las características hidráulicas de permeabilidad del geotextil.
- Establecer las características de permeabilidad del material del núcleo en trabajo conjunto con el geotextil.
- Análisis de resultados.

1.3. Justificación

La construcción de la presa Río Grande reducirá la vulnerabilidad ante inundaciones que azotan las áreas productivas, almacenara volúmenes importantes de agua con fines de desarrollo urbano, y agrícola. Estas necesidades obligan a las autoridades respectivas a construir con mayor frecuencia represas de grandes dimensiones para el país.

La tecnología de los geotextiles se ha convertido en una alternativa para solucionar los problemas de filtración, erosión, estabilización de suelos y su implementación se ha hecho en la mayoría de los casos de forma empírica aplicando resultados obtenidos en proyectos anteriores o siguiendo recomendaciones de las empresas fabricantes de geotextiles.

Con el presente estudio, se pretende demostrar que la tecnología de los geotextiles pueden ser utilizados como una opción a las soluciones ingenieriles tradicionales para asegurar que los finos del núcleo no pasen al sistema de drenaje y se produzca la pérdida de las condiciones estructurales y permeables del suelo, obteniendo beneficios en la eficiencia de la presa.

CAPÍTULO 2

GENERALIDADES

2.1. Presas

Una de las principales actividades de la ingeniería civil es la construcción de presas. Todas las grandes civilizaciones se han caracterizado por la construcción de embalses de almacenamiento para suplir sus necesidades humanas requeridas para el desarrollo y expansión de la agricultura organizada. Al operar en las condiciones de restricción impuestas por circunstancias locales, especialmente de clima y topografía, el poderío económico de las civilizaciones sucesivas estaba ligado a la experiencia y conocimientos en materia de ingeniería de recursos hidráulicos. La prosperidad, la salud y el progreso material se ligaron cada vez más a la habilidad de almacenar y conducir el agua.

El propósito principal de una presa se puede definir como el de proveer retención y almacenamiento de agua de una manera segura. Si los efectos de sedimentación o limitaciones similares, dependientes del tiempo en su utilidad operacional, no se toman en cuenta, no hay un periodo de diseño estructural nominal para las presas. Como resultado de este hecho, cualquier presa debe representar una solución de diseño específica para las circunstancias del lugar. Por tanto, el diseño debe representar un equilibrio óptimo entre las consideraciones técnicas locales y las económicas en el momento de la construcción (Novak, Moffat, & Nalluri, 2001).

Presa de Materiales Suelos

La principal característica de una presa de materiales sueltos es el tipo de material utilizado para su construcción. En principio, la gran mayoría de materiales geológicos son aceptables, excepto los que se pueden alterar,

disolver o evolucionar modificando sus propiedades. El sistema de construcción consiste en la compactación de materiales dispuestos por tongadas (González, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

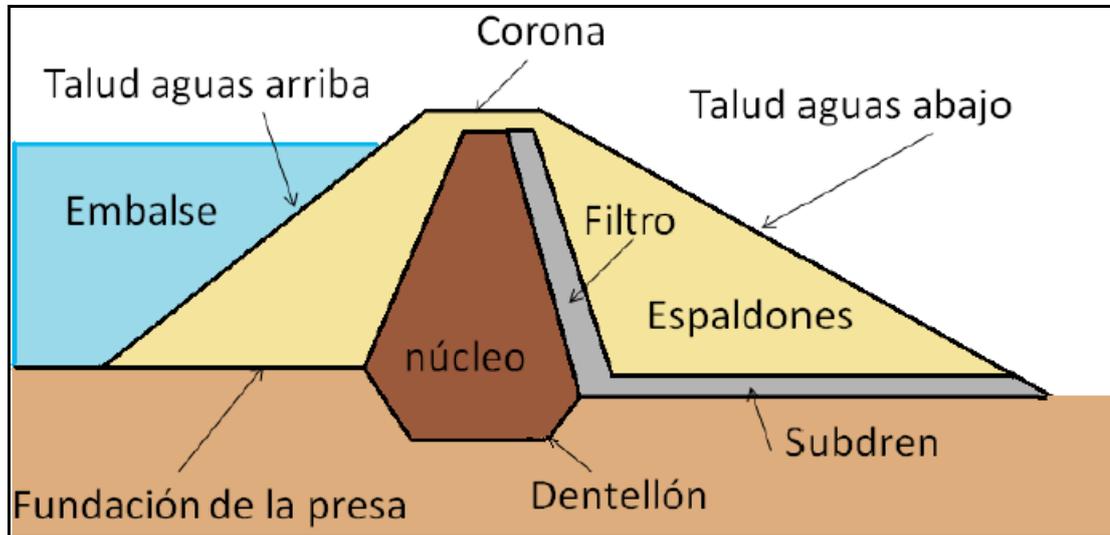


Figura 1: Sección transversal de una presa de materiales sueltos
Fuente: (Sandoval, 2015)

Condiciones para presas de materiales sueltos

El criterio más influyente en las presas de materiales sueltos es la disponibilidad de materiales. Los núcleos impermeables precisan suelos de baja permeabilidad (en general inferior a 10^{-5} cm/s) y se descartan los suelos colapsables, orgánicos solubles y de alta plasticidad.

El entorno geológico habitual donde se sitúan estas presas puede responder a formaciones sedimentarias, suelos aluviales, arcillas sobreconsolidadas o rocas blandas. Se deben descartar los materiales erosionables, dispersivos y solubles, y los de alta permeabilidad (González, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

2.2. Clasificación de presas de materiales sueltos

2.2.1. Presas de sección Homogénea

Se caracteriza porque toda la sección transversal está constituida con materiales que presentan la misma distribución de granos y permeabilidad en todo el cuerpo de la presa. Esta suele ser la solución más económica si se dispone de materiales finos, de suficiente calidad y en cantidad ilimitada (González, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

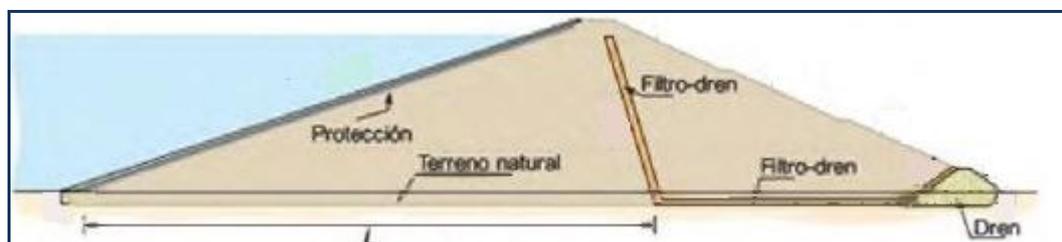


Figura 2: Presa homogénea

Fuente: (González, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

2.2.2. Presas Zonadas con núcleo impermeable de arcilla

Constan de dos o más tipos de materiales. La zona de menor permeabilidad o núcleo ejerce las funciones de elemento impermeable. La anchura del núcleo y su posición dentro de la sección, respecto al resto de los materiales o espaldones, pueden ser muy diversos.

Este tipo de presa se construye cuando se dispone de una cantidad limitada de materiales finos de adecuada calidad y hay abundancia de material rocoso. Aguas arriba se construye con material fino impermeable completado con capas sucesivas de material grueso permeable. Ambas zonas deben estar separadas por filtros de transición, que pueden fabricarse con geotextiles apropiados (González, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

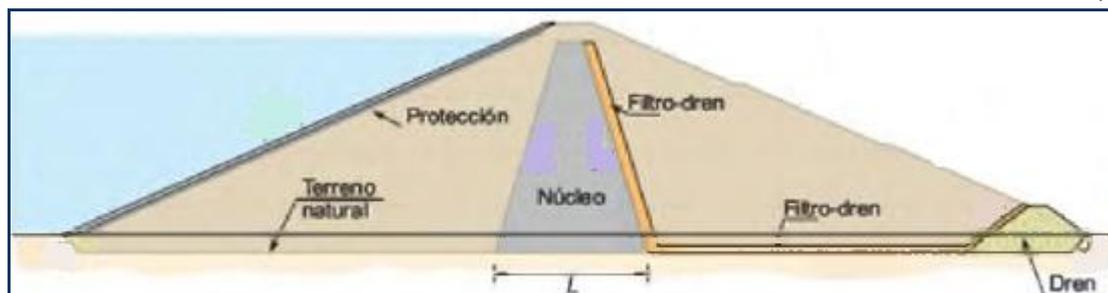


Figura 3: Presas Zonadas

Fuente: (González, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

2.2.3. Presas de Pantalla

El elemento impermeable consiste en una pantalla relativamente delgada o lámina. Los materiales más empleados para pantallas son hormigones asfálticos, hidráulicos, materiales poliméricos o bituminosos, entre otros (González, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

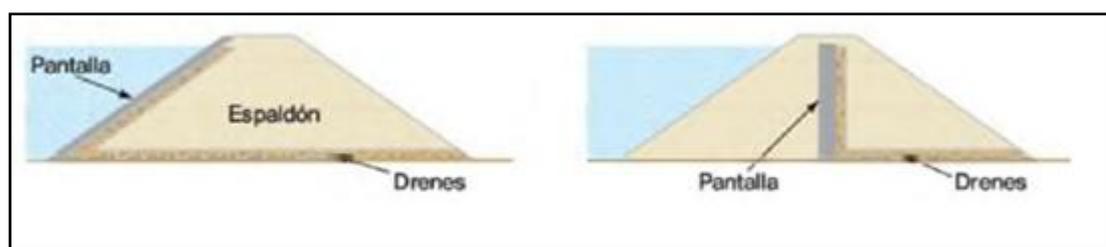


Figura 4: Presas con Pantalla

Fuente: (González, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

Filtraciones

La filtración varía mucho, según la naturaleza del suelo, la vegetación y la estación. Un suelo arenoso y desnudo puede absorber del 30% al 60% del agua lluvia caída. El mismo terreno arenoso recubierto de vegetación, solo deja filtrar el 10%, exclusivamente durante el otoño y el invierno.

Un suelo calizo con muchas fisuras y desnudo es muy permeable, absorbe directamente el agua de escorrentía y el coeficiente de filtración oscila entre el 33% y el 90%, con una media del 70%. Un terreno arcilloso por el contrario, es impermeable y no deja que el agua filtre.

Además de los poros están las fisuras, diaclasas, huecos, que representan posibilidades de filtración rápida. Las rocas consideradas muy permeables son las calizas. Las rocas que simplemente son porosas y permeables podrán producir mantos de agua subterránea las rocas con fisuras y muy permeables podrán dar lugar a corrientes de agua subterráneas (Escobar, 2002).

Filtración a través de una presa de tierra

En la figura 5 se indica la sección transversal de una presa de tierra cimentada sobre un terreno impermeable. Se ha dibujado también la red de flujo para un régimen de filtración establecido a través de la presa. La línea AB es la equipotencial de aguas arriba y AD es una línea de flujo. Estas dos condiciones de contorno están claramente determinadas. La línea BC es una línea de flujo límite y tiene la característica especial de que en todos los puntos de la misma la carga de presión es nula, es por tanto una línea freática. De aquí que la diferencia de carga total entre dos equipotenciales debe ser igual a la diferencia de altura entre los puntos en que tales equipotenciales cortan la línea de corriente superior. BC es una línea de flujo en la cual la carga total es igual a la carga de altura. La posición de esta línea superior no se conoce hasta que no se ha dibujado la red de flujo. La línea CD no es equipotencial ni de flujo, pero en cualquier punto de ella, la carga total es igual a la altura (Lambe & Whitman, 1991).

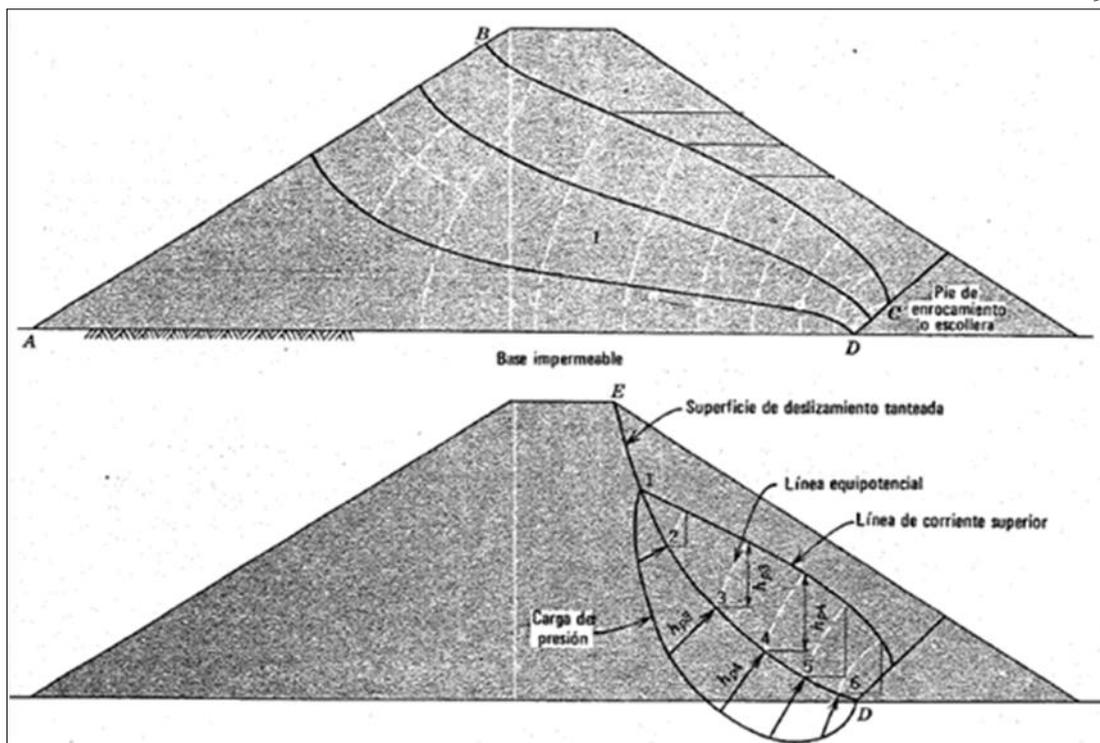


Figura 5: Filtración a través de una presa de tierra
Fuente: (Lambe & Whitman, 1991)

Si no hubiera un pie de enrocamiento en la presa de la figura 5, la línea de corriente superior, o línea de saturación, terminaría en el talud de aguas debajo de la presa como se indica en la figura 6. El talud AB se erosionaría gradualmente (el agua que brotase arrastraría partículas de suelo con ella).

Este proceso podría producir eventualmente la ruina total de la presa. Con el fin de evitar una falla de este tipo es necesario drenes que hagan descender la posición de la línea de saturación (Lambe & Whitman, 1991).

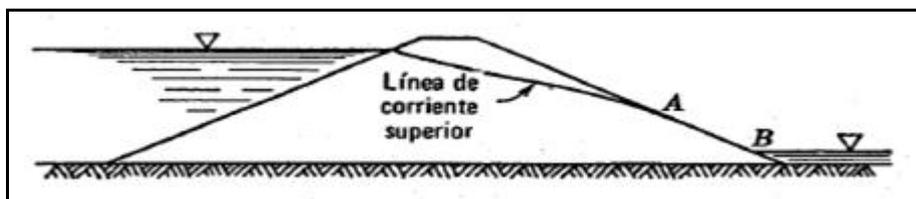


Figura 6: Presa homogénea sin drenaje interno
Fuente: (Lambe & Whitman, 1991)

Filtros y Drenes

Los Filtros y Drenes se utilizan para evitar el paso de las partículas finas de los materiales contiguos y permitir el drenaje. Los volúmenes requeridos suelen ser muy inferiores con respecto al resto de materiales, aunque sus especificaciones son mucho más exigentes, en cuanto a propiedades y granulometrías.

Los materiales para filtros y drenes deben ser granulares, con un criterio granulométrico muy estricto definido en normas, con ausencia de finos, alta resistencia y naturaleza inalterable. Pueden proceder de depósitos naturales o de machaqueo (González, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

Requisitos de Materiales Filtrantes

Para las presas de materiales sueltos y otras obras Terzaghi investigó los requerimientos de los materiales de filtro. El filtro debe satisfacer tres características principales en relación con el material a filtrar.

- Retención del Suelo: $\frac{D_{15} \text{ Filtro}}{D_{85} \text{ Suelo}} < 5$
- K filtro > K suelo: $4 < \frac{D_{15} \text{ Filtro}}{D_{15} \text{ Suelo}} < 20$
- Estabilidad del filtro: $\frac{D_{50} \text{ Filtro}}{D_{50} \text{ Suelo}} < 25$

Donde D_{15} , D_{50} , D_{85} representan el tamaño de partícula correspondiente al porcentaje que pasa en peso al 15%, 50% y 85%. (Covo, 2003)

Flujo Laminar y Turbulento

El flujo **turbulento** se caracteriza por un movimiento caótico e irregular de las partículas del fluido y por las pérdidas de energía que son aproximadamente proporcionales al cuadrado de la velocidad del flujo. Este

tipo de flujo tiene lugar a velocidades relativamente altas, en conductos de gran diámetro, como los tubos que conducen agua o aire.

En el flujo ***laminar*** las partículas se mueven en forma suave y en ordenada procesión en la dirección del flujo y las pérdidas de energía son proporcionales a la velocidad. El flujo laminar tiene lugar a bajas velocidades, en conductos pequeños y es el característico de todos los suelos, excepto las gravas más gruesas (Sowers & Sowers, 1972).

