UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

"INFLUENCIA DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD Y GRADO DE COMPACTACIÓN EN EL EFECTO DEL SIFONAMIENTO DEL NÚCLEO DE PRESA DE TIERRA"

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

GEOTECNIA

PRESENTADO POR

Bach. HUAMAN VARGAS, Juan Tony

Bach. ZANABRIA CALDERON, José Smith

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCAVELICA – PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Huancavelica, a los veintitrés días (23) del mes de diciembre del año 2020, siendo las diecisiete horas (17:00), se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los docentes: **Ing. Carlos GASPAR PACO (PRESIDENTE), M.Sc. Iván Arturo AYALA BIZARRO (SECRETARIO), Mg. Jorge Luis ORTEGA VARGAS (VOCAL),** designados con Resolución de Decano Nº 187-2019-FCI-UNH, de fecha 16 de octubre del 2019, a fin de proceder con la sustentación y calificación virtual mediante el aplicativo MEET del informe final de tesis titulado: "INFLUENCIA DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD Y GRADO DE COMPACTACIÓN EN EL EFECTO DEL SIFONAMIENTO DEL NÚCLEO DE PRESA DE TIERRA", presentado por los Bachilleres **Juan Tony HUAMAN VARGAS y José Smith ZANABRIA CALDERON,** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**. Finalizada la sustentación virtual a horas..6:10PM..; se comunicó a los sustentantes y al público en general que los Miembros del Jurado abandonarán el aula virtual para deliberar el resultado:

Juan Tony HUAMAN VARGAS

APROBADO [X] POR ...UNANIMIDAD...

DESAPROBADO [ ]

José Smith ZANABRIA CALDERON

APROBADO [X] POR ...UNANIMIDAD...

DESAPROBADO [ ]

En señal de conformidad, firmamos a continuación:

Presidente

Secretario

Vocal

Vº Bº Decano

Título

"INFLUENCIA DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD Y GRADO DE COMPACTACIÓN EN EL EFECTO DEL SIFONAMIENTO DEL NÚCLEO DE PRESA DE TIERRA"

Autores

Bach. HUAMÁN VARGAS, JUAN TONY

y

Bach. ZANABRIA CALDERON, JOSÉ SMITH

Asesor

M.Sc. LÓPEZ BARRANTES, MARCO ANTONIO

Dedicatoria

A Dios porque está conmigo a cada paso que doy, a mi Ángel de la Guarda por cuidar de mí, a mis padres: Juan y Francisca, quienes velan por mi bienestar y mi formación profesional, a mis hermanos: Ruth Mery; por su apoyo incondicional y Marco Antonio; por su gran cariño y aprecio.

HUAMÁN VARGAS, Juan Tony

A mi familia, a mis padres por el constante apoyo durante toda mi formación como personal y profesional, por ser mis guías en todo momento de mi vida, y es gracias a ellos que he llegado a este punto de mi vida.

ZANABRIA CALDERÓN, José Smith

Tabla de Contenido

Acta de Sustentación I

Título II

Autores III

Asesor IV

Dedicatoria V

Tabla de Contenido V

Tabla de contenido de Figuras VIII

Tabla de contenido de Cuadros X

RESUMEN XII

ABSTRAC XIII

INTRODUCCIÓN XIV

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

1.1. Descripción del problema 1

1.2. Formulación del problema 3

1.2.1. Problema general 3

1.2.2. Problemas Específicos 4

1.3. Objetivos 4

1.3.1. Objetivo general 4
1.3.2. Objetivos Específicos 4
1.4. Justificación 4

2. MARCO TEÓRICO 5
2.1. Antecedentes 5
2.1.1. Antecedentes Internacionales 5
2.1.2. Antecedentes Nacionales 6
2.1.3. Antecedentes Locales 7
2.2. Bases Teóricas 8
2.2.1. Generalidades 8
2.2.2. Análisis granulométrico 8
2.2.3. Límites de Atterberg 9
2.2.4. Clasificación e identificación de suelos 11
2.2.5. Compactación 14
2.2.6. Presas de tierra 15
2.3. Hipótesis 17
2.3.1. Hipótesis general 17
2.3.2. Hipótesis Específicas 17
2.4. Definición de operativa de variables e indicadores 19

3. MATERIALES Y MÉTODOS 20
3.1. Materiales 20
3.1.1. Maqueta de presa 20
3.1.2. Núcleo de tierra 24
3.1.3. Bobina de hilo 36
3.1.4. Material granular 37
3.1.5. Agua almacenada 37
3.2. Aspectos metodológicos 38
3.2.1. Tipo y nivel de investigación 38
3.2.2. Método de investigación 39
3.2.3. Diseño de investigación 39

3.2.4. Población y Muestra 40

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS **41**

4.1. Consideraciones iniciales 41

4.2. Presentación y Análisis de resultados 43

4.3. Discusión de resultados 49

CONCLUSIONES **52**

SUGERENCIAS **53**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **54**

APÉNDICES **56**

A. Matriz de consistencia **57**

B. Panel fotográfico **59**

C. Hojas de resultado **63**

Tabla de contenido de Figuras

2.1. Clasificación de los materiales según la ASTM. 8
2.2. Límites de Atterberg. 9
2.3. Clasificación de suelos sistema AASHTO. 12
2.4. Sistema de Clasificación de suelos (SUCS). 13
2.5. Carta de plasticidad para clasificación de suelos de partículas finas . . 13

3.1. Vista en perfil de la presa a escala real 21
3.2. Vista isométrica de la presa en escala real 21
3.3. Maqueta de trabajo 22
3.4. Vista en perfil de la presa escalada (esc: 1/150) 23
3.5. Vista isométrica de la presa escalada (esc: 1/150) 23
3.6. Curva de fluidez de la muestra M-01 25
3.7. Curva de fluidez de la muestra M-02 26
3.8. Curva de fluidez de la muestra M-03 27
3.9. Curva granulométrica del material M-1 29
3.10. Curva granulométrica del material M-2 30
3.11. Curva granulométrica del material M-3 31
3.12. Ensayo de Proctor Estandar para la muestra M-01 33
3.13. Ensayo de Proctor Estándar para la muestra M-02 34
3.14. Ensayo de Proctor Estándar para la muestra M-03 36
3.15. Hilo de algodón 37
3.16. Material granular en la presa 37
3.17. Agua almacenada en la presa escalada 38

4.1. Procedimiento de obtención de datos 41

4.2. Dimensiones en perfil de la presa escalada (esc 1/150) 42
4.3. Elaboración de presa escalada (esc 1/150) 42
4.4. Estimación de energía y grado de compactación 43
4.5. Resultados del tiempo de servicio e infiltración de las presas 43
4.6. Tiempo de servicio e infiltración registrada 44
4.7. Resumen de resultados registrados 45
4.8. Infiltración máxima registrada 45
4.9. Tiempo de servicio alcanzado 46
4.10. Relación Infiltración máxima y Tiempo de servicio 47
4.11. Tendencia sobre efecto de sifonamiento en el tiempo de servicio . . . 48

B.1. Maqueta de experimentación 59
B.2. Pesas empleadas para la compactación 59
B.3. Proceso de compactación 60
B.4. Incorporación de hilos en el cuerpo de la presa 60
B.5. Construcción de la presa por capas compactadas 60
B.6. Embalsamiento de agua 61
B.7. Saturación e infiltración en el núcleo de tierra 61
B.8. Colapso de la presa 62
B.9. Colapso del núcleo de la presa de tierra 62

Tabla de contenido de Cuadros

2.1. Operacionalización de variables 19

3.1. Límite líquido de la muestra M-01 24
3.2. Límite plástico de la muestra M-01 25
3.3. Límite líquido de la muestra M-02 26
3.4. Límite plástico de la muestra M-02 26
3.5. Límite líquido de la muestra M-03 27
3.6. Límite plástico de la muestra M-03 28
3.7. Análisis granulométrico del primer material 28
3.8. Análisis granulométrico del segundo material 30
3.9. Análisis granulométrico del tercer material 31
3.10. Determinación del Contenido de humedad de la muestra M-01 32
3.11. Determinación de densidades de la muestra M-01 32
3.12. Determinación del Contenido de humedad de la muestra M-02 33
3.13. Determinación de densidades de la muestra M-02 34
3.14. Determinación del Contenido de humedad de la muestra M-03 35
3.15. Determinación de densidades de la muestra M-03 35

RESUMEN

La presente investigación lleva por titulo: “INFLUENCIA DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD Y GRADO DE COMPACTACIÓN EN EL EFECTO DEL SIFONAMIENTO DEL NÚCLEO DE PRESA DE TIERRA”,con el objetivo principal determinar de qué manera el índice de plasticidad y el grado de compactación influyen en el efecto de sifonamiento del núcleo de presa de tierra, y los objetivos específicos planteados fueron 1. Determinar de qué manera el índice de plasticidad influye en el efecto del sifonamiento del núcleo de presa de tierra 2. Determinar de qué manera el grado de compactación influye en el efecto del sifonamiento del núcleo de presa de tierra. La investigación es aplicada de nivel explicativo, para lo cual se elaboraron nueve presas de tierra a una escala de 1/150 con tres índices de plasticidad distintos, además se empleó tres tipos de presas para la compactación de estas, mediante las cuales se determinó la energía de compactación y el grado de compactación a la cual representa, y a lo largo del núcleo de presa de tierra se colocaron hilos que representarían el efecto del sifonamiento. Los resultados obtenidos de los experimentos realizados fueron con tres tipos de material empleados (IP de 11 %, 13.63 % y 26.8 %), la presa que consiguió cumplir su tiempo de servicio aun estando bajo efectos de sifonamiento inducido fue la de mayor IP (26.8 %), así también, respecto al grado de compactación, a menor grado de compactación existe mayor descenso de nivel de agua almacenada comprometiendo el tiempo de servicio de la estructura.