2.3. Ley de Darcy

En un medio homogéneo e isótropo y con flujo en régimen laminar, Darcy dedujo experimentalmente la ley del flujo que lleva su nombre y que ha sido repetidamente confirmada por otros investigadores. Refiriéndonos a la figura 7 se trata de establecer el movimiento del agua que atraviesa el medio poroso contenido en un tubo de sección transversal ***A*** y longitud ***L*** cuando la diferencia de niveles del agua entre la entrada y la salida es **Δh** . Refiriéndonos a la velocidad de agua (***v***) se comprueba que:

$$v = k * \frac{\Delta h}{L} = k * i$$

Llamando ***i*** al gradiente hidráulico. Quiere ello decir que esta velocidad es proporcional al gradiente y la razón de esta proporcionalidad, ***k***, se llama conductividad hidráulica o permeabilidad y que depende o es característica del medio poroso que atraviesa la corriente, de la viscosidad y peso específico del agua.

El caudal que circula por el tubo de sección A será:

$$Q = v * A = k * A * i$$

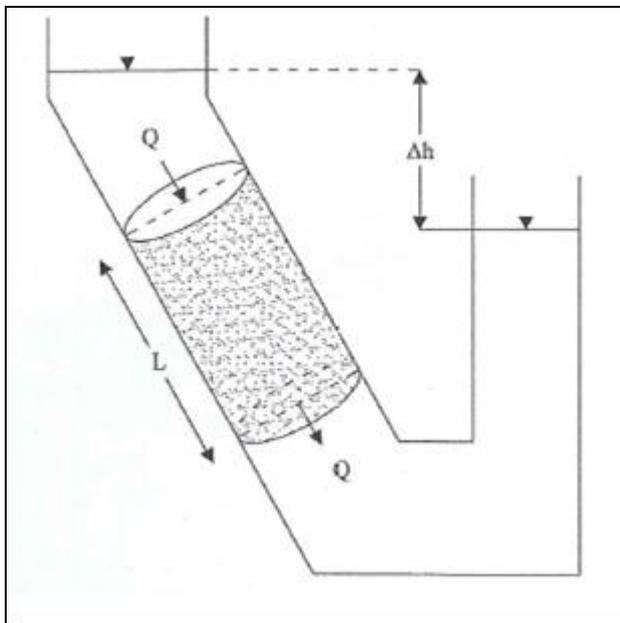


Figura 7: Experimento de la Ley de Darcy de un flujo laminar en un medio poroso.

Fuente: (Pérez & Menéndez, 2014)

Esta es la ley de Darcy, una ley macroscópica que representa el comportamiento medio del flujo en un número elevado de poros y permite tratar el flujo subterráneo como un flujo no viscoso ya que no tiene en cuenta, en modo alguno, el comportamiento del agua dentro de cada poro figura 8. El que intervenga un número elevado de poros quiere decir que en dicha ley sólo actúan las fuerzas viscosas y no será válida cuando deje de ser laminar y pase a ser turbulento (Pérez & Menéndez, 2014).

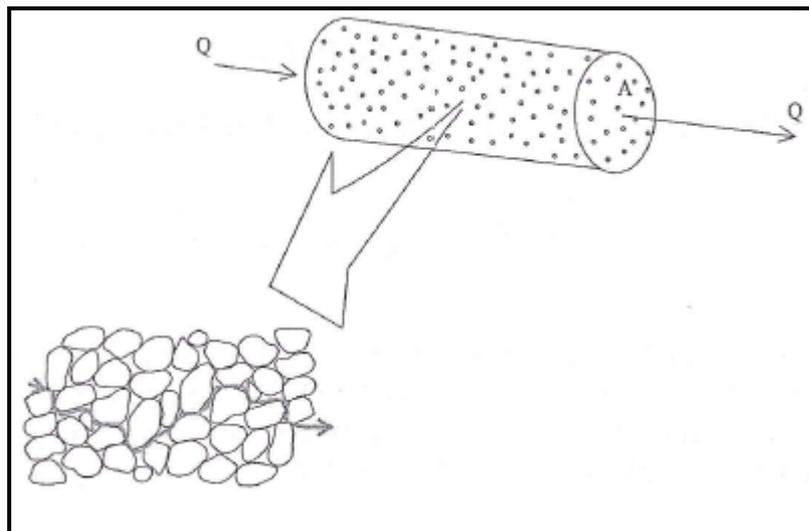


Figura 8: Ley de Darcy a escala macroscópica ya que las velocidades microscópicas son muy difíciles de medir.

Fuente: (Pérez & Menéndez, 2014)

La ley de Darcy es únicamente válida para el caso en que el régimen sea laminar. Para evaluar si el régimen es realmente laminar hay que acudir al denominado número de Reynolds que representa la relación entre las fuerzas de inercia y viscosas en el seno de un fluido.

$$R_e = \frac{\rho * v * d}{\mu}$$

Dónde:

v = velocidad del fluido

d = tamaño medio de las partículas

ρ = densidad del fluido

μ = viscosidad dinámica

Un valor del número de Reynolds comprendido entre 1 y 10 denota un régimen laminar en el que puede considerarse aplicable la ley de Darcy, aunque es particularmente fiable para valores inferiores a 4 (González, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

Velocidad de Darcy y Velocidad Real

La ley de Darcy (V_d) calculada según su ley $Q = k * A * i$ da $V_d = \frac{Q}{A} = k * i$. Esta por tanto referida a la sección total A del tubo acuífero (sólidos y espacios vacíos). Es una velocidad macroscópica que podemos medir, pero en realidad las aguas subterráneas circulan únicamente a través de los poros de las rocas y por consiguiente la sección que atraviesa el flujo se refiere a los espacios vacíos (figura 8). Se puede pensar que esta sección de huecos es $A * m$, pero ya se ha demostrado que el agua gravífica únicamente puede circular por los espacios libres que deja la porosidad eficaz (m_e) y por tanto la sección eficaz del flujo será $A * m_e$. De acuerdo a ello se tendrá la siguiente expresión para velocidad real o efectiva (V_e).

$$V_e = \frac{Q}{A * m_e} = \frac{k * i}{m_e} = \frac{V_d}{m_e}$$

Estas dos velocidades, de Darcy (V_d) y real o efectiva (V_e), deben precisarse netamente en las cuestiones que intervengan a fin de evitar errores. La primera es calculada por la ley de Darcy, cuando se conocen k e i y sirva para medir caudales de agua. En cambio la segunda, que es la velocidad real efectiva del agua o de las sustancias disueltas en ella como pueden ser contaminantes, se puede medir directamente a través de los denominados trazadores. (Pérez & Menéndez, 2014)

2.4. Permeabilidad

La permeabilidad de los suelos depende de varios factores; viscosidad del fluido, distribución del tamaño de los poros, distribución granulométrica, relación de vacíos, rugosidad de las partículas minerales y grado de saturación del suelo. En suelos arcillosos, la estructura juega un papel importante en la permeabilidad. Otros factores mayores que afectan la permeabilidad de las arcillas son la concentración iónica y el espesor de las capas de agua adheridas a las partículas de arcilla. (Braja M. D., 2001)

2.5. Factores que afectan el coeficiente de permeabilidad.

2.5.1. Relación de vacíos

Es posible analizar teóricamente la variación de la permeabilidad de un suelo respecto a su relación de vacíos, siempre y cuando se adopten para el suelo hipótesis simplificadas que permita que las conclusiones del análisis den información cualitativa correcta. La permeabilidad puede escribirse en forma desplegada como:

$$k = k' * F(e)$$

Dónde:

k' es una constante real dependiente de la temperatura del agua solamente, que representa la permeabilidad para $e=1.0$ y $F(e)$ una función de la relación de vacíos tal que $F(1)=1$, para fines prácticos la función más simple es del tipo:

$$F(e) = e^2 \text{ para arenas, } \quad y$$

$$F(e) = C_3(e - e_0)^2 \text{ para arcillas.}$$

Dónde:

C_3 es una constante de ajuste para cumplir las condiciones particulares arriba mencionadas y $e - e_0$ es la “relación de vacíos efectiva” desde el punto de vista del espacio que efectivamente se tiene para el flujo del agua (Badillo & Rodríguez, 1992).

2.5.2. Temperatura del agua

Realizando un análisis teórico, puede verse que al variar la temperatura manteniendo los demás factores constantes, existe la relación:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{\nu_1}{\nu_2}$$

Dónde:

ν = viscosidad cinemática del agua.

$$v = \frac{\eta}{\rho} = \frac{\eta g}{\rho \gamma_w}$$

Para comparar fácilmente los resultados de las pruebas de permeabilidad es conveniente referirnos a una temperatura constante, normalmente a 20°C. Indicado por el subíndice **T** los resultados obtenidos a la temperatura de la prueba, la referencia se hace aplicando la siguiente relación.

$$k_{20} = k_T \frac{v_T}{v_{20}}$$

Dónde:

K_{20} = Coeficiente de permeabilidad a la temperatura de a 20°C

K_T = Coeficiente de permeabilidad a la temperatura de ensayo

v_{20} = viscosidad cinemática del agua a 20°C

v_T = viscosidad cinemática del agua a la temperatura de ensayo.

Experimentalmente se ha encontrado que la ecuación $\frac{k_1}{k_2} = \frac{v_1}{v_2}$ es correcta para arenas, habiéndose encontrado pequeñas desviaciones en arcillas.

Para aplicar la ecuación $v = \frac{\eta}{\rho} = \frac{\eta g}{\rho \gamma_w}$ se recomienda usar un diagrama que muestre la relación entre la temperatura **T** de prueba y el coeficiente $\frac{v_T}{v_{20}}$ (Badillo & Rodríguez, 1992).

2.5.3. Estructura y estratificación

El coeficiente de permeabilidad de un suelo inalterado es diferente al del mismo suelo remoldeado, cambia su estructura y estratificación. En remoldeados quedan libres partículas del suelo y que el agua al fluir las mueve y reacomoda obstruyendo los canales, en otras ocasiones estas partículas son arrastradas al exterior de la muestra causando la turbidez del agua a la salida. En este caso el coeficiente de permeabilidad varía durante el ensayo, esta condición inestable es el resultado de la mezcla de materiales provenientes de estratos de características diferentes esta condición es casi inevitable al probar muestras remoldeadas. Los fenómenos

de formación de natas internas en los poros y la segregación de burbujas de aire, tienen efectos similares y difíciles de distinguir entre sí a menos que el carácter del suelo garantice que no pueden formarse esas natas limosas. Los suelos con coeficiente de permeabilidad entre 10^{-5} y 10^{-3} cm/s son los que presentan el peligro de permitir el desplazamiento de las partículas por efecto de las fuerzas de filtración.

Para suelos estratificados es preciso determinar la permeabilidad tanto en dirección paralela como normal a los planos de estratificación, para estratos gruesos puede determinarse la permeabilidad para cada estrato más o menos homogéneo y así poder calcular la permeabilidad medio en cada dirección para la combinación de estratos (Juárez Badillo 1992).

2.5.4. Agujeros y fisuras

Por causas de heladas, ciclos alternados de humedecimiento y secado, efectos de vegetación y pequeños organismos, etc., pueden cambiar las características de permeabilidad de los suelos, convirtiéndose aun la arcilla más impermeable en material poroso. (Badillo & Rodríguez, 1992)

2.5.5. Tamaño de las partículas

El tamaño de las partículas del suelo afecta la permeabilidad del mismo, la ley de Poiseuille, demuestra que la velocidad promedio a través de un tubo capilar es proporcional al cuadrado del diámetro del tubo. Por lo tanto, análogamente, es razonable esperar que la velocidad de filtración a través de un suelo conocido y el coeficiente de permeabilidad de ese suelo, sean proporcionales al cuadrado de la dimensión promedio del poro, el que a su vez puede vincularse al tamaño de los granos, relacionando estos últimos con el coeficiente de permeabilidad (Taylor, 1961).

$$V_{prom} = \frac{\rho * D^2}{32 * \eta}$$

Dónde

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

ρ = densidad del agua en, gr/cm³

D = diámetro del tubo en, cm

η = viscosidad del agua en, gr * s/cm²

2.5.6. Aire encerrado

Aun cuando el termino coeficiente de permeabilidad en el sentido estricto de la palabra se refiere a la condición de suelos saturados, los suelos en su condición natural, contienen pequeñas cantidades de gas encerrado u ocluido. Más aún, las muestras de laboratorio contienen frecuentemente mayores cantidades de gas, debido a que el suelo lo adquiere con facilidad, a menos que se tomen una serie de precauciones durante el muestreo, el envío y la preparación de muestras.

El gas encerrado, en pequeñas cantidades, tiene un efecto marcado en el coeficiente de permeabilidad. Por tanto para obtener una información correcta, se debe estar seguro de que el contenido de gas en la muestra, es igual al contenido en el estado natural del suelo o al contenido que se espera que el suelo tenga en el futuro cercano (Taylor, 1961).

Valores de Coeficiente de Permeabilidad

Los valores de coeficiente de permeabilidad (k) es muy amplio para gravas de granos gruesos, hasta un valor insignificante para las arcillas. En la (tabla 1) se muestran los valores promedio de permeabilidad (k) para los diferentes tipos de suelos.

Tabla 1
Coeficiente de Permeabilidad "k" en cm/s

	10 ²	10 ¹	10	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Propiedad de Drenaje	Buen Drenaje						Mal Drenaje		Prácticamente Impermeables			
Aplicación en Presas de Tierra y Diques	Secciones Permeables de Presas y Diques						Secciones Impermeables de Presas de Tierra y Diques					
Tipos de Suelo	Grava Limpia		Arenas Limpias Mezclas de Grava y Arenas Limpias			Arena muy Fina, Limos Orgánicos e Inorgánicos. Mezclas de Arena, Limo y Arcilla. Morena Glacial. Depósitos de Arcilla Estratificados, etc.			Suelos "Impermeables" Arcillas Homogéneas abajo de la zona de intemperismo			
					Suelos "Impermeables" que han sido modificados por los efectos de la vegetación y del intemperismo							

Fuente: (Badillo & Rodríguez, 1992)

2.6. Geosintéticos

Geosintético es un producto en el que, por lo menos, uno de sus componentes es a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de filtro, manto, lámina o estructura tridimensional, usada en contacto con el suelo o con otros materiales dentro del campo de geotecnia o de la ingeniería civil (PAVCO, 2012).

Clasificación de los Geosintéticos

Los geosintéticos se clasifican según el uso para el cual se lo requiera, principalmente para refuerzo de subrasantes en pavimentos, construcción de muros de contención y para materiales de filtro.

En los filtros de agregados gruesos tamaños $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ " se los usa para recubrir la excavación y evitar la colmatación del filtro por causas del flujo de los finos tamaño limo y arcilla hacia el agregado grueso.

En el caso de suelo compactado para presas la función de las geomallas es para aumentar la resistencia al corte del suelo compactado, y en el caso de geotextiles para evitar la colmatación por viaje de finos

transportados por el agua hacia los agregados más gruesos, conservando o disminuyendo la permeabilidad en el caso de suelos arcillosos compactados.

La permeabilidad redundará en beneficio del comportamiento del núcleo de la presa, conservando la condición inicial del suelo compactado, para la presente investigación suelo tipo **CH**.

A continuación se presenta una descripción breve de geosintéticos.

Geomallas

Son estructuras planas formadas por una red rectangular (grilla) de elementos conectados integralmente, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante.

Las geomallas tienen como mecanismo fundamental de funcionamiento la fricción, pudiendo contar para algunos tipos de grillas, con el efecto confinamiento de las partículas del suelo que se alojan en sus aberturas (GEOSINTÉTICOS, 2007).

Funciones:

Las geomallas están destinadas principalmente al refuerzo de suelos o están comprometidas en alguna forma de soporte.

El principio básico de funcionamiento se basa en la utilización de polímeros molecularmente orientados, endurecidos por trabajos en frío, para lograr elevados módulos de rigidez y niveles de "creep" o "fluencia lenta", aceptables para el diseño. Además, el tamaño de sus celdas permite evitar el deslizamiento de las láminas confinadas en suelos de adecuada granulometría, por el efecto de anclaje que logran las gravas al interceptar las aperturas.

Cumple funciones de separación o traba entre diversas capas de material, pero usualmente con gravas muy gruesas y materiales con

partículas de tamaño grande debido a que las geomallas tienen aberturas que varían de 10 a 100 mm. Estos agujeros son elipses alargadas, cercanamente cuadradas con esquinas redondeadas, cuadradas o rectangulares.

Aplicaciones:

- Debajo de los agregados en caminos no pavimentados.
- Bajo el balasto en construcción de vías férreas.
- Debajo de rellenos de sobrecarga o sitios de construcción temporal.
- Reparación de fallas de taludes y deslizamientos.
- Refuerzo de rellenos de terraplenes y presas de tierra.
- Como láminas de anclaje para paneles de muros de contención.
- Refuerzo de asfalto en pavimentos.
- Como inserto entre geotextiles, geomembranas o mixto.
- Estabilización de suelos de cobertura de rellenos.

Geomembranas

Es una membrana sintética de muy baja permeabilidad utilizada en contacto con un material geotécnico como revestimiento o barrera, para el control de la migración de fluidos en un proyecto estructura o sistema hecho por el hombre.

Son de óptimo comportamiento en la impermeabilización de reservorios, piscinas de tratamiento de lodos petroleros, piscinas de tratamiento de aguas servidas, rellenos sanitarios, lagunas decorativas, protección contra erosión de taludes, canales, control de evaporación y polución, etc. (GEOSINTÉTICOS, 2007).

Funciones:

Las geomembranas son monofuncionales. La función primaria de una geomembrana es como barrera hidráulica, es decir, para impermeabilizar.

Cada aplicación necesita de un cuidadoso análisis de las sollicitaciones principales (mecánicas y químicas), del tiempo de vida esperado del recubrimiento y de los costos. Definir cuál es el material adecuado que se debe usar para un proyecto en particular es la esencia del concepto de diseño.

Aplicaciones:

- Revestimientos para depósitos de agua potable, aguas de reserva, para riego, aguas industriales o aguas residuales.
- Revestimiento para canales de transporte de agua.
- Interior de presas zonificadas de tierra para control de filtración.
- Impermeabilizar interiores de túneles.
- Impermeabilizar presas de tierra y roca.
- Impermeabilizar presas de albañilería.
- Membrana impermeabilizante debajo de sobrecapas asfálticas.
- Control de suelos expansivos.

Georedes

Material geosintético consistente de sistemas paralelos de costillas integralmente conectadas, sobrepuesto a sistemas similares en ángulos variados, para permitir el drenaje planar de líquidos o gases. Las georedes están generalmente laminadas con geotextiles en una o ambas superficies y se denominan en ese caso geocompuestos de drenaje o geodrenes.

A diferencia de los geotextiles, las georedes debido a su rigidez y estructura no son deformadas apreciablemente por efecto de la carga existente sobre el revestimiento primario y por lo tanto la permeabilidad en el plano es alterada en menor grado (GEOSINTÉTICOS, 2007).

Funciones:

Las georedes son geosintéticos monofuncionales, diseñados específicamente como sistemas de drenaje. Su principal uso es bajo barreras de impermeabilización primarias, para la conducción de fugas a los sistemas de detección y colección de las mismas.

Aplicaciones:

- Drenaje de agua.
- Detrás de los muros de contención.
- Infiltración en taludes de rocas o taludes de suelos.
- Bajo los cimientos de edificios.
- Superficial en cabezales de rellenos y cerramientos.
- Manto de drenaje debajo de un relleno de sobrecarga.

Control de Erosión

Para el Control de Erosión en forma de "ingeniería" sumando varias profesiones y conocimientos en una de las especialidades de más demanda en la actualidad, sin embargo, los campesinos antepasados en todas las culturas agrícolas ya habían iniciado actividades de este tipo.

Cuando una partícula de suelo se desplaza de su lugar por un agente erosivo natural como el agua, el viento, la pisada de un animal o por un agente erosivo no natural como la intervención humana en obras de infraestructura, por la acumulación de aguas en alcantarillas o desagües concentrados definitivamente mal diseñados, por las motos haciendo cross o por mil razones más de la vida moderna, se produce EROSIÓN. Ya estamos en el momento en que deberíamos preocuparnos por adecuadas técnicas de control (GEOSINTÉTICOS, 2007).

Funciones:

Controlar con éxito la erosión del suelo y reestablecer la vegetación en proyectos que varían desde canales, taludes en carreteras, terraplenes y aeropuertos.

Anualmente se gastan billones de dólares reconstruyendo taludes, líneas costeras y dragando canales que han sido degradados severamente por lluvia, escorrentía de aguas pluviales y depósitos de sedimentos. Usando mantos antierosión se puede prevenir mucha de esta destrucción y ahorrar tiempo y dinero considerables.

Aplicaciones:

- Taludes de Carreteras.
- Taludes Empinados.
- Zanjias de Drenaje.

2.7. Geotextiles

Se define un geotextil como un tejido sintético que es lo suficientemente resistente para durar un periodo razonable de tiempo, en el ambiente del suelo hostil. Un número de telas sintéticas hecha de poliéster, nylon, polietileno y polipropileno se utilizan para mejorar el suelo de alguna manera. Las telas pueden ser tejidas o de punto en láminas y se utilizan en hojas o tiras o formados en geomallas para reforzar la masa de suelo. Pueden hacerse impermeable para su uso como estanque de residuos o revestimientos de rellenos sanitarios (Bowles, 1997).

2.6.

2.7.

2.7.1. Clasificación de Geotextiles

El geotextil es una malla formada por fibras sintéticas cuyas funciones principales se basan en su resistencia mecánica a la perforación y tracción y su capacidad drenante (PAVCO, 2012).

2.7.2. Clasificación según su método de fabricación

Geotextiles Tejidos

Son aquellos formados por cintas entrecruzadas en una máquina de tejer. Pueden ser Tejidos de calada o tricotados.

Los tejidos de calada son los formados por cintas de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal). Su resistencia a tracción es de tipo biaxial (en los dos sentidos de fabricación) y puede ser muy elevada (según las características de las cintas empleadas), su estructura es plana.

Los tricotados están fabricados con hilo entrecruzado en máquinas de tejido de punto. Su resistencia a la tracción puede ser multiaxial o biaxial según estén fabricados en máquinas tricotasas y circulares, o ketten y Raschel, su estructura es tridimensional (PAVCO, 2012).

Geotextiles No Tejidos

Están formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar, consolidándose esta estructura por distintos sistemas según cual sea el sistema empleado para unir los filamentos o fibras. Los geotextiles no tejidos se clasifican en:

- Geotextiles No Tejidos ligados mecánicamente o punzonados por agujas.
- Geotextiles No Tejidos ligados térmicamente o termosoldados.
- Geotextiles No Tejidos ligados químicamente o resinados.

Tabla 2

Características y Especificaciones Técnicas del Geotextil no Tejido utilizado para Drenes, Subdrenes y Filtros

PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	VALOR
MECÁNICAS			
Método Grab Resistencia a la Tensión Elongación	ASTM D-4632	N(lb) %	500(112) 50
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D-4833	N(lb)	270 (61)
Resistencia al Rasgado trapezoidal	ASTM D-4533	N(lb)	230 (52)
Método Mullen Burst Resistencia al Estallido	ASTM D-3786	kPa(psi)	1590 (230)
HIDRAULICAS			
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D-4751	mm (No. Tamiz)	0,18(80)
Permeabilidad	ASTM D-4491	cm/s	40×10^{-2}
Permitividad	ASTM D-4491	s^{-1}	2,7
Espesor	ASTM D-5199	mm	1,5
Retención de Asfalto	TEXAS DOT3099	l/m ² (gal/yd ²)	NA
PRESENTACIÓN			
Tipo de Polímero	Fabricante		Prolipropileno
Ancho del Rollo	Medido	m	3,8
Largo del Rollo	Medido	m	150
Área del Rollo	Calculado	m ²	525

Fuente: (NEVI-12, 2013)

Tabla 3
Características y Especificaciones del Geodren

PROPIEDAD	NORMA	UNIDAD	GEODREN TUBO CIRCULAR 100 mm	GEODREN TUBO CIRCULAR 65 mm
Método Grab Resistencia del Geotextil a la Tensión	ASTM D-4632	N (lb)	600	600
Permitividad del Geotextil	ASTM D-4491	S ⁻¹	1,6	1,6
Tasa de flujo del Geotextil	ASTM D-4491	l/min/m ²	6900	6900
Tamaño de Apertura Aparente del Geotextil	ASTM D-4751	No. Tamiz	100	100
Resistencia de la Geored a la compresión	ASTM D-1621	kPa	324	324
Transmisividad	ASTM D-4716	l/min/m	63	63
Capacidad de Flujo del Geotubo Pendiente 1%	ASTM D-4716	l/s	3,7	1,0
Peso del Geodren		kg/m	1,6	0,95
Altura del Geodren		m	1,1	1,22

Fuente: (NEVI-12, 2013)

Clasificación según su Composición

Las fibras que más se emplean son las sintéticas, siendo por ello que siempre tendemos a asociar al geotextil con fibras o filamentos sintéticos. Sin embargo al existir gran diversidad de aplicaciones, también se fabrican con fibras naturales y artificiales (PAVCO, 2012).

Fibras Naturales

Pueden ser de origen animal (lana, ceda, pelos...) vegetal (algodón, yute, coco, lino...) que se utilizan para la fabricación de geotextiles biodegradables utilizados en la revegetación de taludes, por ejemplo, en márgenes de ríos etc.

Fibras Artificiales

Son las derivadas de la celulosa. Son el rayón la viscosa y el acetato.

Fibras sintéticas

Cuando al geotextil se le exige durabilidad, se fabrica con fibras o filamentos obtenidos de polímeros sintéticos. Los geotextiles fabricados con estos polímeros son de gran durabilidad y resistentes a los ataques de microorganismos y bacterias, los más empleados son el polipropileno, poliéster, poliamida y poliacrílico.

2.8. Propiedades de los Geotextiles

2.8.1. Separar

Esta función consiste en la separación de dos capas de suelo de diferentes propiedades geomecánicas (granulometría, densidad, capacidad, etc.) evitando permanentemente la mezcla de material.

El Geotextil se traduce en una barrera para migración de partículas entre dos tipos de suelo, facilitando la transmisión de agua. Se requiere entonces un Geotextil que retenga las partículas de suelo, evite el lavado de finos por la acción del agua y que cumpla con las resistencias necesarias para mantener la continuidad sin que ocurra ninguna falla por tensión, punzonamiento o bajo concentraciones de esfuerzos locales causados por irregularidades en el suelo de fundación (PAVCO, 2012).

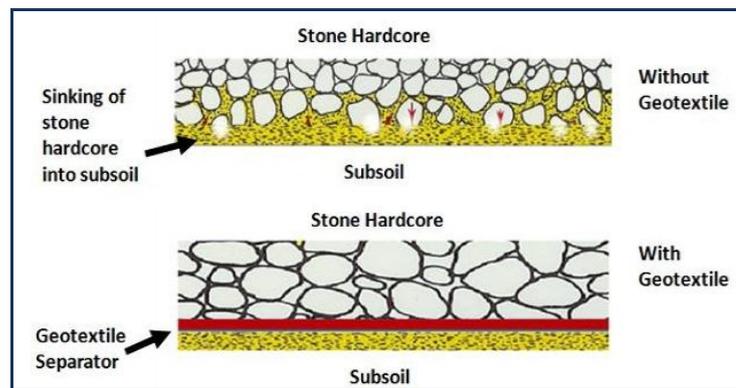


Figura 9: Separación de dos capas de suelo

2.8.2. Filtrar

Esta función impide el paso a través del geotextil de determinadas partículas del terreno (según sea el tamaño de dichas partículas y el del poro del geotextil) sin impedir el paso de fluidos o gases. En la práctica se utiliza el geotextil como filtro en muchos sistemas de drenaje. En los embalses con sistema de drenaje en la base, a fin de localizar posibles fugas, se utiliza como filtro en los tubos de drenaje a fin de evitar el taponamiento de los orificios de drenaje de dichos tubos (PAVCO, 2012).

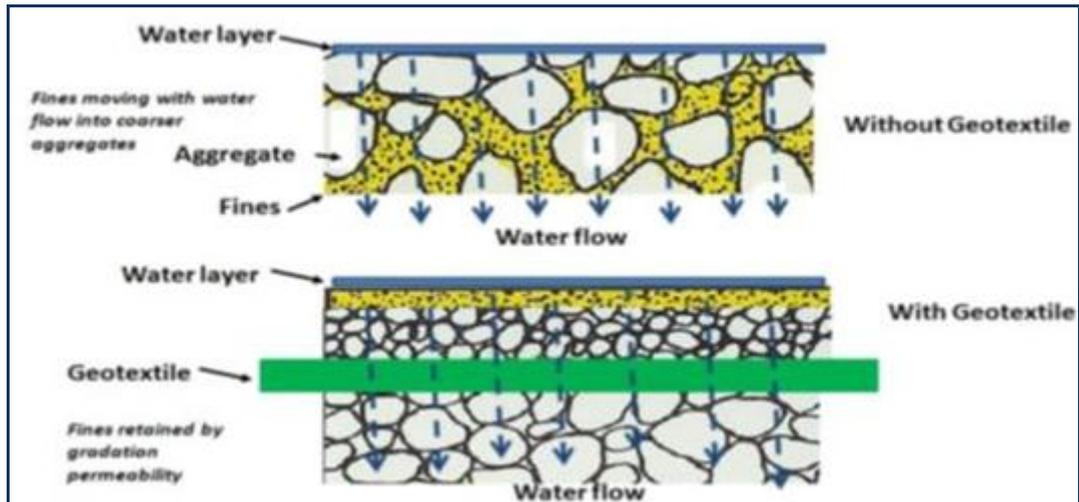


Figura 10: Geotextil como filtro

2.8.3. Drenar

Consiste en la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del geotextil. La efectividad del drenaje de un suelo dependerá de la capacidad de drenaje del geotextil empleado y del gradiente de presiones a lo largo del camino de evacuación del fluido.

Para realizar el drenaje satisfactoriamente el espesor debe ser suficiente al aumentar la tensión normal al plano de conducción. Adicionalmente el geotextil debe impedir el lavado o transporte de partículas finas, las cuales al depositarse en él, reducen su permeabilidad horizontal. Además debe garantizar el transporte de agua en su plano sin ocasionar grandes pérdidas de presión (PAVCO, 2012).

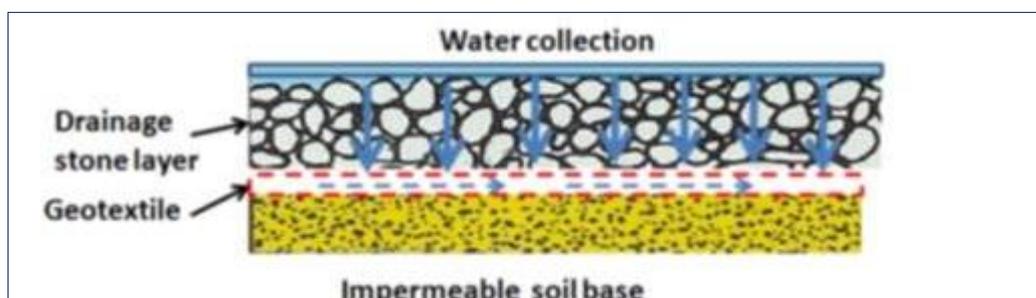


Figura 11: Drenaje

2.8.4. Reforzar

En esta función se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para trabajar como complemento de las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en la de servicio de las estructuras.

El geotextil actúa como un elemento estructural y de confinamiento de los granos del suelo, permitiendo difundir y repartir las tensiones locales. Estas acciones aumentan la capacidad portante y la estabilidad de la construcción (PAVCO, 2012).

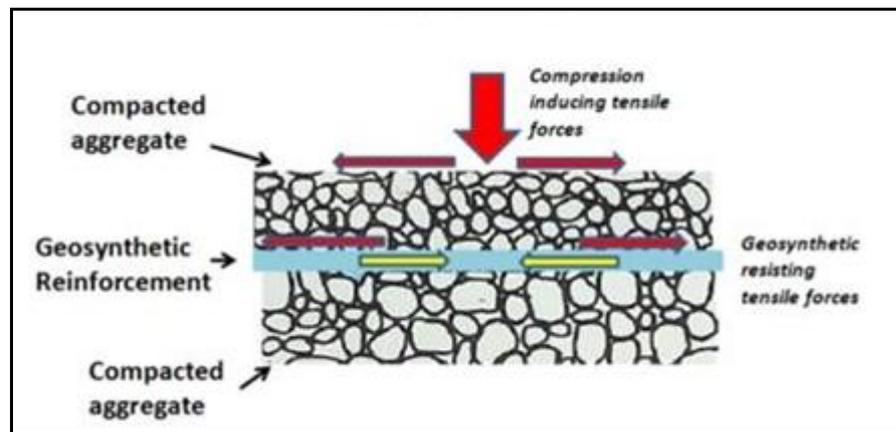


Figura 12 Refuerzo de suelo

2.8.5. Proteger

Previene o limita un posible deterioro en un sistema geotécnico. En los embalses impermeabilizados este sistema geotécnico se denomina pantalla impermeabilizante y está formado por el geotextil y la geomembrana. El geotextil protege a la geomembrana de posibles perforaciones o roturas, al formar una barrera antipunzonante bajo la acción de la presión de la columna de agua durante la explotación del embalse, del paso de personal y maquinaria durante la construcción, mantenimiento, posibles reparaciones, etc. También evita las perforaciones que podría ocasionar el crecimiento de plantas debajo de la pantalla impermeabilizante.

De igual forma, protege a la Geomembrana del rozamiento con el soporte que se produce durante las sucesivas dilataciones y contracciones que experimenta por efecto de las variaciones térmicas. La lámina impermeabilizante se adapta a las irregularidades del terreno. Las irregularidades pronunciadas implican una tensión en la lámina la cual a su vez causa una pérdida de espesor en la misma dando origen a puntos débiles en los que se podrían producir posibles perforaciones o roturas causadas por objetos punzantes del terreno. La interposición del geotextil evitará la pérdida de estanqueidad que se produciría por todas estas causas (PAVCO, 2012).

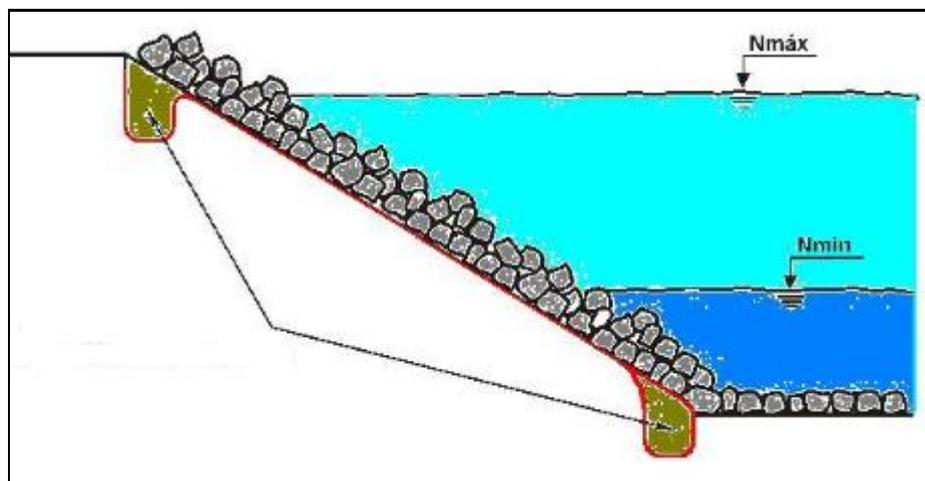


Figura 13: Protección de Talud

CAPÍTULO 3

CARACTERIZACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DEL GEOTEXTIL EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS

Previo a determinar la permeabilidad en la muestra de suelo compactado correspondiente al núcleo de la presa Río Grande, se realizó una clasificación de suelos por el sistema unificado SUCS, para un estudio más detallado se realizó granulometría por sedimentación con el fin de conocer el porcentaje real de arcilla que tiene el suelo del núcleo de la presa.