Palabras Clave: Índice de plasticidad, Grado de compactación y sifonamiento.

ABSTRAC

The present investigation was entitled: "INFLUENCE OF THE PLASTICITY INDEX AND DEGREE OF COMPACTION IN THE EFFECT OF THE SIPHONATION OF THE EARTH DAM NUCLEUS", The main objective of which is to determine how the plasticity index and the degree of compaction influence the siphoning effect of the earth dam core, for which the specific objective set was 1. Determine how the plasticity index influences the the siphoning effect of the earth dam core 2. Determine how the degree of compaction influences the siphoning effect of the earth dam core. The research was of an applied type, with an explanatory research level. For which 9 earth dams were elaborated at a scale of 1/150 with three different plasticity indexes, in addition, three types of weight were used for their compaction, which based on the compaction energy the degree of compaction was estimated which it represents, and threads were placed along the earth core that would represent the siphoning effect. The results obtained from these experiments were that of the three types of material used (IP of 11 %, 13.63 % and 26.8 %), the dam that managed to fulfill its service time even being under the effects of induced siphoning was that of The higher IP (26.8 %), as well as, regarding the degree of compaction, the lower the degree of compaction there is a greater decrease in the level of stored water, compromising the service time of the structure.

keywords: Plasticity index, degree of compaction and siphoning.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno de sifonamiento (tubificación) es muy común en una presa de tierra, siendo una de las principales causas de graves fallas muchas veces catastróficas que puede provocar desastres que afecten a la población y el más grave es el generado por el sifonamiento mecánico. Esta causa de falla es reconocida como la segunda de mayor ocurrencia en el mundo luego del rebase de la cortina; puesto que el agua arrastra una partícula entre los huecos de un suelo dependiendo de la relación entre los tamaños de las partículas, los huecos y del gradiente hidráulico.

El flujo arrastra las partículas por las líneas de corriente en el interior de la masa del terreno formándose un hueco tubular. Como el terreno es heterogéneo, si en un punto el flujo alcanza mayor velocidad, se produce un primer arrastre de partículas generando un aumento del gradiente hidráulico y una progresión en la erosión al formarse un tubo donde el régimen es turbulento. Este fenómeno es propicio en suelos dispersivos.

Siendo un fenómeno poco comprendido se hace necesario su investigación tomando en cuenta los antecedentes y teorías que fundamentan la importancia de su estudio para generar nuevas alternativas para el efecto de sifonamiento, ya que si falla la presa por el efecto del sifonamiento representaría un enorme daño, ya sean daños materiales o hasta pérdidas de vidas humanas.

Para lo cual se elaboraron presas a una escala de 1/150 con distintos índices de plasticidad (IP de 11 %, 13.63 % y 26.8 %) y con diferentes grados de compactación

(75.97 %, 85.47 % y a 94.97 %), colocando en el núcleo de tierra de la presa hilos que representen el efecto del sifonamiento en el núcleo de la presa de tierra, como modelos de ensayo que permiten probar la importancia del índice de plasticidad y el grado de compactación

La presente investigación estuvo constituida por cuatro capítulos:

CAPITULO I: Planteamiento del problema

CAPITULO II: Marco teórico

CAPITULO III: Materiales y métodos

CAPITULO IV: Discusión de resultados

Capítulo 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

A lo largo de la historia el hombre ha buscado almacenar recursos para hacer uso de ellos posteriormente, este comportamiento se aplica hasta la actualidad; siendo un ejemplo de ello las presas que almacenan agua, ya que es un elemento vital para la subsistencia del hombre que lo utiliza para diversos fines. Por ello se crearon las presas de tierra principalmente con el fin de almacenar un considerable volumen de agua. Si bien el diseño y construcción de una presa de tierra se realiza con el objetivo de almacenar, derivar agua o regular avenidas, estas obras durante su vida útil se ven afectadas con la aparición de fenómenos desestabilizadores que limitan su explotación y atentan contra su seguridad. Una de las principales causas de fallas graves o catastróficas que puede provocar desastres que afectan a la población es el sifonamiento mecánico. Esta causa de falla es reconocida como la segunda de mayor ocurrencia en el mundo luego del rebase de la cortina.

Hernandez y Guardado (2015) mencionan que, las presas de tierra son estructuras de suelo y roca que permiten el aprovechamiento de los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas al embalsar los mismos para su posterior entrega con diferen-

tes garantías, mitigando los efectos de los periodos de sequía o de inundaciones para beneficio de la sociedad, la calidad del proceso de compactación de los materiales térreos que conforman el terraplén de la cortina de una presa de tierra es vital para garantizar la seguridad de este tipo de obra, desde la propia etapa de construcción y durante los años de vida útil.

Tanto la construcción de presas de tierra como los colapsos de estas son comunes en todo el mundo; Martin (2016) señaló que en Cuba se cuentan numerosas fallas ocurridas en los embalses, aunque de ellas la única catastrófica en la presa "Las Cabreras" fue por sifonamiento, producto de la existencia de suelos dispersivos, suelos arcillosos naturales que se dispersan o defloculan en presencia de agua relativamente pura, y son altamente susceptibles a la erosión interna, fenómeno también conocido como "tubificación", incluso cuando el flujo de agua al que se encuentran expuestos tiene poca o ninguna velocidad (gradiente hidráulico casi nulo).

De acuerdo al registro que maneja la Autoridad Nacional del Agua (2016), el Perú cuenta con un total de 743 presas, y de acuerdo a este registro entre los tipos de presa identificados, predominan las presas de gravedad (294) y luego las presas conformados por materiales sueltos (249). Este número significativo de presas se traduce en beneficio para el riego no obstante está acompañado de un riesgo debido al sifonamiento, pudiendo ocasionar daños a las personas y propiedades alterar las condiciones ambientales aguas debajo de la ubicación de la misma.

Un problema sobre el sifonamiento en el Perú, se dio en la presa de relave minero de caudalosa chica. El cual, según menciona Pinto (2010). Un viernes 25 de junio del 2010, se produjo el fraccionamiento del dique de una de las tres canchas de relave perteneciente a la Compañía Minera Caudalosa S.A. Este hecho sucedió a las 8 p.m. (pág. 325). Afectando a la población ganadera de la zona, contaminando el agua del río, afectando a la producción piscícola de la zona.

Esta realidad no es ajena a nuestra región, ya que En nuestra región de Huanca-

velica, específicamente en el distrito de Huando el 22/12/2009 se encontró que la represa Allcca Cocha colapsó por efectos de sifonamiento, trayendo perdidas económicas de S/ 10'459,128.00 (diez millones cuatro cientos cincuenta y nueve mil ciento veintiocho con 00/100 Soles). En ese sentido las autoridades de la municipalidad distrital de Huando juntamente con el Gobierno Regional de Huancavelica a través de su ente ejecutor no tomaron precauciones al respecto y como no se preocuparon en solucionar dicho problema.

Debido a que una presa es de vital importancia para el aprovechamiento del agua, es importante que haya un estudio local que sustente el mejoramiento de las fallas por sifonamiento, variando el índice de plasticidad y el grado de compactación en los núcleos de presas de tierra, por ello es necesario realizar un modelo físico que sustente la importancia de tomar en cuenta las causas y consecuencias del sifonamiento mecánico porque de continuar con la construcción de presas de tierra sin tener en cuenta que tipo de Índice de Plasticidad (IP) y Grado de Compactación generarán futuras presas colapsadas y con ello destrucción de la ecología así como la malversación de dinero por parte del Gobierno regional de Huancavelica, perjudicando a la población.

1.2. Formulación del problema

Debido a lo mencionado, es necesario llevar a cabo la presente investigación formulando las siguientes interrogantes:

1.2.1. Problema general

¿De qué manera el índice de plasticidad y grado de compactación influye en el efecto del sifonamiento del núcleo de presa de tierra?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿De qué manera el índice de plasticidad influye en el efecto del sifonamiento del núcleo de presa de tierra?
- ¿De qué manera el grado de compactación influye en el efecto del sifonamiento del núcleo de presa de tierra?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar de qué manera el índice de plasticidad y grado de compactación influye en el efecto del sifonamiento del núcleo de presa de tierra.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar de qué manera el índice de plasticidad influye en el efecto del sifonamiento del núcleo de presa de tierra.
- Determinar de qué manera el grado de compactación influye en el efecto del sifonamiento del núcleo de presa de tierra.

1.4. Justificación

Debido a que existen múltiples casos de colapsos de presas de tierra, y siendo el sifonamiento el principal causante de este tipo de eventos, es necesario conocer el comportamiento que tiene éste frente al índice de plasticidad del material que conforma el núcleo de la presa de tierra y el grado de compactación de ésta para un tiempo de servicio. Es así que, mediante la realización de la presente investigación se obtuvo parámetros que dan una idea mas profunda del tema, a fin de tomar las medidas del caso tanto en la etapa de construcción de las presas de tierra como también en el mantenimiento de estas estructuras, evitándose así eventos perjudiciales de perdidas económicas y materiales que causa el colapso de este tipo de presas.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

A. Molina et al. (2016), realizaron el Paper titulado "Análisis y solución de la patología en presas de cuba: Estado del Arte", llegaron a la conclusión de que: El sifonamiento, tercera causa de falla en orden de ocurrencia, ha causado la única falla catastrófica de una presa en Cuba, inevitable por la presencia de suelos dispersivos. Para el sifonamiento mecánico y las pérdidas por filtración los dos métodos de solución más comunes son las inyecciones de aglomerantes e impermeabilizantes, y las pantallas de suelo-cemento. En Cuba, existe experiencia satisfactoria en la aplicación de la pantalla de suelo-cemento, compuesta por pilotes secantes.