Para cálculo de la permeabilidad se ensayó en permeámetro de carga constante en laboratorio, tres muestras con geotextil y una muestra sin geotextil cada muestra durante un tiempo de 8 días, los ensayos que se realizaron se detallan a continuación.

3.1. Análisis Granulométrico

Para una correcta clasificación de los suelos, es necesario conocer la distribución granulométrica. Para partículas con diámetros mayores a 0,075 mm, se utiliza el análisis granulométrico por lavado, y para los finos el análisis por sedimentación por método del hidrómetro.

3.1.1. Granulometría por Lavado (ASTM D 422)

El análisis granulométrico por lavado se refiere a la determinación de la cantidad en por ciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Conocida la composición granulométrica del material se le representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica. (Villalaz., 2004)

Tabla 4
Granulometría muestra N°. 1 por Lavado

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS "ESPE"				
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES				
GRANULOMETRÍA				
Tamiz	RETENIDO			PASA
#	Parcial	Total	%	%
3"	0	0	0,0%	100,00%
2"	0	0	0,0%	100,00%
1½"	0	0	0,0%	100,00%
1 "	0	0	0,0%	100,00%
¾"	0	0	0,0%	100,00%
½"	2,96	2,96	1,0%	99,00%
⅜"	1,69	4,65	1,6%	98,44%
N° 4	4,1	8,75	2,9%	97,06%
N°10	6,72	15,47	5,2%	94,79%
N° 40	24,11	39,58	13,3%	86,68%
N° 200	102,05	141,63	47,7%	52,34%
Pasa N° 200				

Tabla 5
Granulometría muestra N°. 2 por Lavado

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS "ESPE"				
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES				
GRANULOMETRÍA				
Tamiz	RETENIDO			PASA
#	Parcial	Total	%	%
3"	0	0	0,0%	100%
2"	0	0	0,0%	100%
1½"	0	0	0,0%	100%
1 "	0	0	0,0%	100%
¾"	0	0	0,0%	100%
½"	3,51	3,51	1,0%	99%
⅜"	2,09	5,6	1,5%	98%
N° 4	4,6	10,2	2,8%	97%
N°10	5,45	15,65	4,3%	96%
N° 40	32,15	47,8	13,1%	86,86%
N° 200	114,83	162,63	44,7%	55,31%
Pasa N° 200				

Tabla 6
Granulometría muestra N°. 3 por Lavado

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS "ESPE"				
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES				
GRANULOMETRÍA				
Tamiz #	RETENIDO			PASA %
	Parcial	Total	%	
3"	0	0	0,0%	100%
2"	0	0	0,0%	100%
1½"	0	0	0,0%	100%
1 "	0	0	0,0%	100%
¾"	0	0	0,0%	100,00%
½"	2,02	2,02	0,5%	99,52%
3/8"	0	2,02	0,5%	99,52%
N° 4	2,92	4,94	1,2%	98,82%
N°10	6	10,94	2,6%	97,38%
N° 40	30,56	41,5	9,9%	90,06%
N° 200	147,17	188,67	45,2%	54,82%
Pasa N° 200				

Tabla 7
Resumen porcentaje de grava, arena y finos.

N° Muestra	Grava	Arena	Finos
1	2,94%	44,71%	52,34%
2	2,80%	41,89%	55,31%
3	1,18%	44,00%	54,82%

3.1.2. Granulometría por sedimentación (ASTM D422)

Las propiedades físicas de los suelos de partículas finas se identifican con mayor seguridad mediante la determinación de la plasticidad de los mismos que mediante su distribución granulométrica. No obstante, cuando se quiera emplear como medio de clasificación de un suelo el diámetro de sus partículas, se requiere un análisis granulométrico por sedimentación.

El método de sedimentación tiene por objeto contar con datos muy aproximados de la composición granulométrica de las partículas de suelo menores de 0,02 mm aproximadamente (en diámetros mayores las turbulencias provocadas por las mismas partículas alteran de manera significativa la ley de sedimentación) (Villalaz., 2004).

Equipo:

Tamiz N° 10, balanza con sensibilidad de 0,1 gramos de aproximación, Hidrometro 152 H, Defloculante (hexametafosfato de sodio, $(\text{NaPO}_3)_6$), Termometro de inmersión, Cronometro o reloj, Horno de temperatura constante hasta $110\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ Muestra representativa de suelo, Cilindro de vidrio para sedimentación de 460 mm de alto, y 60 mm de diametro para un volumen de 1000 cm^3



Figura 14: Equipo granulometria por Sedimentación

Procedimiento.

- Pesar 5 gramos de defloculante, mezclar en 125 ml de agua destilada.
- Determinar la corrección por defloculante y punto cero, C'. y la corrección por menisco, C.
- Se tomó unos 100 gramos de suelo pasante del tamiz número 10, y se mezcla con agua destilada más defloculante en cilindro de sedimentación de 1000 cm³.
- Tomar el cilindro de sedimentación y taponándolo con la mano agitar 60 veces para lograr una suspensión uniforme.
- Al término de la agitación se coloca el cilindro sobre una mesa de inmediato se pone el cronometro en marcha, se introduce el hidrómetro muy lento en la suspensión y tomar la lectura a diferentes tiempos (2, 5, 15, 30, 60, 120, 180, 240, 1440, minutos), luego de cada lectura extraer el hidrómetro de la suspensión y tomar la temperatura.
- Al termino de los 1440 minutos lavar cuidadosamente toda la suspensión, colocar en una capsula, y secar en horno de temperatura constante.
- Finalmente se obtiene el peso de suelo seco.

Datos que se mantienen constantes durante el ensayo de hidrómetro.

Tabla 8

Análisis del Hidrómetro

Análisis del Hidrómetro	
Hidrómetro Modelo: 152 H	N°. 111009
Defloculante	Hexametáfosfato de sodio
Corrección del menisco C	1
Corrección del defloculante C'	5

Tabla 9

Análisis granulométrico por hidrómetro muestra N°. 1

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS "ESPE"									
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES									
Muestra N°. 1		PESO ESPECÍFICO DEL SUELO		2,665 g/cm ³		PESO DEL SUELO PRETRATADO P _b =		106,06 g	
FECHA	TIEMPO (minutos)	HORAS	TEMP °C	CORRECCIÓN DE TEMPERATURA (c'')	LECTURA L _s	L _c = L _s + C - C' + C''		% PASA	Diámetro (mm)
18/08/2015	0:00:00	10:23	0	0,0000	0,00				
18/08/2015	0:02:00	10:25	19,4	-0,1200	34,00	27,88	1,0170	25,66	0,0295
18/08/2015	0:05:00	10:28	19,4	-0,1200	31,00	24,88	1,0155	23,39	0,0191
18/08/2015	0:15:00	10:38	19,6	-0,0800	27,00	20,92	1,0130	19,62	0,0113
18/08/2015	0:30:00	10:53	19,9	-0,0200	25,00	18,98	1,0118	17,81	0,0081
18/08/2015	1:00:00	11:23	20,4	0,0800	23,00	17,08	1,0105	15,85	0,0058
18/08/2015	2:00:00	12:23	21,2	0,2400	21,00	15,24	1,0095	14,34	0,0042
18/08/2015	3:00:00	13:23	21,8	0,3600	20,00	14,36	1,0088	13,28	0,0034
18/08/2015	4:00:00	14:23	22	0,4000	19,00	13,40	1,0082	12,37	0,0030
19/08/2015	24:00:00	10:23	20,2	0,0400	16,00	10,04	1,0063	9,51	0,0012

Tabla 10 :

Análisis granulométrico por hidrómetro muestra N°. 2

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS "ESPE"									
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES									
Muestra N°. 2		PESO ESPECÍFICO DEL SUELO		2,557 g/cm ³		PESO DEL SUELO PRETRATADO P _b =		128,14 g	
FECHA	TIEMPO (minutos)	HORAS	TEMP °C	CORRECCIÓN DE TEMPERATURA (c'')	LECTURA L _s	L _c = L _s + C - C' + C''		% PASA	Diámetro (mm)
01/09/2015	0:00:00	13:54	0	0,0000	0,00				
01/09/2015	0:02:00	13:56	20,7	0,1400	50,00	44,14	1,0274	35,12	0,0265
01/09/2015	0:05:00	13:59	20,7	0,1400	44,00	38,14	1,0236	30,25	0,0177
01/09/2015	0:15:00	14:09	20,8	0,1600	39,00	33,16	1,0205	26,27	0,0107
01/09/2015	0:30:00	14:24	21,1	0,2200	36,00	30,22	1,0188	24,09	0,0077
01/09/2015	1:00:00	14:54	21,4	0,2800	32,00	26,28	1,0163	20,89	0,0056
01/09/2015	2:00:00	15:54	21,7	0,3400	29,00	23,34	1,0145	18,58	0,0041
01/09/2015	3:00:00	16:54	21,9	0,3800	27,00	21,38	1,0133	17,05	0,0034
01/09/2015	4:00:00	17:54	21,9	0,3800	26,00	20,38	1,0127	16,28	0,0029
02/09/2015	24:00:00	13:54	21,6	0,3200	18,00	12,32	1,0077	9,87	0,0012

Tabla 11

Análisis granulométrico por hidrómetro muestra N°. 3

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS "ESPE"									
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES									
Muestra N°. 3		PESO ESPECÍFICO DEL SUELO		2,699 g/cm ³		PESO DEL SUELO PRETRATADO P _b =			201,62 g
FECHA	TIEMPO (minutos)	HORAS	TEMP °C	CORRECCIÓN DE TEMPERATURA (c'')	LECTURA L _s	L _c = L _s + C - C' + C''		% PASA	Diámetro (mm)
15/09/2015	0:00:00	11:33	0	0,0000	0,00				
15/09/2015	0:09:00	11:42	21,2	0,2400	59,00	53,24	1,0334	26,32	0,0108
15/09/2015	0:15:00	11:48	21,2	0,2400	57,00	51,24	1,0317	24,98	0,0086
15/09/2015	0:30:00	12:03	21,5	0,3000	52,00	46,30	1,0286	22,53	0,0064
15/09/2015	1:00:00	12:33	21,9	0,3800	47,00	41,38	1,0257	20,25	0,0048
15/09/2015	2:00:00	13:33	22,4	0,4800	42,00	36,48	1,0225	17,73	0,0035
15/09/2015	3:00:00	14:33	22,7	0,5400	40,00	34,54	1,0214	16,86	0,0029
15/09/2015	4:00:00	15:33	22,6	0,5200	38,00	32,52	1,0201	15,84	0,0026
16/09/2015	24:00:00	11:33	22,4	0,4800	25,00	19,48	1,0120	9,45	0,0011

La representación gráfica de la distribución granulométrica por lavado y sedimentación para las tres muestras ensayadas, se dibuja en las ordenadas como porcentaje en peso de las partículas que pasan un determinado tamiz y en las abscisas el tamaño de las partículas en escala logarítmica.

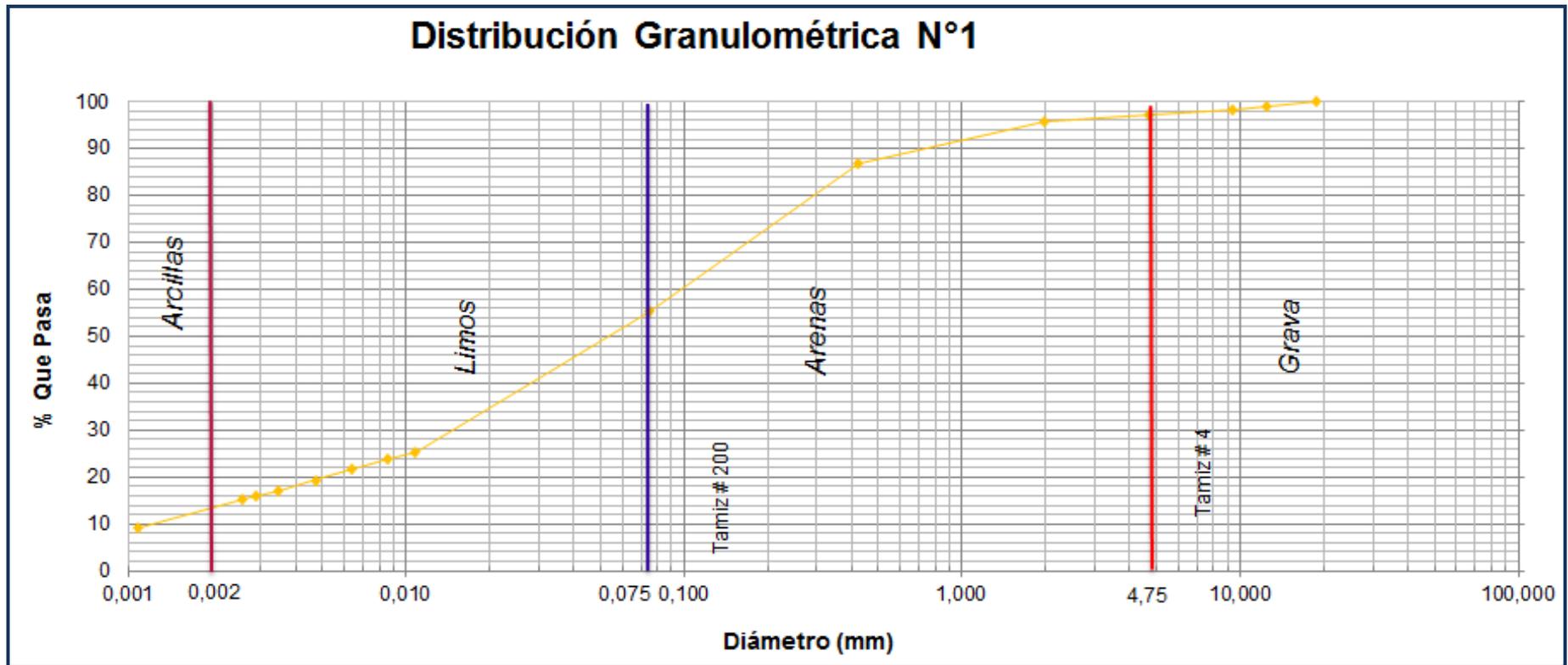


Figura 15 : Curva granulométrica por lavado y sedimentación muestra N°.1

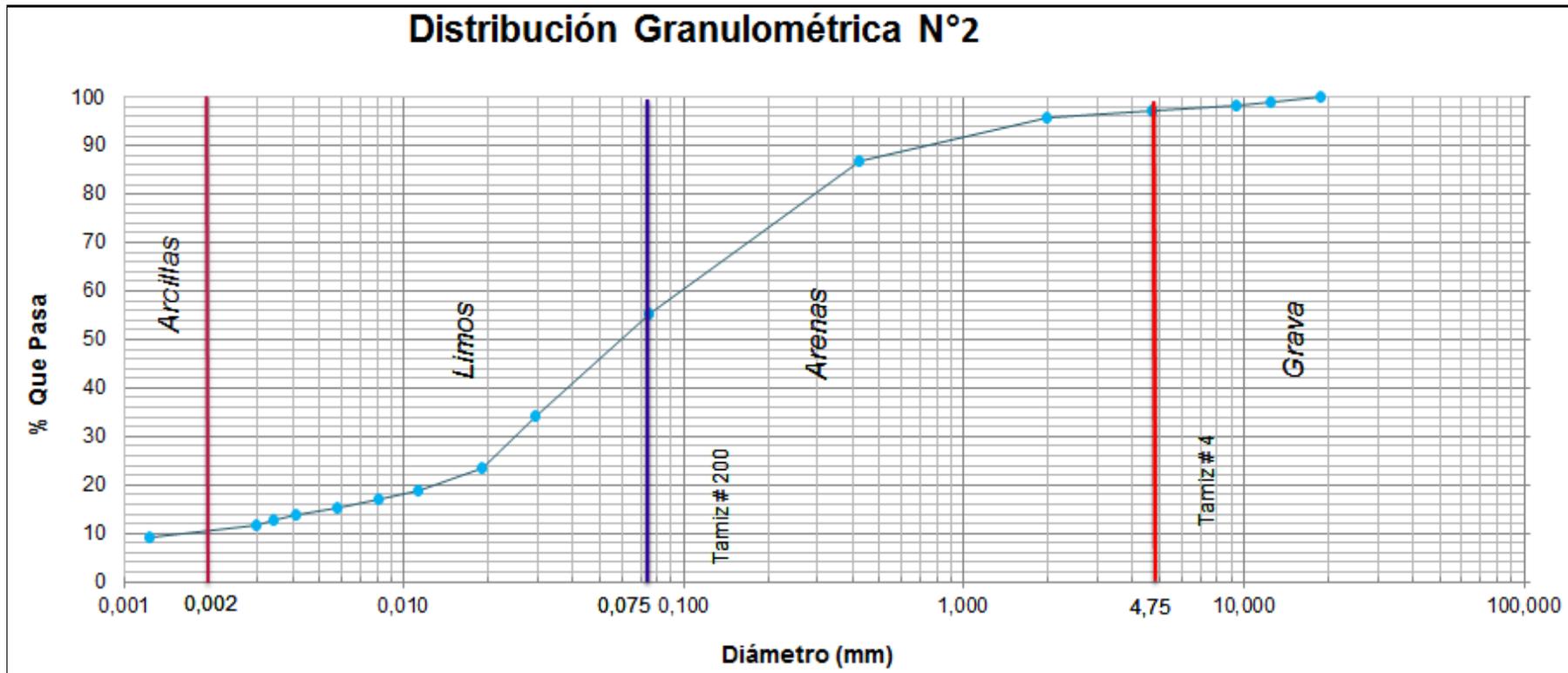


Figura 16: Curva granulométrica por lavado y sedimentación muestra N°. 2

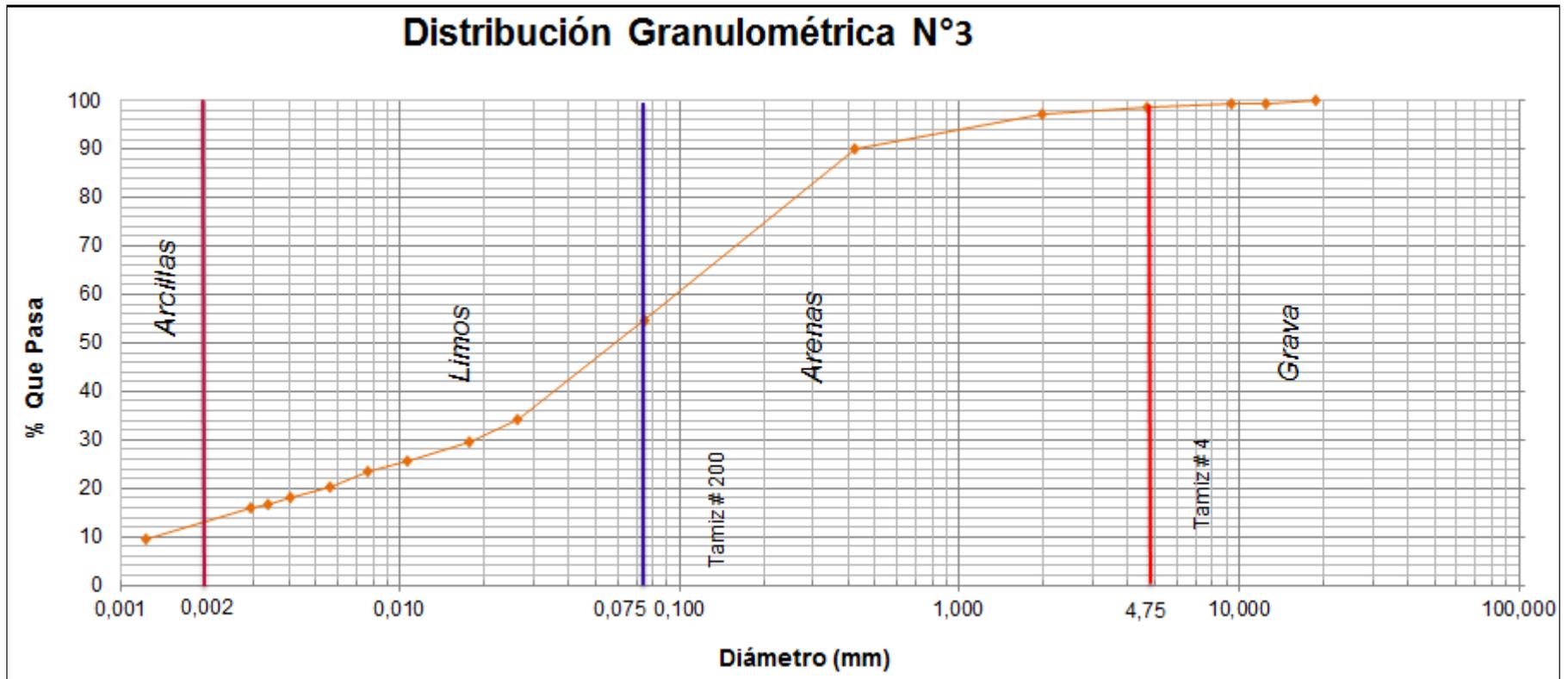


Figura 17: Curva granulométrica por lavado y sedimentación muestra N°3

Tabla 12

Porcentaje que pasa en 0,002 mm de diámetro

N° Muestra	Diámetro	Pasa
	mm	%
1	0,002	11,00%
2	0,002	10,00%
3	0,002	12,00%

3.1.3. Coeficiente de Uniformidad y Coeficiente de Curvatura

El diámetro en la curva de distribución del tamaño de las partículas correspondiente al 10% de finos se define como diámetro efectivo, o D_{10} . El coeficiente de uniformidad está dado por la relación. (Braja M. D., 2001)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Dónde:

C_u = Coeficiente de Uniformidad

D_{60} = Diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva de distribución granulométrica.

Los suelos con $C_u < 3$ se consideran suelos uniformes

El coeficiente de curvatura se expresa como.

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Dónde:

C_c = Coeficiente de curvatura

D_{30} = Diámetro correspondiente al 30% de finos

Si $C_u < 6$ y/o $C_c < 1$ ó $C_c > 3$ se consideran suelos mal graduados (P)

Si $C_u > 6$ y $1 < C_c < 3$ se consideran suelos bien graduados (W)

3.2. Clasificación de Suelos SUCS (ASTM D-2487-06)

El sistema unificado de clasificación de suelos SUCS, fue inicialmente propuesto por Arthur Casagrande en 1932 tentativamente adoptado por el Departamento de ingeniería de los EEUU en 1942. Está basado en el análisis granulométrico y en los límites de Atterberg. (Covo, 2003)

El sistema unificado clasifica a los suelos utilizando los siguientes símbolos.

Tabla 13
Simbología

Símbolo	G	S	M	C	H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Alta Plasticidad	Baja Plasticidad	Bien Graduado	Mal Graduado

Tabla 14
Clasificación SUCS

N° Muestra	Clasificación SUCS
1	CH
2	CH
3	CH

Los valores de los diámetros de las partículas D_{10} , D_{30} y D_{60} fueron obtenidos de las curvas granulométricas de las tres probetas ensayadas, estos datos fueron reemplazados en las ecuaciones $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ y $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$ obteniendo los valores de C_u y C_c

Tabla 15
Coeficiente de Curvatura y Uniformidad

N° Muestra	D10 (mm)	D30 (mm)	D60 (mm)	Cu	Cc
1	0,0013	0,015	0,095	73,08	1,82
2	0,0017	0,022	0,095	55,88	3,00
3	0,0015	0,019	0,095	63,33	2,53

De la granulometría realizada para las tres probetas, los valores obtenidos de C_u y C_c y de acuerdo a la norma (ASTM D-2487-06) se concluye que el material del núcleo de la presa Río Grande es un material bien graduado y se clasifica como CH (arcilla de alta compresibilidad)

3.3. Calculo de Porosidad

Se llama porosidad de un suelo a la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de su masa. El valor de la porosidad varía entre $0 < \eta < 1$. Se expresa como:

$$\eta = \frac{V_v}{V_t}$$

$$V_v = V_t - V_m$$

Dónde:

V_v = Volumen de vacíos (cm^3)

V_t = Volumen total del permeámetro (cm^3)

V_m = Volumen de la muestra (cm^3)

Tabla 16

Porosidad de las tres muestras ensayadas

N° Muestra	Peso Específico	Volumen de la Muestra	Volumen de Muestra Seca	Volumen de Vacíos	Porosidad
	g/cm^3	cm^3	cm^3	cm^3	
1	2,665	3084,79	26,58	3058,21	0,991
2	2,557	3242,66	76,05	3166,61	0,977
3	2,669	3104,75	87,86	3016,89	0,972

3.3.1. Porosidad Eficaz

Según datos recientes, la arcilla posee una porosidad mucho más alta que la arena o la grava. Mientras que la arcilla tiene de 0,45 a 0,60, la arena posee de 0,30 a 0,40. No obstante, la arcilla es un material acuífugo (formación geológica sin capacidad de almacenar, ni de transmitir agua)

prácticamente impermeable y, por el contrario, la grava y la arena son acuíferos, es decir, materiales permeables. (Caballero & Ángeles, 2013).

Tabla 17
Porosidad Eficaz

Material	Porosidad (n)	Porosidad eficaz (nef)
Arcilla limosa	0,45-0,60	0,01-0,05
Limo arcilloso	0,40-0,55	0,03-0,08
Limo arenoso	0,30-0,40	0,05-0,10
Arena bien graduada	0,30-0,40	0,10-0,15
Arena gravosa	0,28-0,35	0,15-0,20
Grava arenosa	0,25-0,35	0,20-0,25

Fuente: (Caballero & Ángeles, 2013)

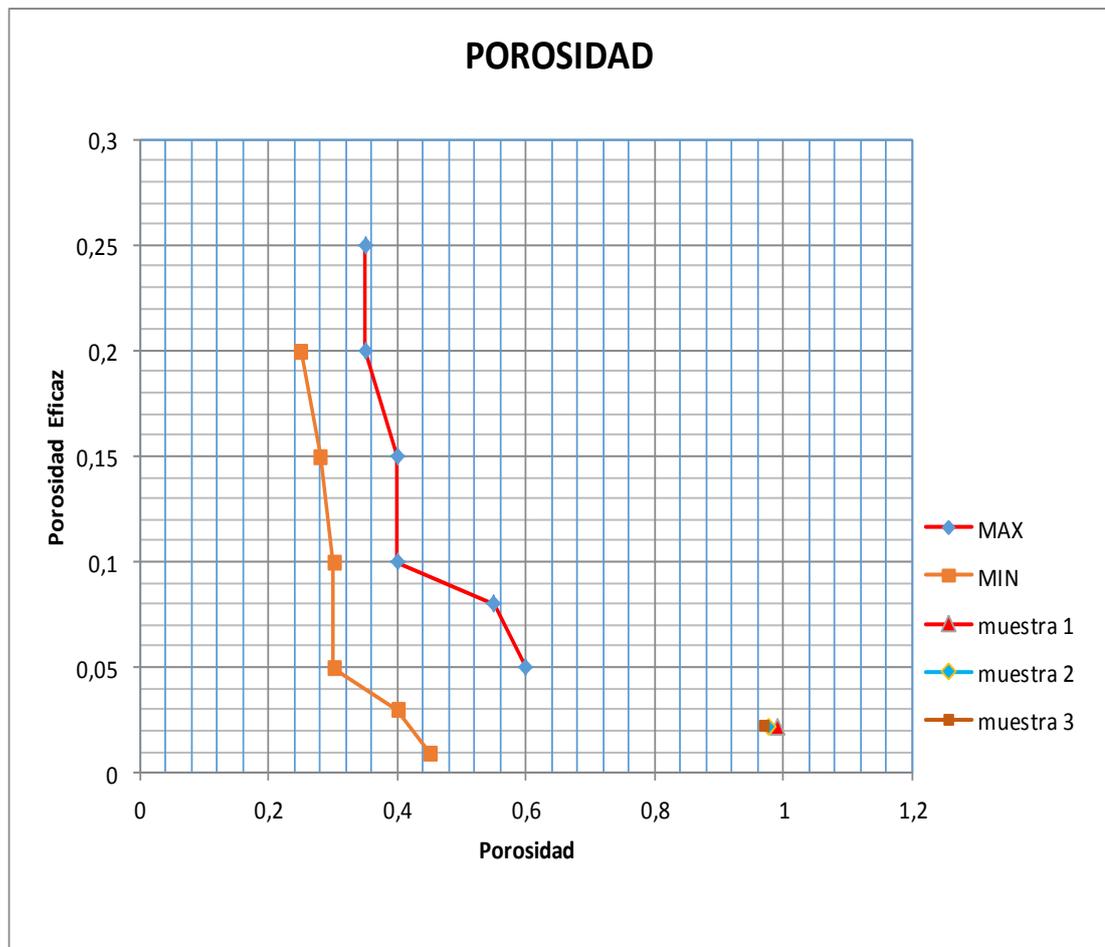


Figura 18: Porosidad de tres muestras ensayadas

3.4. Humedad (W) (ASTM D 2216)

El contenido de humedad se define como la relación entre el peso de agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida. (Badillo & Rodríguez, 1992)

$$\%W = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Dónde:

%W = contenido de humedad en (%)

W_w = peso del agua

W_s = Peso de suelo seco

Tabla 18

Humedad natural de las tres muestras ensayadas

N° Muestra	Humedad Natural
1	31%
2	31%
3	8%

3.5. Calculo de Plasticidad y Límites de Atterberg (ASTM D 4318)

El científico de suelos, sueco, Atterberg, desarrollo un método para describir cuantitativamente el efecto de la variación de humedad en la consistencia de los suelos de granos finos. Estableció los estados de consistencia de los suelos y fijo límites definidos, aunque arbitrarios, para cada estado. (Sowers & Sowers, 1972)

Cada límite se define por la humedad que produce una consistencia determinada; la diferencia entre los límites representa la variación en el contenido de agua o humedad dentro de la cual el suelo se mantiene en un cierto estado.

Límite Líquido (LL): se define por la humedad que tiene el suelo amasado cuando con 25 golpes ligeros contra una placa de goma dura de una vasija especial, se cierra el surco de sección trapecial que se había abierto en la masa húmeda de suelo colocada en dicha vasija.

Límite Plástico (LP): se define por la humedad del suelo amasado cuando empieza a separarse y desmoronarse al enrollarse a mano para formar bastoncillos de 3 mm de diámetro.

Índice Plástico (Ip): se define como la diferencia entre los valores de los límites de plasticidad $I_p = LL - LP$.

Los resultados de límites de Atterberg realizados en laboratorio se indican a continuación.

Tabla 19
Límites de Atterberg

N° Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad
1	52	28	24
2	50	27	23
3	50	26	24

3.6. Ensayo de Gravedad Específica Gs. (ASTM D854-02)

La gravedad específica de un suelo se define como el peso unitario del material dividido por el peso unitario del agua destilada, el cálculo de gravedad específica difiere según el tipo de suelo analizado y el tamaño de sus partículas (Badillo & Rodríguez, 1992).

Equipo:

Picnómetro, termómetro, balanza de 0,1 gramos de aproximación, horno de temperatura constante, bomba de vacíos, tamiz N° 4, agua destilada.



Figura 19: Equipo Ensayo Gravedad Especifica

Procedimiento:

- Llenar el picnómetro con agua destilada hasta el menisco, pesar el matraz con agua.
- Vaciar el picnómetro hasta la mitad aproximadamente, introducir la muestra de suelo pasante de tamiz N° 4.
- Sacar el aire atrapado en máquina de bomba de vacíos por un tiempo aproximado de 15 minutos.
- Completar con agua destilada hasta el menisco, pesar picnómetro con agua y suelo, y tomar la temperatura.
- Vaciar el contenido del matraz en una tara y dejar a secar en horno de temperatura constante.

Con este procedimiento se obtuvieron los siguientes resultados para las tres muestras ensayadas.

Tabla 20

Peso específico de suelos muestra N° 1

A	PESO DEL PICNÓMETRO + MUESTRA SECA	(g)	278,52
B	PESO DEL PICNÓMETRO + MUESTRA SECA + AGUA DESTILADA	(g)	751,14
C	PESO DEL PICNÓMETRO	(g)	207,69
D	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA DESTILADA	(g)	705,78
E = A - C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	70,83
F = D - C	VOLUMEN DEL FRASCO	(cm³)	499,20
G = B - A	VOLUMEN DEL FRASCO - VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm³)	472,62
H = F - G	VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm³)	26,58
= E / H	PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS	(g/cm³)	2,665
Temperatura : 22,1° C	Densidad H2O:	(g/cm³)	0,99778

Tabla 21

Peso específico de suelos muestra N° 2

A	PESO DEL PICNÓMETRO + MUESTRA SECA	(g)	402,15
B	PESO DEL PICNÓMETRO + MUESTRA SECA + AGUA DESTILADA	(g)	826,07
C	PESO DEL PICNÓMETRO	(g)	207,69
D	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA DESTILADA	(g)	706,61
E = A - C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	194,46
F = D - C	VOLUMEN DEL FRASCO	(cm³)	499,96
G = B - A	VOLUMEN DEL FRASCO - VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm³)	423,92
H = F - G	VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm³)	76,04
= E / H	PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS	(g/cm³)	2,557
Temperatura : 21,5° C		Densidad H2O:	(g/cm³) 0,99791

Tabla 22

Peso específico de suelos muestra N° 3

A	PESO DEL PICNÓMETRO + MUESTRA SECA	(g)	442,07
B	PESO DEL PICNÓMETRO + MUESTRA SECA + AGUA DESTILADA	(g)	854,39
C	PESO DEL PICNÓMETRO	(g)	207,56
D	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA DESTILADA	(g)	705,58
E = A - C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	234,51
F = D - C	VOLUMEN DEL FRASCO	(cm ³)	499,21
G = B - A	VOLUMEN DEL FRASCO - VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm ³)	412,32
H = F - G	VOLUMEN DE LOS GRANOS DE LA MUESTRA	(cm ³)	86,89
= E / H	PESO ESPECÍFICO DE LOS GRANOS	(g/cm ³)	2,699
Temperatura : 21,5° C		Densidad H2O:	(g/cm ³) 0,99762

3.7. Ensayo de Consolidación (ASTM D 2435-90).

En la prueba edometría, se aplica presión a la muestra de suelo según el eje vertical, y se impide la deformación en sentido horizontal. Así pues, la deformación axial es exactamente igual a la deformación volumétrica (Lambe & Whitman, 1991).