B. Yılmaz y Erzin (2004), realizaron el Paper titulado "Selección de material de núcleo para una presa de tierra en la cuenca inferior de Çekerek, Tokat, Turquía", llegando a la conclusión: Para los materiales impermeables que se utilizarán en el núcleo de arcilla de las presas de tierra, se han propuesto límites de peso unitario máximo seco, contenido óptimo de agua, gravedad específica, límite de líquido e índice de plasticidad: gdmax¿1.60 g / cm3, Wopt= % 15-20, Gs¿2.60, LL = % 40-50 e Ip = % 14-20 (después de Yılmaz y Karacan, 1996).

Cuando los materiales se evaluaron de acuerdo con su peso unitario seco máximo (gdmax), el contenido óptimo de agua (Wopt), gravedad específica (Gs), límite de líquido (LL) e índice de plasticidad (Ip), todos los parámetros, excepto la gravedad específica, indicaron la característica indeseable como material de relleno impermeable. Especialmente el alto valor del contenido óptimo de agua restringe la utilidad. USBR (1987) señaló que el contenido óptimo de agua es un factor especialmente importante.

C. Lamas et al. (2002), realizaron el Paper titulado: "Geotechnical characterization of carbonate marls for the construction of impermeable dam cores" y llegaron a la siguiente conclusión: Los resultados de las diferentes pruebas muestran una clara relación entre expansión, plasticidad, actividad y capacidad de carga de los suelos estudiados y su Grado de compactación, determinado por el contenido de carbonato.

D. Gómez (2013), realizó la tesis "Efecto de las condiciones iniciales de compactación dinámica en la presión de preconsolidación de un suelo", llegando a la siguiente conclusión: 1) Se observa claramente la influencia de la estructura interna del suelo generado por la compactación, donde los macro-poros influyen principalmente en el comportamiento hidráulico del suelo y en la deformación más significativa. Para una misma densidad seca, la permeabilidad de una muestra compactada del lado seco es mayor que la compactada del lado húmedo con la misma densidad. 2) Estas reducciones de volumen pueden ocasionarse por un aumento de la carga de confinamiento (30kPa) y por un proceso de saturación bajo dicha carga (colapso). Este colapso se asocia a un cambio en la porosidad del suelo de tipo irreversible y, por tanto, a un comportamiento de tipo plástico y a un aumento en el tamaño de la superficie de fluencia en los modelos de plasticidad.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

A. Llique (2015), realizó la tesis titulada: "Influencia de la humedad de compactación en el comportamiento volumétrico de los suelos arcillosos" en la Universidad

Nacional de Trujillo, para optar el grado de Doctor en ciencias e ingeniería. Llegó a la siguiente conclusión: 1) En los suelos arcillosos de alta plasticidad CH y de baja plasticidad CL compactados con humedades menores y mayores a la óptima se estableció las relaciones causa efecto entre las variables humedad de compactación y comportamiento volumétrico, a mayor humedad menor expansión porque el grado de saturación tiende a 100 % y la fase gaseosa tiende a eliminarse. 2) El suelo con humedad menor a la óptima, los poros ocupados por aire están interconectados y expuestos a la presión exterior lo que determina un estado abierto; e en el suelo con humedad mayor a la óptima el aire en los poros está englobado por agua y determinan un estado ocluido.

B. Ocon (2013), realizó la tesis que llevó por nombre: "Influencia del índice plástico en el contenido de óptimo de humedad en suelos arcillosos", llegó a la conclusión: 1) El índice de plasticidad a medida que se va incrementando llega a un valor máximo con el cual se obtiene el máximo contenido de humedad óptima para suelos arcillosos de alta y baja plasticidad. 2) Una vez obtenido el máximo contenido de humedad óptima a medida que se incrementa el índice de plasticidad el máximo contenido de humedad óptima decrece para suelos arcillosos de alta y baja plasticidad del distrito de Cajamarca. 3) Para arcillas de alta plasticidad se obtiene el máximo contenido de humedad óptima (32.5 %) cuando el valor del índice de plasticidad crece hasta 29, también se observa que cuando el índice de plasticidad sigue creciendo el óptimo contenido de humedad decrece. 4) Para arcillas de baja plasticidad se obtiene el máximo contenido de humedad óptima (28 %) cuando el valor del índice de plasticidad crece hasta 20.05, también cuando el índice de plasticidad sigue creciendo el óptimo contenido de humedad decrece.

2.1.3. Antecedentes Locales

Referente al tema: "influencia del índice de plasticidad y grado de compactación en el efecto del sifonamiento del núcleo de presas de tierra", a la fecha no se ha encontrado investigaciones afines al tema de investigación en el ámbito local.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Generalidades

Las presas de material suelto son el tipo de presa más antiguo en la historia del hombre. Estas presas tienen la ventaja de que pueden ubicarse en todo tipo de sitios. Una de las principales desventajas de las presas de material suelto consiste en la infiltración tanto en el cuerpo de la presa como en su cimentación. La infiltración produce distintos efectos como pérdida de agua, presiones internas con componentes opuestas al efecto estabilizador del peso, y erosión interna progresiva (sifonamiento). (Reyna y Reyna, 2012)

2.2.2. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Para clasificar por tamaños las partículas gruesas el procedimiento más expedito es el tamizado ... Conocida la composición granulométrica del material, se le representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica del mismo. (Crespo, 2004)

Clasificación de los materiales según la A.S.T.M.

Arena gruesa	Entre 0.25 y 2.0 mm
Arena fina	Entre 0.05 y 0.25 mm
Limo (*silt*)	Entre 0.005 y 0.05 mm
Arcilla	Entre 0.001 y 0.005 mm
Arcilla coloidal	Menores a 0.001 mm

Figura 2.1: Clasificación de los materiales según la ASTM.
Fuente: Mecánica de suelos y cimentaciones, Crespo, 2004, pág. 60.

2.2.3. Límites de Atterberg

En 1900, un científico sueco llamado Albert Mauritz Atterberg desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con diferentes contenidos de humedad. Con un contenido de humedad muy bajo, el suelo se comporta más como un sólido quebradizo. Cuando el contenido de humedad es muy alto, el suelo y el agua pueden fluir como un líquido. Por lo tanto, sobre una base arbitraria, dependiendo del contenido de humedad, la naturaleza del comportamiento del suelo puede ser dividido en cuatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido, El contenido de agua en el punto de transición de estado semisólido a plástico es el límite plástico, y de estado plástico a líquido es el límite líquido. Esos límites se conocen también como límites de Atterberg (Braja, 2013), como muestra la Figura2.2.

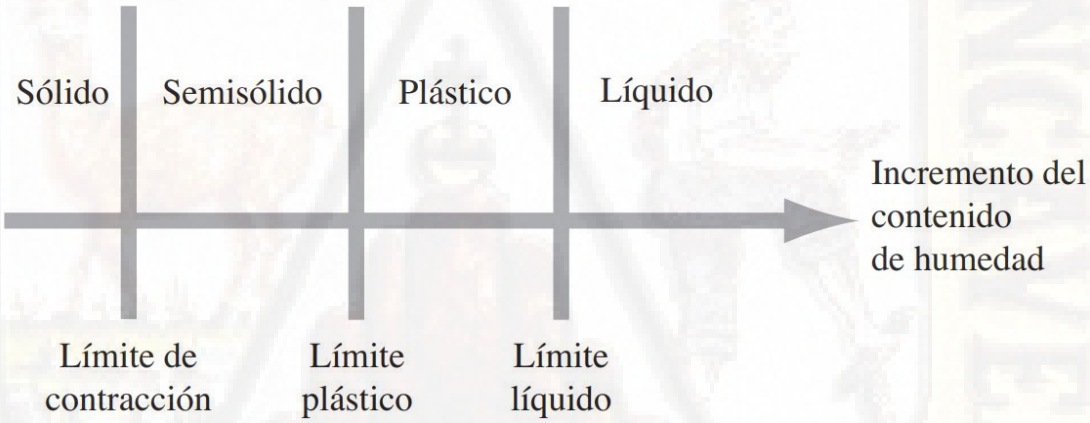


Figura 2.2: Límites de Atterberg.
Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica, Braja, 2013, pág.64.

2.2.3.1. Plasticidad y límites de consistencia

La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg, quien por medio de ellos separó los cuatro estados de consistencia de los suelos coherentes. (Crespo, 2004).

Así también, Berry y Reid (1993) lo conceptualizan estos limites de consistencia de la siguiente manera:

a). El limite de retración(contracción), WS o SL, que se define como el cambio del estado sólidio al estado semisolido o estado no plástico.

b). El limite plastico, WP o PL, que se define como el cambio entre el estado no plástico y el estado plástico.

c). El limite liquido, WL o LL, que se define como el cambio del estado plástico la estado liquido.

2.2.3.2. Utilización practica de los límites de Atterberg

En la actualidad, los límites de Atterberg son las determinaciones que con más asiduidad se practican en los laboratorios de Mecánica del Suelo. Su utilidad deriva de que, gracias a la experiencia acumulada en miles de determinaciones, es suficiente conocer sus valores para poderse dar una idea bastante clara del tipo de suelo y sus propiedades. Como por otra parte, se trata de determinaciones sencillas y rápidas, permiten una pronta identificación de los suelos y la selección adecuada de muestras típicas para ser sometidas a ensayos más complicados. Los límites de Atterberg pertenecen, junto al análisis granulométrico, al tipo de ensayos de identificación. Pero, si el análisis granulométrico nos permite conocer la magnitud cuantitativa de la fracción fina, los límites de Atterberg nos indican su calidad, completando así el conocimiento del suelo. Frecuentemente se utilizan los límites directamente en las especificaciones para controlar los suelos a utilizar en terraplenes. (Ocon, 2013)

2.2.3.3. Límite liquido

De acuerdo a lo señalado por Crespo (2004), el límite líquido es el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. Juárez y Rico (2005) también mencionan que, a partir de extensas investigaciones sobre los resultados obtenidos por Atterberg con su método original y usando determinaciones efectuadas en diferentes laboratorios, se estableció que el límite líquido obtenido por medio de la copa

de Casagrande corresponde al de Atterberg , si se define como el contenido de agua del suelo para el que la ranura se cierra a lo largo de 1.27 cm (1/2"), con 25 golpes en la copa.

2.2.3.4. Límite plástico

(Crespo, 2004) menciona que, el límite plástico (L.P.) se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

Así también, Juárez y Rico (2005) indican que, la prueba para la determinación del límite plástico, tal como Atterberg la definió, no especifica el diámetro a que debe llegarse al formar el cilindro de suelo requierido. Terzagui agregó la condición de que el diámetro sea de 3 mm (1/8"). Cuando los rollitos llegan a los 3 mm, se doblan y presionan, formando una pastilla que vuelve a rodarse, hasta que en los 3 mm justo ocurra el desmoronamiento y agrietamiento; en tal momento se determinará rápidamente su contenido de agua, que es el límite plástico. (pág. 133)

2.2.3.5. Índice de plasticidad

El índice de plasticidad (PI) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo, es decir, mediante la siguiente expresión: $IP = LL - PL$ (Braja, 2013)

El índice de plasticidad indica el margen de humedad dentro del caul se encuentra en estado plástico. Tanto el limite líquido como el límite plástico dependen de la cantidad y tipo de arcilla del suelo; sin embargo, el índice plástico depende generalmente de la cantidad de arcilla del suelo. (Crespo, 2004)

2.2.4. Clasificación e identificación de suelos

De acuerdo a lo que manifiestan Berry y Reid (1993), el objetivo de la clasificación de los suelos es aportar unas bases sobre las cuales puedan agruparse los suelos dependiendo de sus propiedades físicas y de su apariencia, con el propósito

de comparar diferentes suelos, describir sus propiedades y estimar su conveniencia para utilizarlos en un trabajo de ingeniería específico.

Así también, Braja (2013) señala que actualmente existen dos sistemas elaborados de clasificación que utilizan la distribución granulométrica y la plasticidad de los suelos son comúnmente utilizados para aplicaciones ingenieriles como American Association of State Highway Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Los cuales se describen a continuación:

2.2.4.1. Sistema de clasificación AASHTO

Este método, divide a los suelos en dos grandes grupos: Una formada por los suelos granulares y otra constituida por los suelos de granulometría fina. Y estos a su vez son clasificados en sub grupos, basándose en la composición granulométrica, el límite líquido y el índice de plasticidad. (Ocon, 2013)

Clasificación General	Materiales Granulares (35% o menos del total pasa el tamiz N° 200)							Materiales limo-arcillosos (más del 35% del total pasa el tamiz N°200)			
Clasificación de grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje de material que pasa el tamiz N° 10 N° 40 N° 200	 50 máx. 30 máx. 15 máx.	 51 máx. 25 máx.	 51 mín. 10 máx.	 35 máx.	 35 máx.	 35 máx	 35 máx	 36 mín.	 35 mín.	 36 mín.	 36 mín.
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 40 Limite Líquido, WL Índice Plástico, IP	6 máx.		NP	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 màx.	12 máx.	16 màx.	20 màx.

(Mora, S. 1988)

Figura 2.3: Clasificación de suelos sistema AASHTO.
Fuente: Ocon, 2013, Pág. 12.

2.2.4.2. Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS

Este sistema, como la clasificación anterior, divide a los suelos en dos grandes grupos: granulares y finos. Un suelo se considera grueso si más del 50 % de sus partículas se retienen en el tamiz N°200, y finos, si más de la mitad de sus partículas, pasa el tamiz N°200. (Ocon, 2013)

CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO			
FINOS ≥ 50 % pasa Malla # 200 (0.08 mm.)			
Tipo de Suelo	Símbolo	Lim. Liq.	Índice de Plasticidad * IP
Limos Inorgánicos	ML	< 50	< 0.73 (wl – 20) ó < 4
	MH	> 50	< 0.73 (wl – 20)
Arcillas Inorgánicas	CL	< 50	> 0.73 (wl – 20) y > 7
	CH	> 50	> 0.73 (wl – 20)
Limos o Arcillas Orgánicos	OL	< 50	** wl seco al horno ≤ 75 % del wl seco al aire
	OH	> 50	
Altamente Orgánicos	P_1	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.	
Si IP ≅ 0.73 (wl – 20) ó si IP entre 4 y 7 E IP > 0.73 (wl – 20), usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH			
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente wl seco al horno			
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica Ej: CH-MH en vez de CL-ML.			
Si wl = 50; CL-CH ó ML-MH			

CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO						
GRUESOS < 50 % pasa Malla # 200 (0.08 mm.)						
Tipo de Suelo	Símbolo	% RET Malla Nº 4	% Pasa Malla Nº 200	CU	CC	** IP
Gravas	GW	> ? 50% de lo Ret. En 0.08mm	< 5	> 4	1 a 3	
	GP			≤ 6	<1ó>3	
	GM		> 12			< 0.73 (wl-20 ó<4
	GC					>0.73 (wl-20) ó>7
Arenas	SW	< 50% de lo Ret. En 0.08 mm	< 5	> 6	1 a 3	
	SP			≤ 6	<1ó>3	
	SM		> 12			< 0.73 (wl-20) ó<4
	SC					> 0.73 (wl-20) y>7
* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM,SW-SM, SP-SC.						
** Si IP≅ 0.73 (wl-20) ó si IP entre 4 y 7 e IP>0.73 (wl-20), usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.						
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.						
$CU = \frac{D60}{D10}$				$CC = \frac{D30^2}{D60 * D10}$		

(Mora, S. 1988)

Figura 2.4: Sistema de Clasificación de suelos (SUCS).
Fuente: Ocon, 2013, Pág. 14.

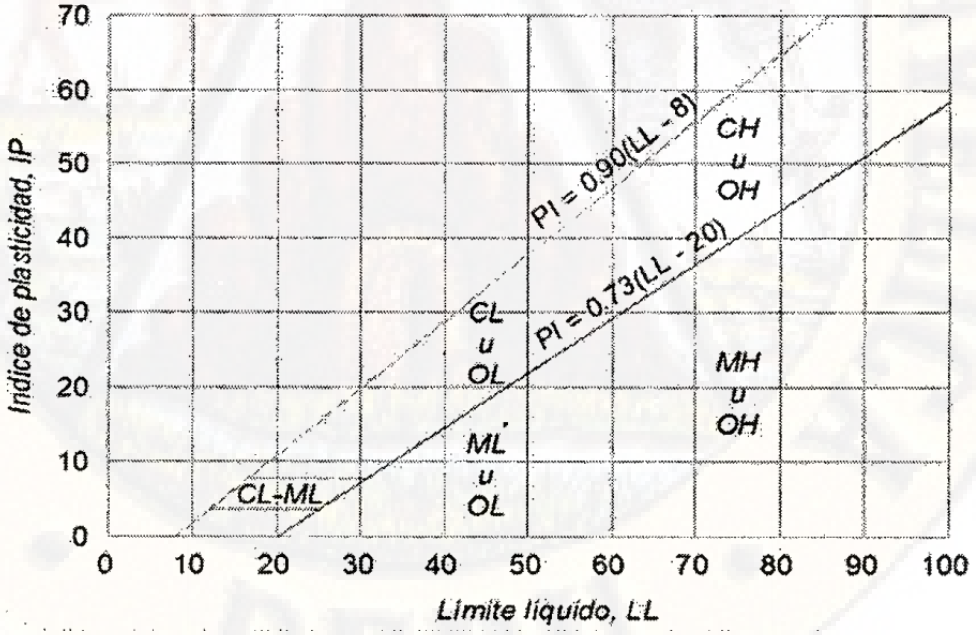


Figura 2.5: Carta de plasticidad para clasificación de suelos de partículas finas
Fuente: Ocon, 2013, Pág. 15.

2.2.5. Compactación

De acuerdo a lo que menciona Braja (2013) la compactación es la consolidación del suelo por la eliminación de aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso unitario seco. Así también, Asensio (1958) señala que, las palabras de consolidación y compactación, las hemos visto usadas con frecuencia indistintamente, pero corresponden a dos fenómenos diferentes. La consolidación es la disminución de volumen de suelo en un plazo de tiempo relativamente largo, mientras que la compactación consiste en aplicar cargas lo suficientemente elevadas para producir una disminución apreciable del volumen de huecos y por tanto del volumen total. (pág. 395).
La prueba de laboratorio utilizada generalmente para obtener el peso unitario seco máximo de compactación y el contenido óptimo de humedad se denomina prueba Proctor de compactación. La compactación depende de muchos factores entre ellos tenemos: tipo de suelo, contenido de humedad y esfuerzo de compactación. (Braja, 2013)

De acuerdo a lo que señala Crespo (2004), la prueba de Proctor se refiere a la determinación del paso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento defino para diferentes contenidos de humedad. Así también, la energía de compactación se define como se muestra en la Ecuación 2.1:

$$E = \frac{W * H * N}{V} \tag{2.1}$$

Donde: E = Energía especifica de compactación en kg-cm/cm3.
W = Peso del pisón en kg.
H = Altura de caída del pisón en cm.
N = Número total de golpes del pisón.
V = Volumen total del suelo compactado.