Procedimiento:

- Se toma una muestra representativa de suelo pasante del tamiz # 200 (0,0075 mm).
- Colocar en el interior de la base del molde del consolidómetro la piedra porosa, sobre esta un papel filtro seguido de esto colocar la muestra de suelo.
- Fijar con los tornillos de sujeción la piedra porosa superior, ya que esta permite mantener el agua sobre la muestra, y evitar la pérdida de humedad.
- Encerar y calibrar el deformímetro.

- Se aplica la primera carga con una presión de 0,25 o 0,50 kg/cm², y se toman lecturas de tiempo y asentamiento.
- Los siguientes días del ensayo la presión se va incrementando en una progresión geométrica.
- Al finalizar el ensayo se desarma el equipo y se saca la humedad de la muestra.
- El ensayo dura 5 días

Los datos que se mantienen constantes durante todo el ensayo, de consolidación son:

Tabla 23

Resultados de ensayo

Altura Inicial	Hd=	2,00	cm
Diámetro del anillo	D=	4,94	cm
Área de la muestra	A=	19,17	cm ²
Peso anillo + suelo húmedo	Wa+sh	132,97	
Peso del anillo	Wa	72,71	
Peso suelos húmedos	W=	60,26	
Humedad inicial	W1=	33,00	%
Peso suelo seco	Ws=	45,31	g
Gravedad específica de los sólidos	G=	2,63	g/cm ³
Peso unitario del agua	γw=	1,00	g/cm ³
Altura sólidos $H_s = W_s / (AG\gamma_w)$		0,90	cm
Altura de vacíos inicial $H_{v1} = H_o - H_s$		1,10	cm
Relación de vacíos inicial $e_1 = H_{v1} / H_s$		1,225	
Grado saturación inicial $S_1 = w_1 \times G / e_1$		70,84	

Los resultados del ensayo de consolidación registrados de tiempo y asentamiento realizados en laboratorio se presentan a continuación.

Tabla 24

Ensayo de consolidación día 1

Presión =	0,51	kg/cm ²
Tiempo transcurrido	Tiempo (min)	Lectura deformímetro mm
0 seg	0	0,000
6 seg	0,10	0,000
15 seg	0,25	0,624
30 seg	0,50	0,638
1 min	1	0,654
2 min	2	0,670
4 min	4	0,686
8 min	8	0,701
15 min	15	0,716
30 min	30	0,731
1 hora	60	0,741
2 horas	120	0,753
4 horas	240	0,763
8 horas	480	0,773
24 horas	1440	0,787

Tabla 25

Ensayo de consolidación día 2

Presión	1,045	kg/cm ²
Tiempo transcurrido	Tiempo (min)	Lectura deformímetro mm
0 seg	0	0,787
6 seg	0,1	0,787
15 seg	0,25	1,159
30 seg	0,5	1,243
1 min	1	1,290
2 min	2	1,334
4 min	4	1,363
8 min	8	1,392
15 min	15	1,421
30 min	30	1,453
1 hora	60	1,477
2 horas	120	1,498
4 horas	240	1,517
8 horas	480	1,517
24 horas	1440	1,518

Tabla 26

Ensayo de consolidación día 3

Presión	2,09	kg/cm ²
Tiempo transcurrido	Tiempo (min)	Lectura deformímetro mm
0 seg	0	1,518
6 seg	0,1	1,518
15 seg	0,25	2,182
30 seg	0,5	2,305
1 min	1	2,455
2 min	2	2,587
4 min	4	2,723
8 min	8	2,826
15 min	15	2,919
30 min	30	2,997
1 hora	60	3,067
2 horas	120	3,121
4 horas	240	3,166
8 horas	480	3,199
24 horas	1440	3,234

Tabla 27

Ensayo de consolidación día 4

Presión	4,7	kg/cm ²
Tiempo transcurrido	Tiempo (min)	Lectura deformímetro mm
0 seg	0	3,234
6 seg	0,1	3,234
15 seg	0,25	3,776
30 seg	0,5	3,877
1 min	1	4,000
2 min	2	4,107
4 min	4	4,218
8 min	8	4,303
15 min	15	4,379
30 min	30	4,442
1 hora	60	4,499
2 horas	120	4,544
4 horas	240	4,580
8 horas	480	4,607
24 horas	1440	4,624

Tabla 28

Ensayo de consolidación día 5

Presión	8,35	kg/cm ²
Tiempo transcurrido	Tiempo (min)	Lectura deformímetro mm
0 seg	0	4,624
6 seg	0,1	4,624
15 seg	0,25	5,005
30 seg	0,5	5,075
1 min	1	5,136
2 min	2	5,208
4 min	4	5,290
8 min	8	5,379
15 min	15	5,466
30 min	30	5,534
1 hora	60	5,594
2 horas	120	5,638
4 horas	240	5,673
8 horas	480	5,697
24 horas	1440	5,713

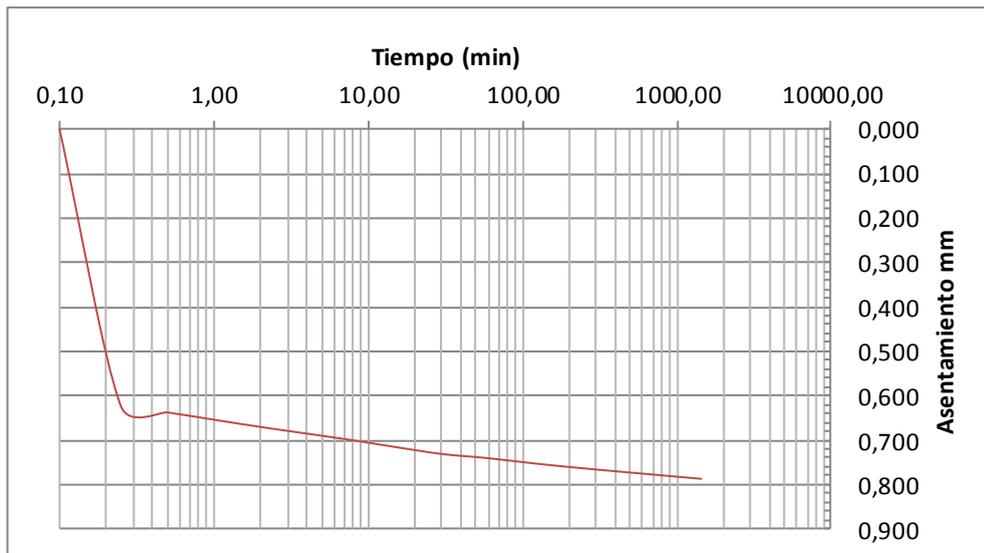


Figura 20 Tiempo Vs. Asentamiento día 1

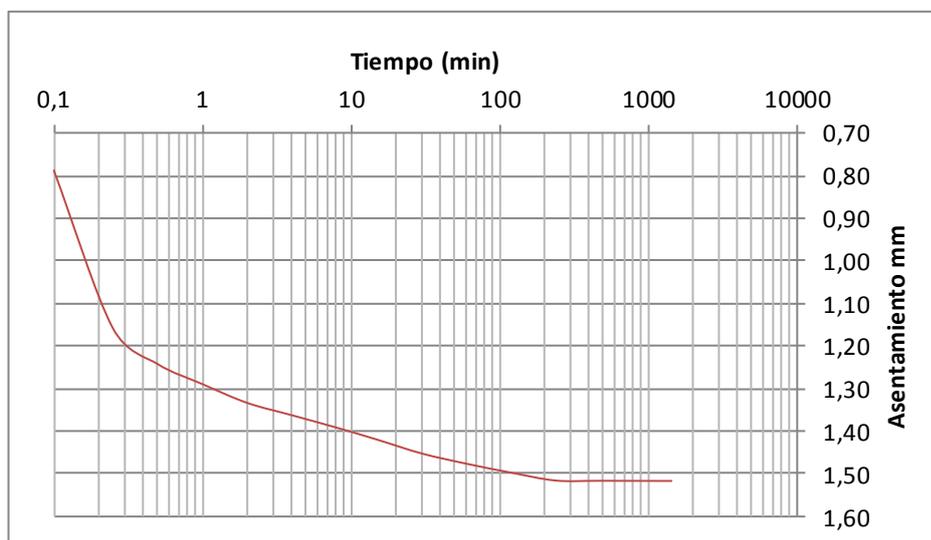


Figura 21 Tiempo Vs. Asentamiento día 2

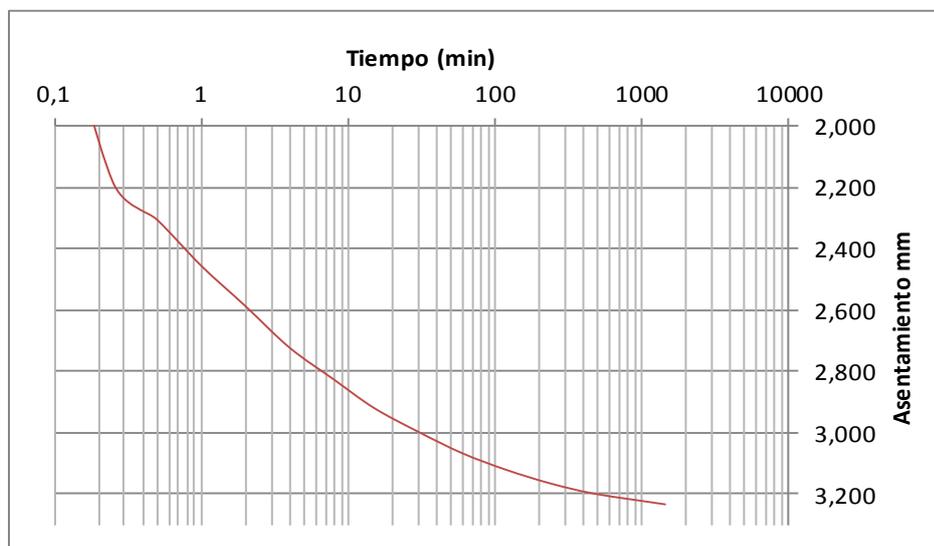


Figura 22 Tiempo Vs. Asentamiento día 3

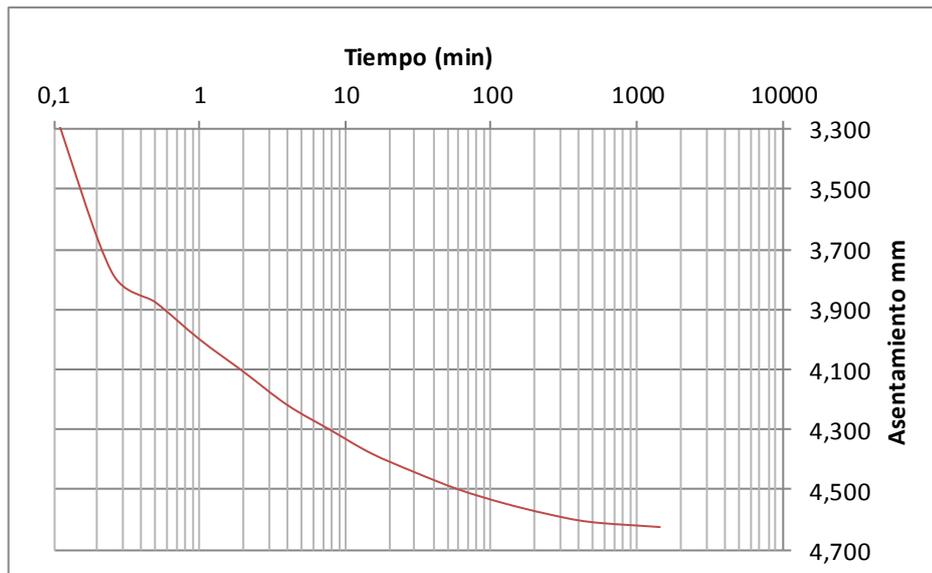


Figura 23 Tiempo Vs. Asentamiento día 4

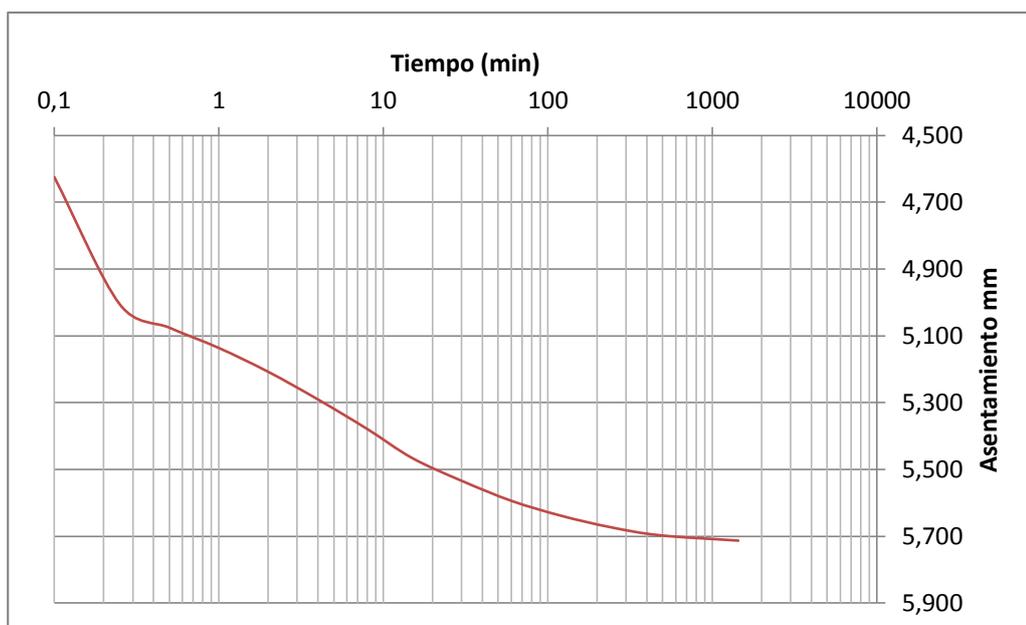


Figura 24 Tiempo Vs. Asentamiento día 5

Con los datos de las gráficas para los 5 días calculamos el tiempo t_{50} , para cálculo de permeabilidad.

Tabla 29
Permeabilidad por ensayo de consolidación

Presión	Curvas relación de vacíos- presión										
	Asentamiento	Altura muestra	Altura vacíos	Relación de vacíos	Cambio relación vacíos	Relación vacíos después consolidar		Coefficiente de compresibilidad	Salte de gráfica	Coefficiente de consolidación para t50	Permeabilidad
	ΔH	H	$H_v=H-H_s$	$e=H_v/H_s$	$\Delta e=\Delta H/H_s$	$e_i=e-\Delta e$	ΔP	$a_v=\Delta e/\Delta P$	t50	$C_v=0,197*(H_d/2)^2/t_{50}$	$K=(C_v*a_v*\gamma_w)/(1+e)$
kg/cm ²	mm	mm	mm	mm			Kg/cm ²	cm ² /kg	(min)	(cm ² /min)	(cm/seg)
0,000	0,000	20,000	11,012	1,225	0,00	1,225	0,00				
0,510	0,787	19,213	10,224	1,138	0,088	1,050	0,510	0,172	2,4	8,21E-04	1,15E-09
1,045	0,730	18,482	9,494	1,056	0,081	0,975	0,535	0,152	2,5	7,88E-04	9,08E-10
2,090	1,716	16,766	7,778	0,865	0,191	0,674	1,045	0,183	2,6	7,58E-04	1,52E-09
4,700	1,391	15,376	6,387	0,711	0,155	0,556	2,610	0,059	3	6,57E-04	5,11E-10
8,350	1,089	14,287	5,299	0,589	0,121	0,468	3,650	0,033	6	3,28E-04	8,76E-09

Después de que las gráficas tiempo-asentamiento para varias cargas se obtienen en el laboratorio, es necesario estudiar el cambio de la relación de vacíos en el espécimen con la presión.