2.2.5.1. Contenido de humedad óptima

El contenido de humedad en el que se alcanza el peso unitario seco máximo generalmente se denomina contenido de humedad óptimo. (Braja, 2013).
La humedad óptima depende de la energía utilizada para compactar. La experiencia enseña que es preferible compactar con defecto que con exceso de humedad. (Asensio, 1958)

2.2.5.2. Densidad

(Ocon, 2013) señala que la máxima densidad seca (Ds) obtenida del ensayo de compactación, se determina a partir de la densidad húmeda y el contenido de humedad con la fórmula que se detalla a continuación.

$$W\,\% = \frac{W_W}{W_S} * 100 \tag{2.2}$$

$$D_h = \frac{W_m}{V_m} \tag{2.3}$$

$$D_S = \frac{D_h}{100 + W\,\%} * 100 \tag{2.4}$$

Donde:
D_S = Densidad seca.
D_h = Densidad húmeda.
$W\,\%$ = Contenido de humedad.
W_W = Peso del agua.
W_S = Peso de suelo seco.
W_m = Peso de la muestra.
V_m = Volumen de la muestra.

2.2.6. Presas de tierra

Las presas constituyen una de las obras hidráulicas de mayor trascendencia económica y social. Durante su vida útil se ven afectadas con la aparición de fenómenos desestabilizadores que limitan su explotación y atentan contra su seguridad.

(Molina et al., 2016)

Hernandez y Guardado (2015) mencionan que las presas de tierra son estructuras de suelo y roca que permiten el aprovechamiento de los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas al embalsar los mismos para su posterior entrega con diferentes garantías, mitigando los efectos de los períodos de sequía o de inundaciones para beneficio de la sociedad la calidad del proceso de compactación de los materiales térreos que conforman el terraplén de la cortina de una presa de tierra es vital para garantizar la seguridad de este tipo de obra, desde la propia etapa de construcción y durante los años de vida útil. (pág. 54).

2.2.6.1. Fallas en presas de tierra

A nivel internacional se ha investigado los distintos tipos de fallas de las presas de tierra. Existen muchos criterios de especialistas como Sherard, Woodward et al. (1963), Armas (2002), Santayana (2010) y Fernández (2012), en los que coinciden que los tipos de fallas de estas obras son: el desbordamiento o rebase de la cortina (en inglés: "overtopping"), la tubificación o sifonamiento mecánico a través del cuerpo de la presa y los deslizamientos de taludes. (Glez et al., 2017)

2.2.6.2. Fallas por sifonamiento

De acuerdo a lo que menciona Martin (2016), el flujo de agua a través del suelo genera fuerzas erosivas que tienden a empujar las partículas, arrastrándolas en la dirección del flujo, en el momento que este arrastre se produce ha comenzado el sifonamiento mecánico. El límite final del fenómeno es el colapso de la cortina, al quedar este atravesado por conductos de gran diámetro que afectan la estabilidad de la sección. Un factor que contribuye a la ocurrencia de esta falla es la insuficiente compactación del terraplén, que deja alguna capa del mismo suelta y porosa. Ejercen por demás una gran influencia las propiedades del suelo, especialmente la plasticidad, pues son suelos con Índice Plástico menos que el 15 % ($IP < 15\,\%$) son propensos a agrietarse y formar conductos que facilitan el sifonamiento. (pág. 11)

Un factor que contribuye al sifonamiento mecánico es la insuficiencia en la compactación del terraplén, que deja alguna capa del mismo suelta y floja (Glez et al., 2017).

Martin (2016) señala algunas medidas que se debe realizar para evitar estas fallas:

- Garantizar la mayor homogeneidad posible del terraplén construido.
- Control riguroso de la calidad de la compactación, con especial atención a las zonas de contacto con obras hidráulicas.
- Emplear suelos con $IP > 15\,\%$.
- Compactar con alta energía de compactación en un rango de humedades de valores entre $\pm 2\,\%$ de la humedad óptima del Proctor Estándar y grados de compactación por encima del $90\,\%$ de dicha energía.
- Disminuir el gradiente hidráulico (i) del flujo de filtración.
- Controlar la salida del agua de filtración al pie y sobre el talud; mediante filtros y drenes.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

El índice de plasticidad y grado de compactación influyen significativamente en el efecto del sifonamiento del núcleo de presa de tierra.

2.3.2. Hipótesis Específicas

- El índice de plasticidad influye significativamente en el efecto del sifonamiento del núcleo de presas de tierra.

- El grado de compactación influye significativamente en el efecto del sifonamiento del núcleo de presa de tierra.

2.4. Definición de operativa de variables e indicadores

- **Variable independiente:** Índice de plasticidad y grado de compactación.
- **Variable dependiente:** Sifonamiento en el núcleo de presa de tierra.

Cuadro 2.1: Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador
Índice de plasticidad	Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo.	Limites de Atterberg Tipologia de suelo	Limite liquido Limite plastico Granulometría Clasificación de suelos
Grado de compactación	El grado de compactación se expresa en porcentaje respecto al ensayo Proctor. La compactación es la consolidación del suelo por la eliminación de aire.	Aumento de Densidad Resistencia seca	Humedad optima Tipo de compactación. Masa de sólidos por volumen unitario de suelo Energía de compactación
Sifonamiento en el núcleo de presas de tierra	Desarrollo progresivo de erosión interna en una presa de tierra, por infiltración, que aparece aguas abajo en forma de agujero.	Infiltración Erosion interna	Tiempo de servicio de la presa de tierra. Variación del volumen de agua almacenada. Tubificación interna Arrastre de particulas

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Para la realización de la presente investigación fue necesario contar con elementos que cuenten con características particulares: siendo uno de estos, la tierra que conformará el núcleo de la presa, además está la maqueta a escala donde se realizaron los experimentos y las bobinas de hilo que representan el efecto del sifonamiento, el recubrimiento granular de la presa y también el agua que almacenara la presa.

3.1.1. Maqueta de presa

Las presas con núcleo de tierra que se tomo como base para el desarrollo de la investigación, estará constituido por dos componentes, siendo el primero de estos y el mas importante el núcleo de tierra, el cual estará recubierto por un volumen de material granular que servirá de revestimiento de la presa en cuestión. Las figuras 3.1 y 3.2 representan la vista en perfil de la presa a una escala real.

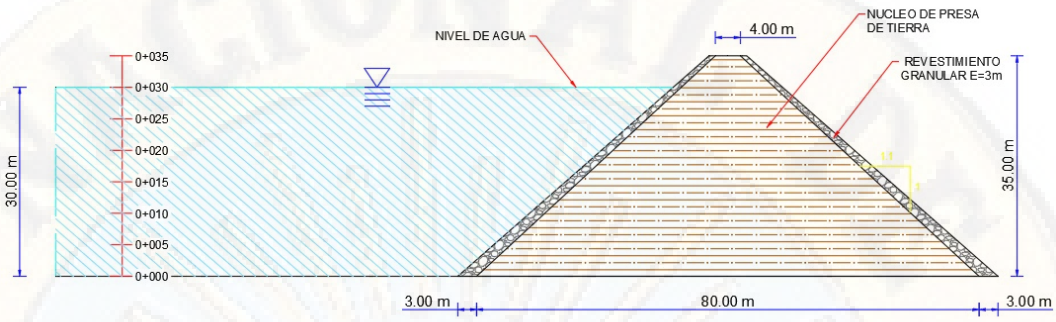


Figura 3.1: Vista en perfil de la presa a escala real
Fuente: Elaboración propia.

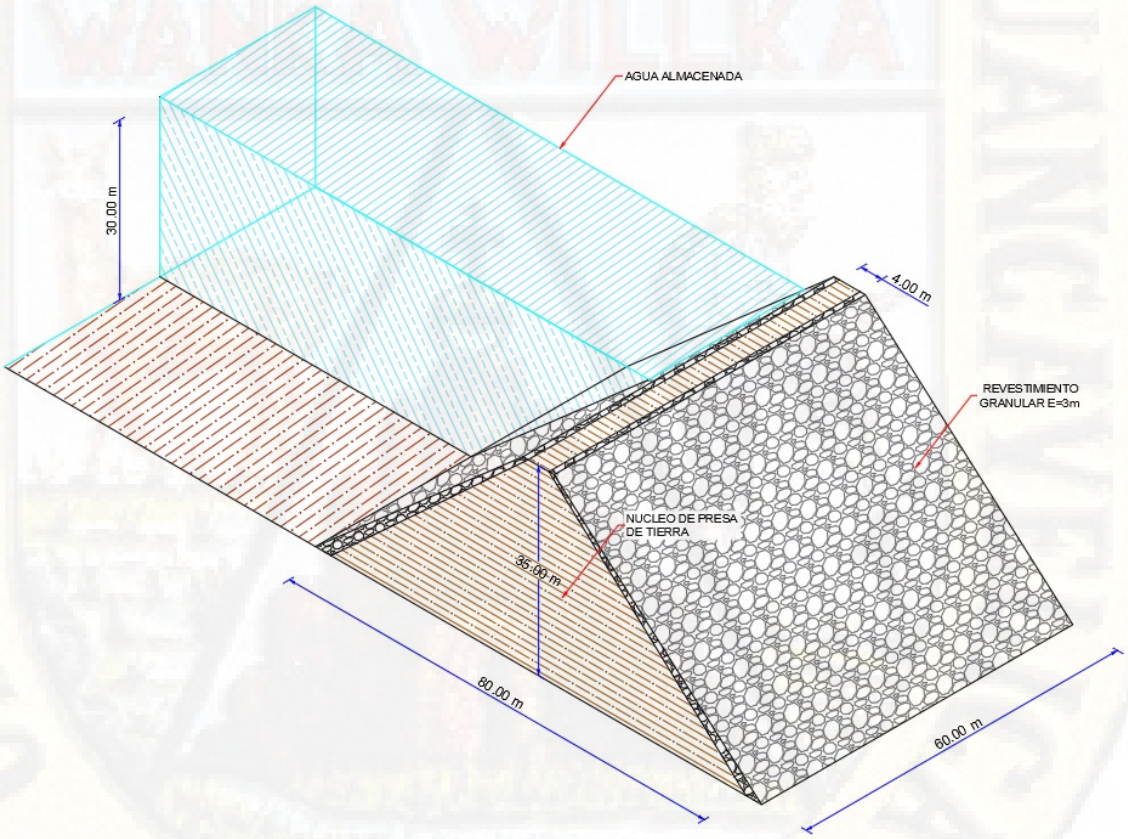


Figura 3.2: Vista isométrica de la presa en escala real
Fuente: Elaboración propia.