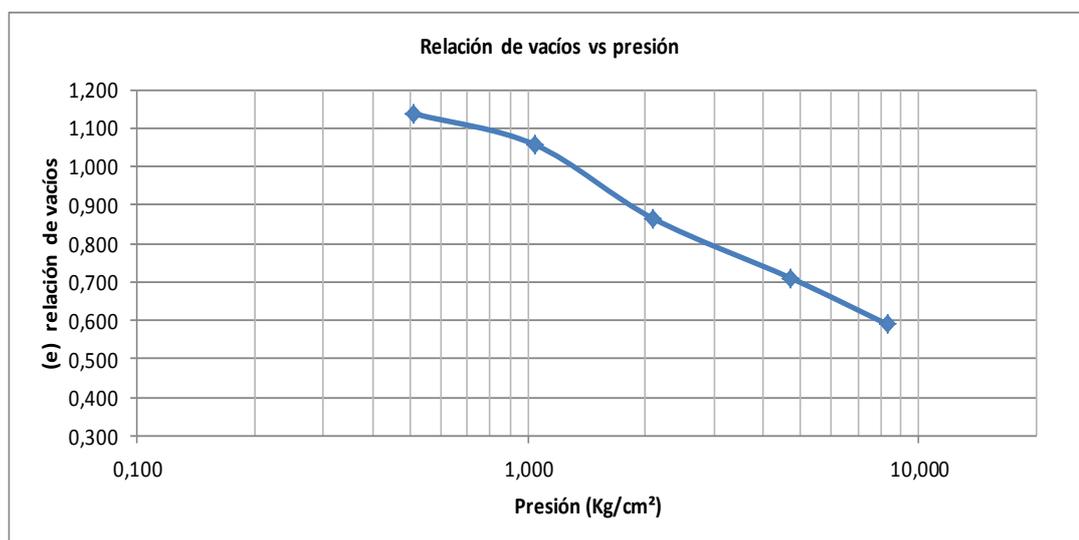


Figura 25: Relación de vacíos Vs. Presión

3.8. Ensayos en laboratorio para determinar la permeabilidad

Descripción de Permeámetro de Carga Constante

Un arreglo típico de la prueba de permeabilidad bajo carga constante se muestra en la figura 26. En este tipo de arreglo de laboratorio, el suministro de agua se ajusta de tal manera que la diferencia de carga entre la entrada y la salida permanece constante durante el periodo de prueba. Después que se ha establecido una tasa constante de flujo, el agua es recolectada en una probeta graduada durante cierto tiempo. (Braja M. D., 2010)

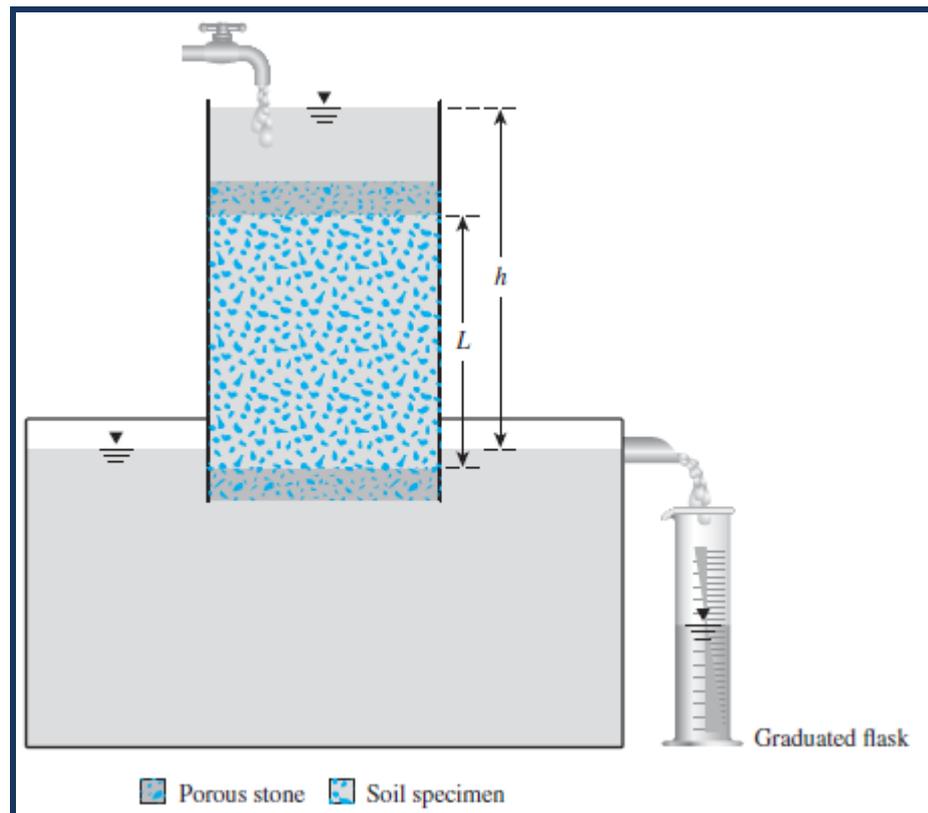


Figura 26 Permeabilidad Carga Constante
Fuente: (Braja M. D., 2010)

El volumen total de agua Q recolectada se expresa como

$$Q = Avt = A(ki)t \quad (1)$$

Dónde

A = área de la sección transversal de la muestra de suelo

t = duración de la recolección del agua

v = velocidad de descarga

Además como el gradiente hidráulico es:

$$i = \frac{h}{L} \quad (2)$$

Dónde

h = altura, sobre el plano de referencia que alcanza el agua

L = Longitud del espécimen

Reemplazando la ecuación (2) en la ecuación (1) obtengo

$$Q = A \left(k \frac{h}{L} \right) t \rightarrow k = \frac{QL}{Aht}$$

Condiciones necesarias para el ensayo de permeabilidad con y sin geotextil:

- Las muestras de suelo del núcleo de la presa Río Grande para este ensayo deben ser inalteradas o remodeladas con la energía especificada en el ensayo de compactación estándar.
- Se debe mantener la carga de agua constante durante todo el tiempo del ensayo.
- Toda la muestra debe estar saturada y sin burbujas de aire.
- El agua a la salida es recogida en una probeta graduada y la cantidad de descarga Q es medida en un tiempo determinado.
- Preparación de la muestra
- El material para determinar la permeabilidad es proveniente del núcleo de la presa Río Grande del Cantón Chone.
- Este ensayo se realizó colocando tres capas de masa de suelo compactando cada capa con 56 golpes con martillo de 5 libras.

Procedimiento:

- Los ensayos fueron realizados según la norma ASTM D 4491 Se inicia el ensamble del cilindro colocando en el interior del permeámetro la piedra porosa, para permeabilidad sin geotextil y se omite la piedra porosa y se sustituye por el geotextil para la permeabilidad con geotextil, seguido se deposita la muestra de suelo.
- Terminada de colocar las tres capas de muestra de suelo se enraza la superficie y se coloca sobre ella la piedra porosa, inmediatamente después el resorte se tapa el equipo y se llena con agua a la altura establecida, asegurándose que no haya burbujas de aire, ni fugas de agua.
- Dejar el tiempo necesario hasta que la muestra sature y el caudal sea constante para iniciar a tomar los datos.



Figura 27 Equipo permeabilidad carga constante

Con los datos del ensayo se calculó la permeabilidad (k) con la ecuación de Darcy $k = \frac{QL}{Aht}$.

Los resultados de los ensayos realizados con permeámetro de carga constante se presentan a continuación.

Los valores constantes utilizados en el ensayo son:

Tabla 30
Valores constantes de ensayo de permeabilidad

Diámetro interior	D =	15,2	cm
Altura muestra	L =	17,87	cm
Carga de Agua	h =	200	cm
Área	A =	181,46	cm ²
Volumen	V =	3242,66	cm ³

Tabla 31
Permeabilidad sin geotextil muestra N°.1

Volumen	tiempo	Permeabilidad
cm ³	seg.	cm/s
5	8230	2,99E-07
42	73739	2,80E-07
5	6645	3,71E-07
43	79421	2,67E-07
3	4187	3,53E-07
35	83090	2,07E-07

Tabla 32
Permeabilidad con geotextil muestra N°.2

Volumen	tiempo	Permeabilidad
cm ³	seg.	cm/s
82	90850	4,23E-07
82	81206	4,73E-07
80	86299	4,34E-07
62	80299	3,62E-07
60	86977	3,23E-07
56	86451	3,03E-07
55	88407	2,91E-07
142	250680	2,65E-07

Tabla 33

Permeabilidad con geotextil muestra N°. 3

Volumen	tiempo	Permeabilidad
cm ³	seg.	cm/s
84	86400	4,79E-07
122	85438	7,03E-07
126	85080	7,29E-07
284	256276	5,46E-07
96	90438	5,23E-07
91	84103	5,33E-07
94	85927	5,39E-07
80	78230	5,04E-07

Tabla 34

Permeabilidad con geotextil muestra N°. 4

Volumen	Carga (h)	tiempo	Permeabilidad
cm ³	cm	seg.	cm/s
116	200	74220	7,37E-07
122	180	82738	7,72E-07
120	180	83252	7,55E-07
110	160	82660	7,84E-07
14	160	10882	7,58E-07
75	140	72745	6,94E-07
11	140	11395	6,50E-07
64	120	77465	6,49E-07
62	120	76130	6,40E-07
43	100	66939	6,06E-07
40	100	63480	5,94E-07

Tabla 35

Gradiente hidráulico y velocidad de descarga.

i=h/L	v
	cm/s
11,69	8,61E-06
10,52	8,13E-06
10,52	7,94E-06
9,35	7,33E-06
9,35	7,09E-06
8,18	5,68E-06
8,18	5,32E-06
7,01	4,55E-06
7,01	4,49E-06
5,84	3,54E-06
5,84	3,47E-06

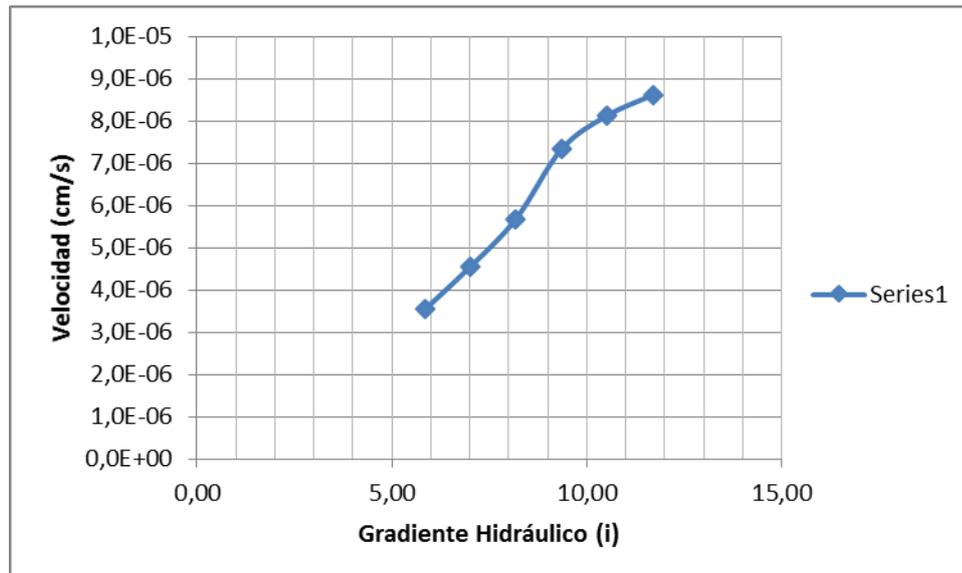


Figura 28: Gradiente hidráulico Vs. Velocidad de descarga

3.9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los trabajos concluidos en laboratorio se presentan a continuación los resultados obtenidos de todos los ensayos expuestos en el presente capítulo incluye el análisis de los mismos.

Con el análisis de resultados que se exponen a continuación es para verificar la variación de la permeabilidad y las condiciones en las que se producen las mismas con el uso del Geotextil como parte del filtro así como las condiciones de permeabilidad sin geotextil.

Granulometría

El material filtrante para rellenar zanjas, debajo alrededor y sobre los tubos de drenaje, como medio permeable para subdrenes y otros propósitos semejantes, es roca o piedra triturada y arena dura, limpia y durable, libre de materias orgánicas, terrones de arcilla u otras sustancias inconvenientes. Cuando se utilice geotextiles para el subdren el material de filtro serán agregados que pasen el tamiz de 3 pulgadas y retenga el tamiz de 1 pulgada (NEVI-12, 2013).

Se anota a continuación la granulometría de los materiales de filtro según las especificaciones del NEVI-12 Clase 1 (Tipo A o B) o Clase 2, para compararlo luego con la granulometría de los suelos usados en el núcleo de la presa.

Tabla 36

Granulometría material de filtro Clase 1 Tipo A

CLASE 1 TIPO A		
Tamiz #	PASA (MIN)	PASA (MAX)
mm	%	%
19,000	100	100
12,500	95	100
9,500	70	100
4,750	0	55
2,360	0	10
0,075	0	3

Fuente: (NEVI-12, 2013)

Tabla 37

Granulometría material de filtro Clase 1 Tipo B

CLASE 1 TIPO B		
Tamiz #	PASA (MIN)	PASA (MAX)
mm	%	%
19,000	50	100
9,500	15	55
4,750	0	25
2,360	0	5
0,075	0	3

Fuente: (NEVI-12, 2013)

A continuación se presenta las gráficas de curva granulométrica de la Presa Río Grande y de material de filtro Clase 1 (Tipo A y B) y Clase 2.

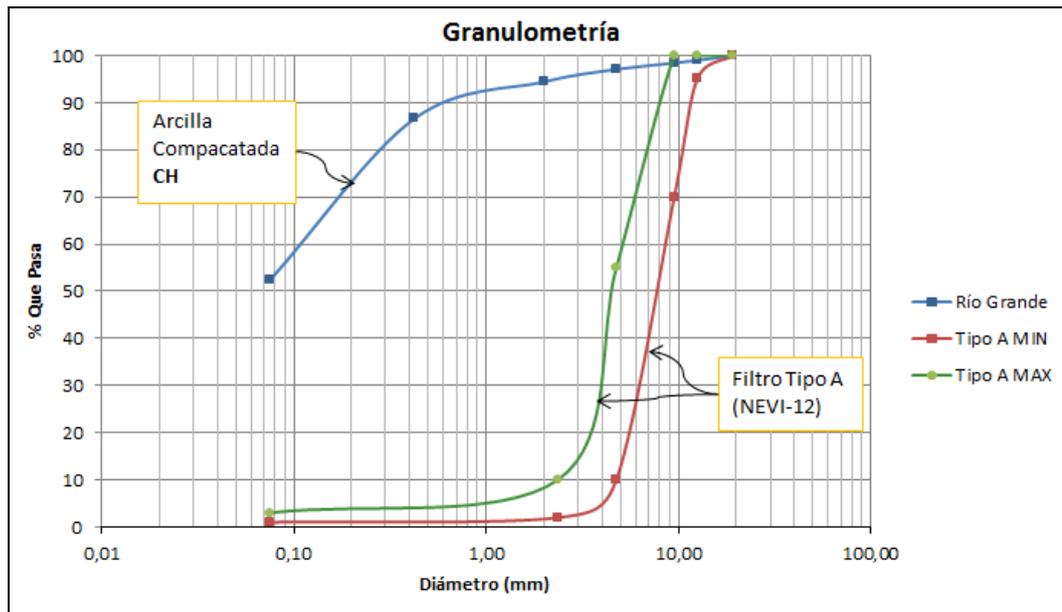


Figura 29 : Granulometría comparativa entre Filtro tipo A NEVI-12 y arcillas del núcleo presa Río Grande

En la figura 29 se puede notar la diferencia de las granulometrías entre una arcilla y el material de filtro drenante (NEVI-12). La arcilla trabaja compactada y reduce su permeabilidad al extremo de condiciones en las que puede ser hasta impermeable.

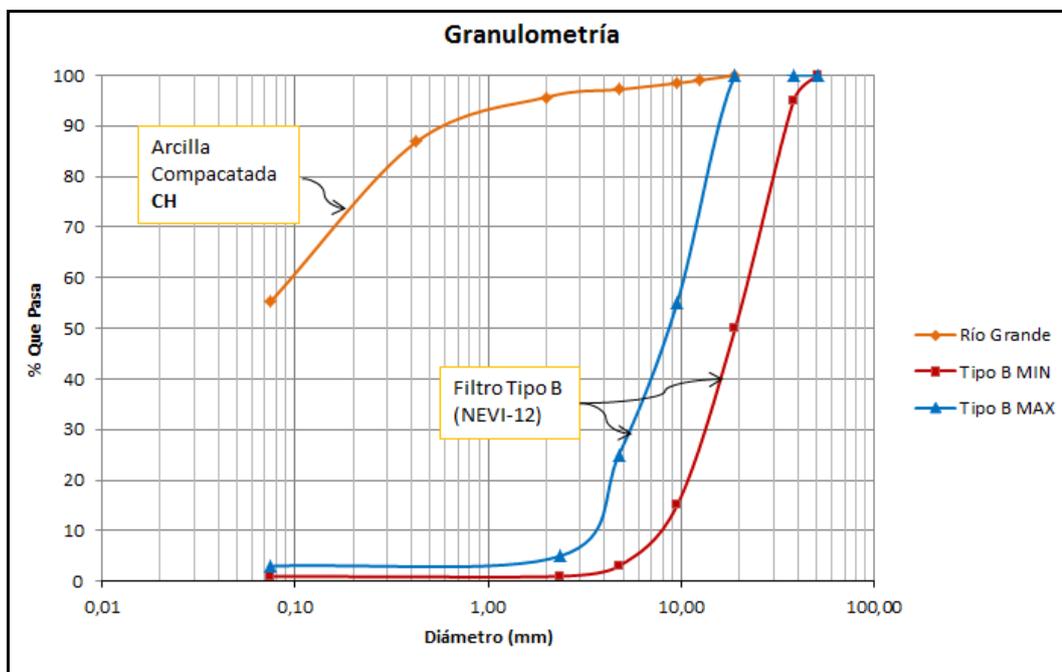


Figura 30: Granulometría comparativa entre Filtro tipo B NEVI-12 y arcillas del núcleo presa Río Grande

En la figura 30 también se realiza un análisis comparativo entre filtro NEVI-12 y arcilla compactada CH, y la diferencia entre granulometrias es evidente.