Como se muestran en las figuras 3.1 y 3.2, las dimensiones de la presa a escala real fueron de 80m de ancho de base con 60m de largo, con una altura de 35m y un nivel de agua de 30m desde el nivel del fondo de la presa de tierra.

Sin embargo, para realizar los experimentos y obtener los datos de estos fue necesario contar con una maqueta que represente las dimensiones de la presa a una escala definida a fin de observar y analizar los resultados de una manera minuciosa. La escala fue de 1/150, por lo que las dimensiones de la maqueta fueron como se muestra en la figura 3.3. La maqueta cuenta con paredes de una altura de 30cm, donde el nivel inicial del agua almacenada será de 20cm, y un largo de 100 cm.Una de las caras no cuenta con la pared de cristal como las otras, ya que esta será la salida al colapso de la presa.

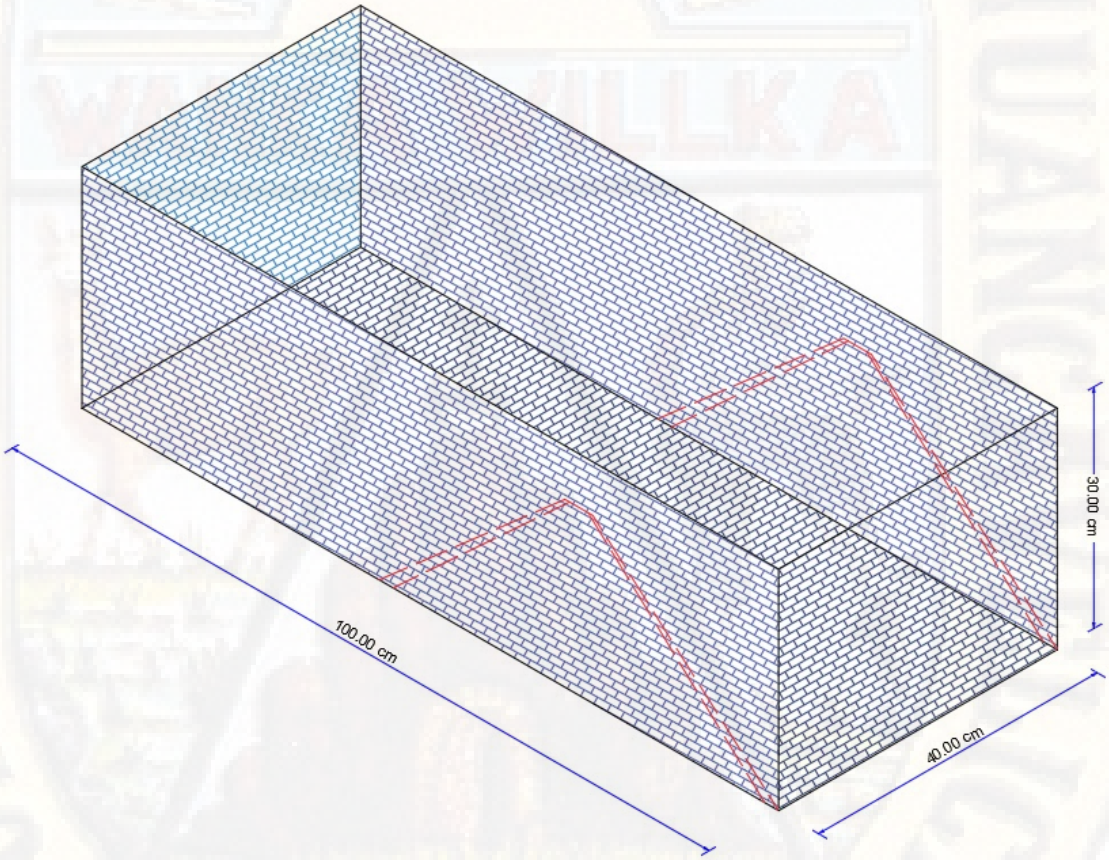


Figura 3.3: Maqueta de trabajo
Fuente: Elaboración propia

De la figura 3.3, las líneas entrecortadas de color rojo marcan la ubicación y dimensión de la presa en perfil, con un talud de la presa es de 1:1.10, de modo que las dimensiones de la presa a una escala de 1/150 se detallan a continuación en las figuras 3.4 y 3.5.

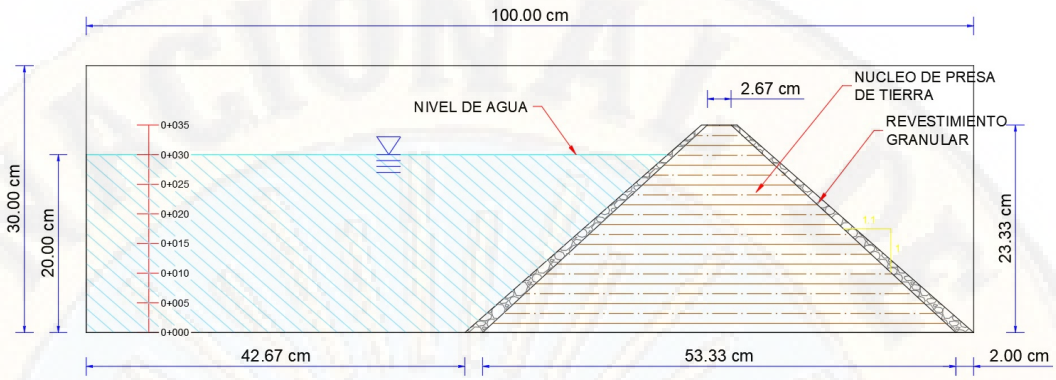


Figura 3.4: Vista en perfil de la presa escalada (esc: 1/150)
Fuente: Elaboración propia

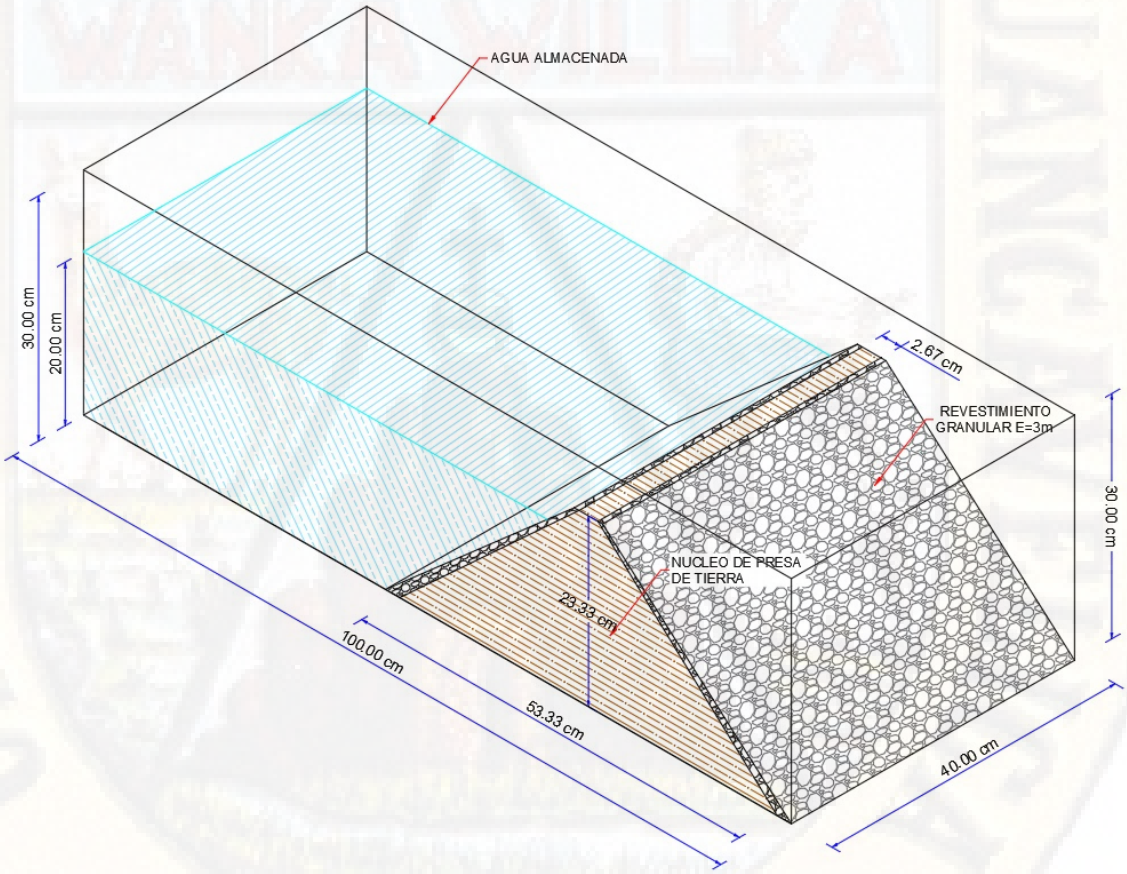


Figura 3.5: Vista isométrica de la presa escalada (esc: 1/150)
Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Núcleo de tierra

El núcleo de la presa de tierra representa la principal variable de investigación, debido a que jugó un papel fundamental en el desarrollo y entendimiento del comportamiento de efecto de sifonamiento en estas estructuras por incidencia del índice de plasticidad y grado de compactación de tres distintos materiales que constituyeron las presas realizadas a escala 1/150, es así que para conocer los datos mencionados fue necesario realizar ensayos de laboratorio como son análisis de granulometría, limites de consistencia y ensayos de Proctor Standar que se detallan a continuación.