Tabla 38

Granulometría material de filtro Clase 2

CLASE 2		
Tamiz #	PASA (MIN)	PASA (MAX)
mm	%	%
19,000	90	100
9,500	40	100
4,750	25	40
2,360	18	30
0,600	5	15
0,300	0	7
0,075	0	3

Fuente: (NEVI-12, 2013)

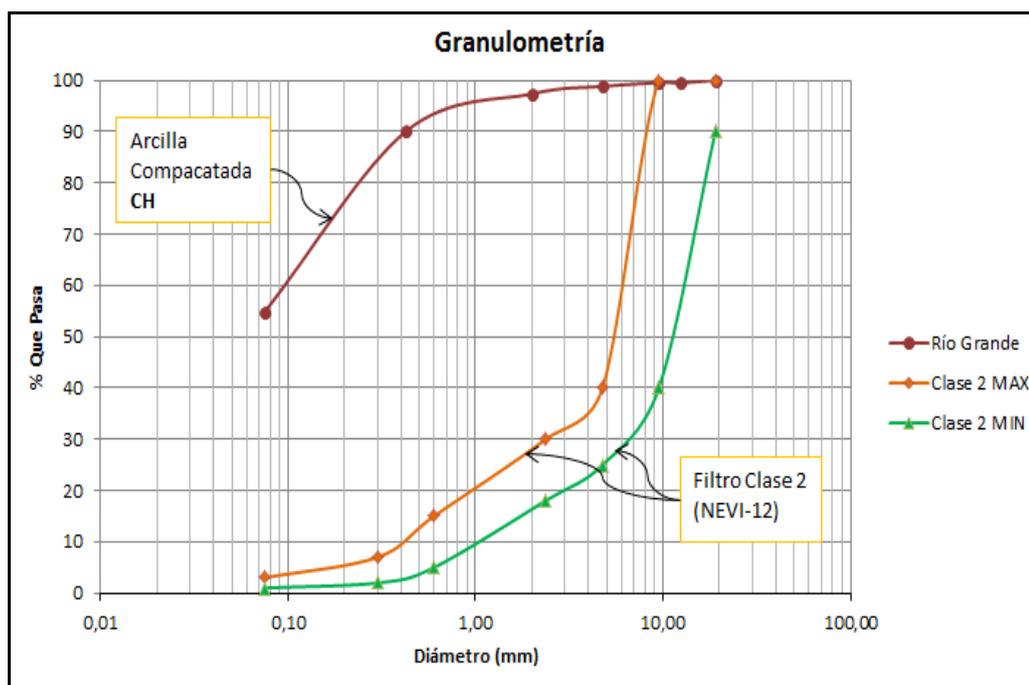


Figura 31: Granulometría comparativa entre Filtro clase 2 NEVI-12 y arcillas del núcleo presa Río Grande

Del análisis comparativo entre las gráficas de granulometría de las 3 muestras del núcleo de la presa Río Grande, y las gráficas de granulometría de material de filtro Clase 1 (Tipo A y B) y Clase 2 de las tablas 31, 32 y 33, se observa que el comportamiento de la granulometría del material de filtro

es totalmente diferente a la granulometría de arcilla compactada, ya que los filtros NEVI-12 son permeables mientras que las arcillas no.

El material de filtro Clase 1 y Clase 2, son agregados que pasan el tamiz de 3 pulgadas y retenido en el tamiz de 1 pulgada materiales de grano grueso con respecto al material del núcleo de la Presa Río Grande que son arcillas de alta compresibilidad (CH).

Límites de Atterberg y Clasificación SUCS

En la carta de plasticidad de Casagrande que se presenta en la figura 32 se puede observar que poseen límite líquido mayor que 50 ($LI > 50$) e índice de plasticidad mayor que 23 ($IP > 23$) por encima de la línea A lo cual caracteriza a un suelo arcilloso de alta compresibilidad CH.

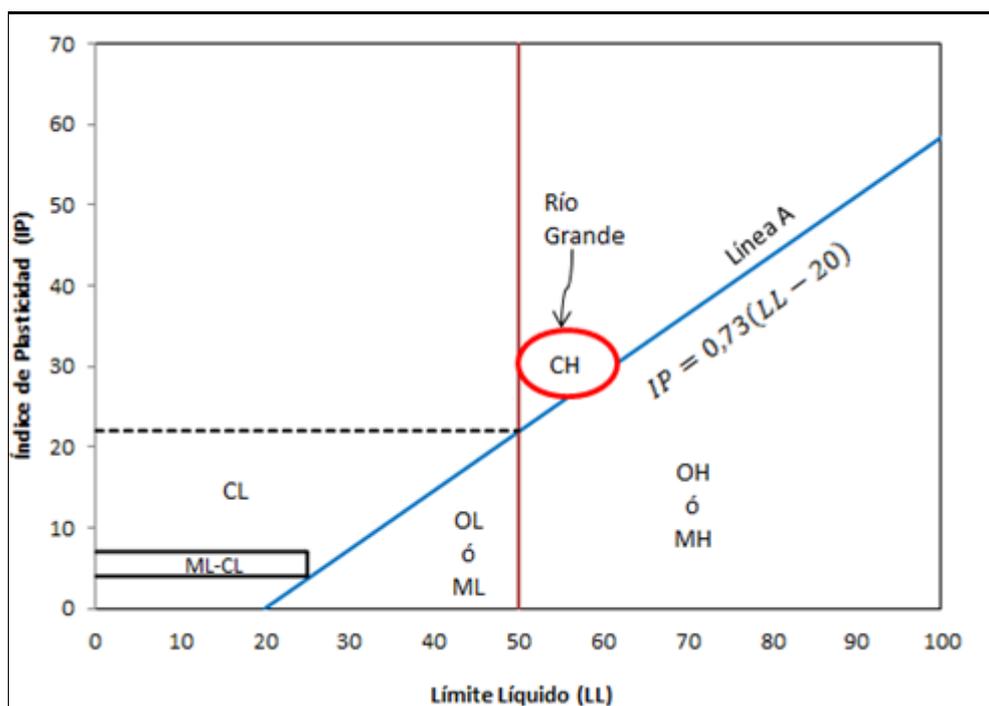


Figura 32: Carta de Plasticidad

Resultados de Permeabilidad

Como los ensayos de permeabilidad no fueron realizados bajo las mismas condiciones, el análisis de las muestras de suelo con y sin geotextil se realiza por separado.

Tabla 39

Permeabilidad con geotextil sin geotextil

Con Geotextil			Sin Geotextil
muestra 1	muestra 2	muestra 3	muestra 4
k(cm/s)	k(cm/s)	k(cm/s)	k(cm/s)
4,23E-07	4,79E-07	7,37E-07	2,38E-07
4,73E-07	7,03E-07	7,72E-07	2,23E-07
4,34E-07	7,29E-07	7,55E-07	2,95E-07
3,62E-07	5,46E-07	7,84E-07	2,12E-07
3,23E-07	5,23E-07	7,58E-07	2,81E-07
3,03E-07	5,33E-07	6,94E-07	1,65E-07
2,91E-07	5,39E-07	6,50E-07	
2,65E-07	5,04E-07	6,49E-07	

Los ensayos de permeabilidad se realizaron en suelos compactados CH, iniciando con un porcentaje de humedad óptimo correspondiente al ensayo proctor, para luego saturar la muestra en un tiempo de 7 a 8 días.

Para verificar los resultados de dichos ensayos se realizó ensayo de consolidación obteniendo valores de permeabilidad para diferentes presiones de consolidación como se indica en la tabla 35.

Tabla 40
Permeabilidad Ensayo de Consolidación

Consolidación	
k(cm/s)	P (kg/cm ²)
1,15E-09	0,51
9,08E-10	1,05
1,52E-09	2,09
5,11E-10	4,7
8,76E-09	8,35

Con los datos de las tablas 34 y 35 se grafica la permeabilidad de las cuatro muestras de suelo conjuntamente con el ensayo de consolidación.

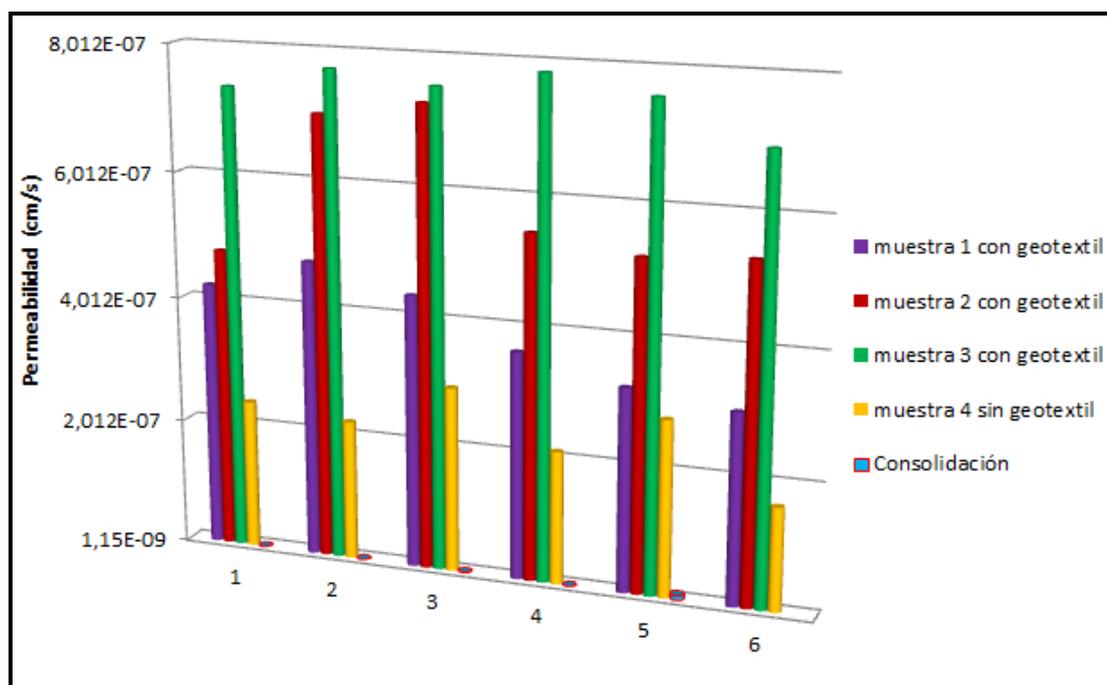


Figura 33: Variación de valores de Permeabilidad con geotextil sin geotextil y consolidación

Con Geotextil (muestra 1, muestra 2, muestra 3)

Las permeabilidades medidas varían de $k=2,65E-07$ cm/s a $k=7,84E-07$ cm/s, esta variación se justifica por la diferencia de la granulometría de cada una de las tres muestras de suelo al momento de los ensayos con carga constante.

Sin Geotextil (muestra 4)

Los valores de permeabilidad están en un rango de $k= 1,65E-07$ cm/s a $k=2,95E-07$ cm/s, igualmente la variación se justifica por la diferencia de la granulometría de la muestra ensayada.

Para el ensayo de consolidación se utilizó muestra de suelo arcilla CH procedente del núcleo de la presa con granulometría pasante del tamiz N° 200 (0,0075mm) 45,31 gramos el ensayo se realizó en muestra remoldeada, los resultados indican que los valores de permeabilidad para muestra consolidada están entre $k= 1,15E-09$ cm/s a $k=9,08E-10$ cm/s, lo cual indica un valor prácticamente impermeable en condiciones reales.

Tabla 41

Permeabilidad con porcentaje pasa tamiz N° 200

N° Muestra	Permeabilidad (cm/s)		% pasa Tamiz N° 200
1	2,65E-07	4,73E-07	55
2	4,79E-07	7,29E-07	55
3	6,50E-07	7,84E-07	55

La permeabilidad varía entre 2,65E-07 a 7,84E-07 con un porcentaje de 55 por ciento de tamaño de finos para las tres muestras en la tabla 36 se anotan los resultados comparándolos con los porcentajes pasante del tamiz N° 200 para conocer el porcentaje de finos en cada muestra.

Variación de la Permeabilidad con el tiempo

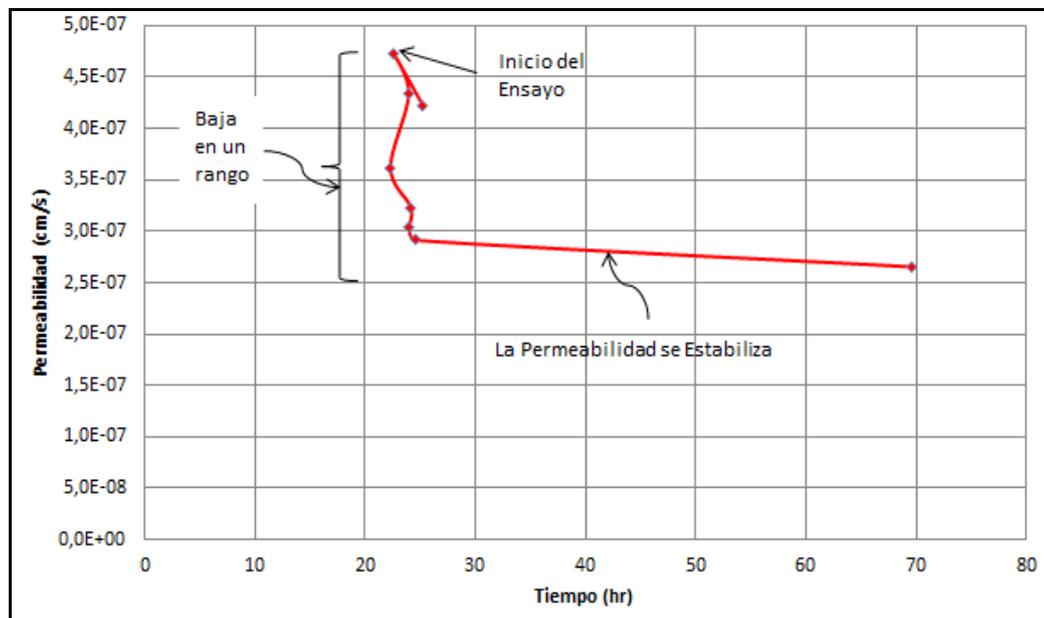


Figura 34: Permeabilidad en el tiempo

Una vez que se ha saturado la muestra se tomó los datos de caudal y tiempo para el cálculo de permeabilidad, y se observó que conforme avanza los días de ensayo, el caudal se disminuye por lo que la muestra se hace más impermeable, esto se puede observar en la figura 35 se mantiene en un rango entre las 20-30 horas de ensayo, y se estabiliza hasta las 70 horas.

CAPÍTULO 4:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Luego de analizar los resultados de los ensayos de laboratorio y gabinete las principales conclusiones correspondientes al presente trabajo son:

- El uso del geotextil en la presa Río Grande sirve como material separador de dos tipos de suelos compactados distintos como son el núcleo y espaldón de la presa e impide el flujo de materiales finos sin afectar en mayor grado la permeabilidad del núcleo.
- Del ensayo de granulometría por lavado y sedimentación de las tres muestras de suelo ensayadas, confirman un tipo de suelo CH, siendo el contenido de arcillas de 11%, 10% y 12%.
- Con el análisis granulométrico por el método del hidrómetro ratificamos los porcentajes de arcilla de las muestras analizadas.
- De los ensayos de permeabilidad de las tres muestras con geotextil se concluye que conforme pasan los días el caudal disminuye en un tiempo dado, y por tanto la permeabilidad se estabiliza en un rango definido.
- La permeabilidad del suelo CH compactado material sin geotextil es menor a la permeabilidad del mismo suelo CH compactado cubierto con geotextil pero en rangos extremadamente bajos de 10^{-7} cm/s.
- Del análisis de ensayo de consolidación se llegó a obtener un coeficiente de permeabilidad de 10^{-9} cm/s, por lo que se ratifica que el suelo del núcleo de la presa Río Grande es impermeable y corresponde a una arcilla.
- El geotextil ayuda a evitar el arrastre de finos en condiciones de suelo saturado esto se pudo observar en las muestras de ensayo.

4.2. Recomendaciones

- Para la realización correcta de granulometría de materiales finos, se recomienda dejar que la muestra se diluya ya que los materiales no se disgregan aun con el uso de defloculante, y se puede llegar a obtener una clasificación de suelos errónea.
- Se recomienda considerar la variación de la permeabilidad del material del núcleo por la presencia del geotextil a fin de tener una mejor apreciación del caudal que pasa por el cuerpo de una presa de materiales sueltos
- Verificar en futuras investigaciones el efecto que se produce en la permeabilidad con la colmatación de los geotextiles en el trabajo conjunto con arcillas.

Bibliografía

1. Badillo, J., & Rodríguez, R. (1992). *Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. (Tercera ed., Vol. Tomo 1). México: Limusa.
2. Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Desing*. (Quinta ed.). International , McGraw-Hill.
3. Braja, M. D. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. International Thomson S.A. de C.V.
4. Braja, M. D. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering* (Seventh ed.). Cengage Learning.
5. Caballero, D. R., & Ángeles, J. P. (2013). *Compendio de Geología General*. (Primera ed.). Macro EIRL.
6. Covo, A. I. (2003). *Introducción a la Mecánica de Suelos*. Colombia.
7. Escobar, G. D. (2002). *Manual de Geología Para Ingenieros*. Colombia.
8. GEOSINTÉTICOS, I. S. (2007).
<http://www.iyg.com.ec/productos5.htm>. Recuperado el 14 de 09 de 2015
9. González, d. V., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación, S.A.
10. INAMHI. (Febrero de 2008). *Estudio Hidrológico de Inundaciones en la Cuenca alta del Río Chone (Subcuencas: Garrapata, Mosquito y Grande)*. Recuperado el 24 de 10 de 2015, de <http://issuu.com/inamhi/docs/chone/10>
11. Lambe, T., & Whitman, R. V. (1991). *Mecánica de Suelos*. Limusa.
12. MCPEC. (2011). *Ministerio de Coordinación de la Productividad Empleo y Competitividad*.
13. NEVI-12, M. d. (2013). *Especificaciones Generales para la construcción de caminos y Puentes* (Vol. III). Quito.
14. Novak, P., Moffat, A., & Nalluri, C. (2001). *Estructuras Hidráulicas*. (Segunda ed.). McGraw-Hill Interamericana S.A.
15. PAVCO, D. d. (2012). *Manual de Diseño con Geosinteticos* (Novena ed.).

16. Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (s.f.). *Ingeniería de Cimentaciones*. Limusa.
17. Pérez, E., & Menéndez, I. (2014). *Hidráulica Subterránea*. Madrid: Garceta.
18. Sandoval, W. (2011). *Principios de la Hidráulica*. Quito.
19. Sowers, G. B., & Sowers, G. F. (1972). *Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. (Primera ed.). Limusa-wiley S.A.
20. Taylor, D. W. (1961). *Principios Fundamentales de Mecánica de Suelos*. México: continental S.A.
21. Villalaz, C. C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. (Quinta ed.). Limusa S.A.