3.1.2.1. Limites de consistencia

Para determinar el índice de plasticidad es necesario conocer el límite líquido y límite plástico de las distintas muestras de suelo que conformaran el núcleo de cada presa escalada.

Se empleó el método estándar de ensayos para límite líquido y límite plástico de suelos (ASTM D 4318-84).

A. **Primer material:**

a. **Límite Líquido**

Se realizaron tres repeticiones con distintas humedades y ensayados en al copa de casagrande, siendo los resultados los siguientes:

Cuadro 3.1: Límite líquido de la muestra M-01

No DE LATA		**T-1**	**T-2**	**T-3**
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA	(gr.)	38.95	39.86	41.27
PESO DE SUELO SECO + LATA	(gr.)	32.16	32.73	34.81
PESO DE LATA	(gr.)	19.64	18.94	22.09
PESO DE SUELO SECO	(gr.)	12.52	13.79	12.72
PESO DE AGUA	(gr.)	6.79	7.13	6.46
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	**54.23**	**51.70**	**50.79**
No DE GOLPES:	#	10.00	23.00	30.00

Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

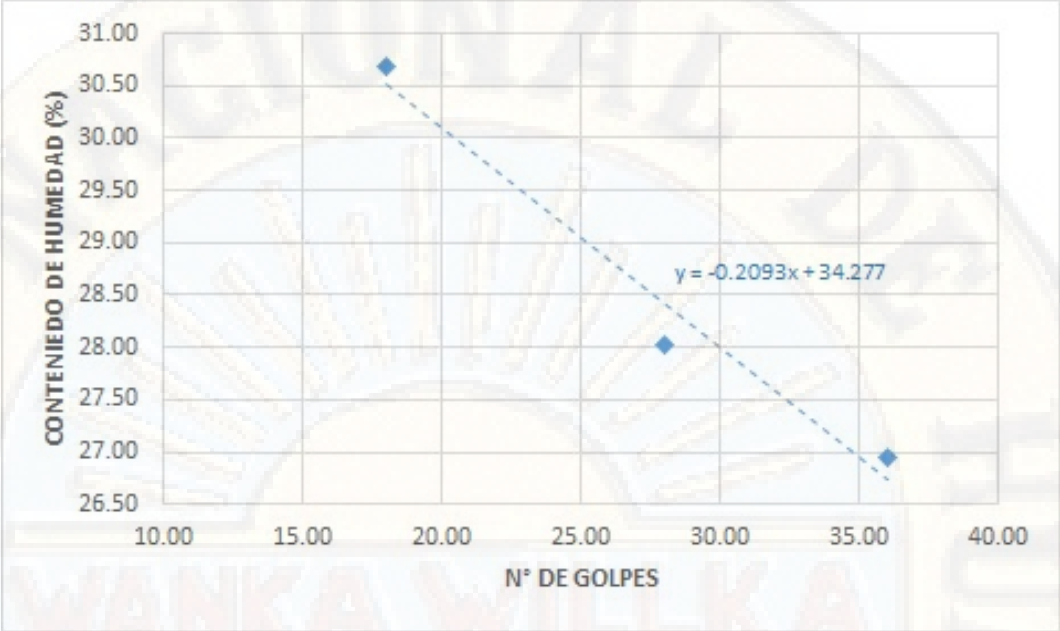


Figura 3.6: Curva de fluidez de la muestra M-01
Fuente: Elaboración propia, 2020.

b. **Límite Plástico**

Cuadro 3.2: Límite plástico de la muestra M-01

No DE LATA		**T-1**
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA	(gr.)	26.49
PESO DE SUELO SECO + LATA	(gr.)	24.92
PESO DE LATA	(gr.)	16.11
PESO DE SUELO SECO	(gr.)	8.81
PESO DE AGUA	(gr.)	1.57
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	17.82
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	**17.82**

Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

B. **Segundo material:**

a. **Límite Líquido**

Se realizaron tres repeticiones con distintas humedades y ensayados en al copa de casagrande, siendo los resultados los siguientes:

Cuadro 3.3: Límite líquido de la muestra M-02

No DE LATA		**T-1**	**T-2**	**T-3**
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA	(gr.)	27.74	27.61	26.75
PESO DE SUELO SECO + LATA	(gr.)	24.30	24.28	24.24
PESO DE LATA	(gr.)	16.18	15.68	15.35
PESO DE SUELO SECO	(gr.)	8.12	8.60	8.89
PESO DE AGUA	(gr.)	3.44	3.33	2.51
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	**42.36**	**38.72**	**28.23**
No DE GOLPES:	#	17.00	21.00	28.00

Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

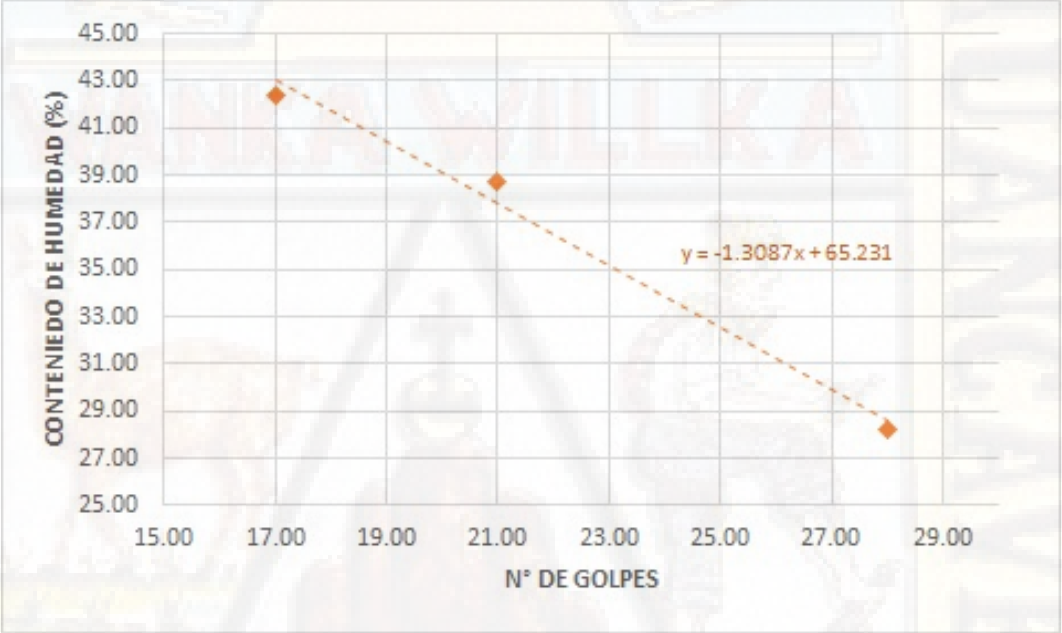


Figura 3.7: Curva de fluidez de la muestra M-02
Fuente: Elaboración propia, 2020.

b. **Límite Plástico**

Cuadro 3.4: Límite plástico de la muestra M-02

No DE LATA		**T-1**
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA	(gr.)	26.53
PESO DE SUELO SECO + LATA	(gr.)	24.90
PESO DE LATA	(gr.)	16.11
PESO DE SUELO SECO	(gr.)	8.79
PESO DE AGUA	(gr.)	1.63
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	18.53
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	**18.53**

Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

C. **Tercer material:**

a. **Límite Líquido**

Se realizaron tres repeticiones con distintas humedades y ensayados en al copa de casagrande, siendo los resultados los siguientes:

Cuadro 3.5: Límite líquido de la muestra M-03

No DE LATA		**T-1**	**T-2**	**T-3**
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA	(gr.)	38.95	39.86	41.27
PESO DE SUELO SECO + LATA	(gr.)	32.16	32.73	34.81
PESO DE LATA	(gr.)	19.64	18.94	22.09
PESO DE SUELO SECO	(gr.)	12.52	13.79	12.72
PESO DE AGUA	(gr.)	6.79	7.13	6.46
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	**54.23**	**51.70**	**50.79**
No DE GOLPES:	#	10.00	23.00	30.00

Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

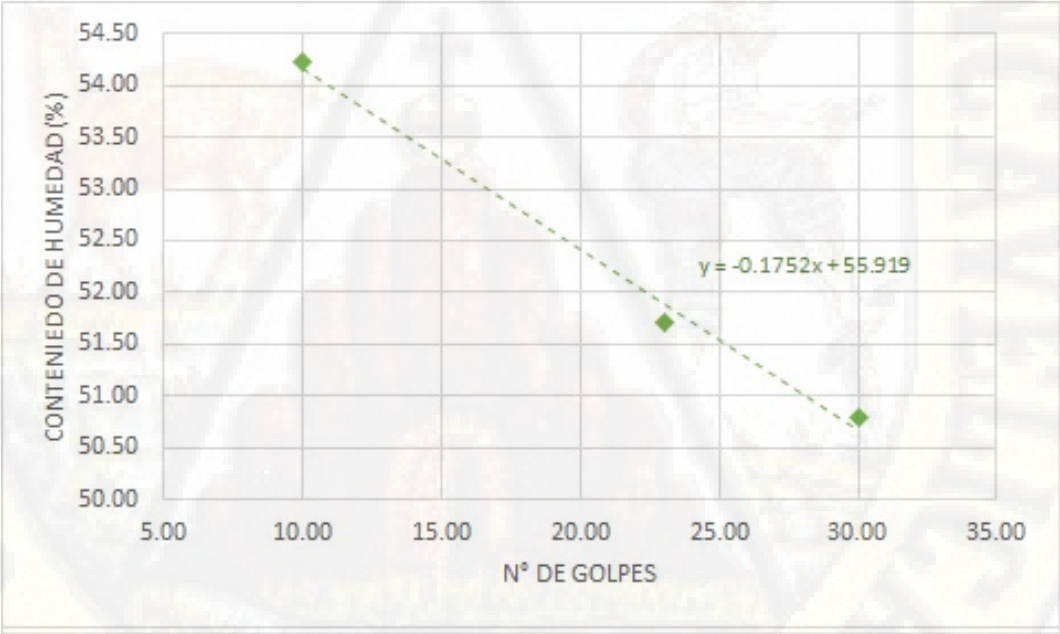


Figura 3.8: Curva de fluidez de la muestra M-03
Fuente: Elaboración propia, 2020.

b. **Límite Plástico**

Cuadro 3.6: Límite plástico de la muestra M-03

No DE LATA		**T-1**
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA	(gr.)	28.12
PESO DE SUELO SECO + LATA	(gr.)	26.80
PESO DE LATA	(gr.)	21.44
PESO DE SUELO SECO	(gr.)	5.36
PESO DE AGUA	(gr.)	1.32
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	24.63
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	**24.63**

Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

3.1.2.2. Identificación de tipo de suelo

A. **Primer material:**

Se realizó el análisis granulométrico de este tipo de material, obteniéndose la siguiente tabla:

Cuadro 3.7: Análisis granulométrico del primer material

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/4”	10.00	0.33 %	0.33 %	99.67 %
1/2”	80.00	2.67 %	3.00 %	97.00 %
3/8”	95.00	3.17 %	6.17 %	93.83 %
No 4	102.00	3.40 %	9.57 %	90.43 %
No 8	85.00	2.83 %	12.40 %	87.60 %
No 10	75.00	2.50 %	14.90 %	85.10 %
No 16	95.00	3.17 %	18.07 %	81.93 %
No 30	100.00	3.33 %	21.40 %	78.60 %
No 40	145.00	4.83 %	26.23 %	73.77 %
No 50	160.00	5.33 %	31.57 %	68.43 %
No 100	225.00	7.50 %	39.07 %	60.93 %
No 200	315.00	10.50 %	49.57 %	50.43 %
FONDO	1513.00	50.43 %	100.00 %	0.00 %
TOTAL	**3000.00**	100.00 %		

Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

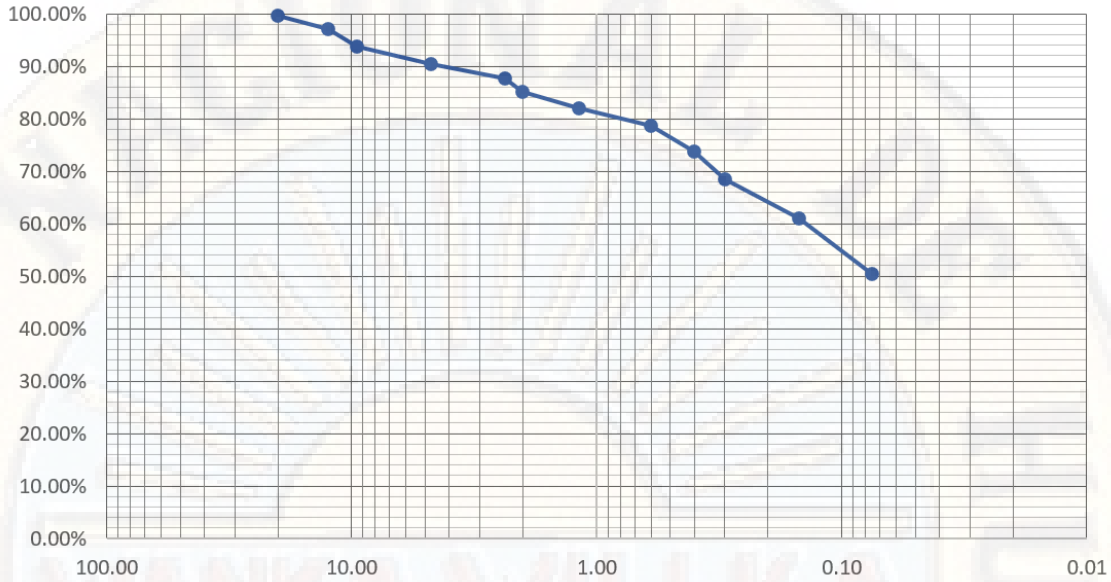


Figura 3.9: Curva granulométrica del material M-1
Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

A partir de estos resultados se identificó el tipo de suelo, siendo el siguiente:

- Aashto: A-6
- SUCS: CH (Suelo arcilloso de baja plasticidad)

B. **Segundo material:**

Se realizó el análisis granulométrico de este tipo de material, obteniéndose la siguiente tabla:

Cuadro 3.8: Análisis granulométrico del segundo material

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/4"	0.00	0.00 %	0.00 %	100.00 %
1/2"	73.00	2.43 %	2.43 %	97.57 %
3/8"	115.00	3.83 %	6.27 %	93.73 %
No 4	103.00	3.43 %	9.70 %	90.30 %
No 8	101.00	3.37 %	13.07 %	86.93 %
No 10	15.00	0.50 %	13.57 %	86.43 %
No 16	25.00	0.83 %	14.40 %	85.60 %
No 30	115.00	3.83 %	18.23 %	81.77 %
No 40	251.00	8.37 %	26.60 %	73.40 %
No 50	119.00	3.97 %	30.57 %	69.43 %
No 100	153.00	5.10 %	35.67 %	64.33 %
No 200	281.00	9.37 %	45.03 %	54.97 %
FONDO	1649.00	54.97 %	100.00 %	0.00 %
TOTAL	**3000.00**	100.00 %		

Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

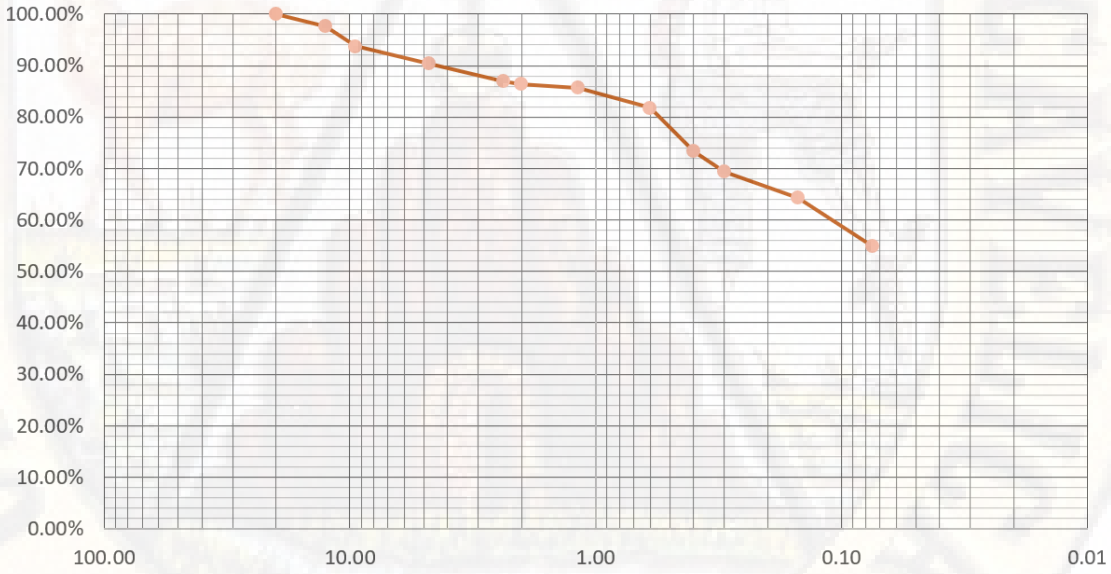


Figura 3.10: Curva granulométrica del material M-2
Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

A partir de estos resultados se identificó el tipo de suelo, siendo el siguiente:

- Aashto: A-6
- SUCS: CH (Suelo arcilloso de alta plasticidad)

C. **Tercer material:**

Se realizó el análisis granulométrico de este tipo de material, obteniéndose la siguiente tabla:

Cuadro 3.9: Análisis granulométrico del tercer material

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/4"	7.00	0.23 %	0.23 %	99.77 %
1/2"	98.00	3.27 %	3.50 %	96.50 %
3/8"	175.00	5.83 %	9.33 %	90.67 %
No 4	117.00	3.90 %	13.23 %	86.77 %
No 8	69.00	2.30 %	15.53 %	84.47 %
No 10	55.00	1.83 %	17.37 %	82.63 %
No 16	68.00	2.27 %	19.63 %	80.37 %
No 30	119.00	3.97 %	23.60 %	76.40 %
No 40	165.00	5.50 %	29.10 %	70.90 %
No 50	181.00	6.03 %	35.13 %	64.87 %
No 100	245.00	8.17 %	43.30 %	56.70 %
No 200	121.00	4.03 %	47.33 %	52.67 %
FONDO	1580.00	52.67 %	100.00 %	0.00 %
TOTAL	**3000.00**	100.00 %		

Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

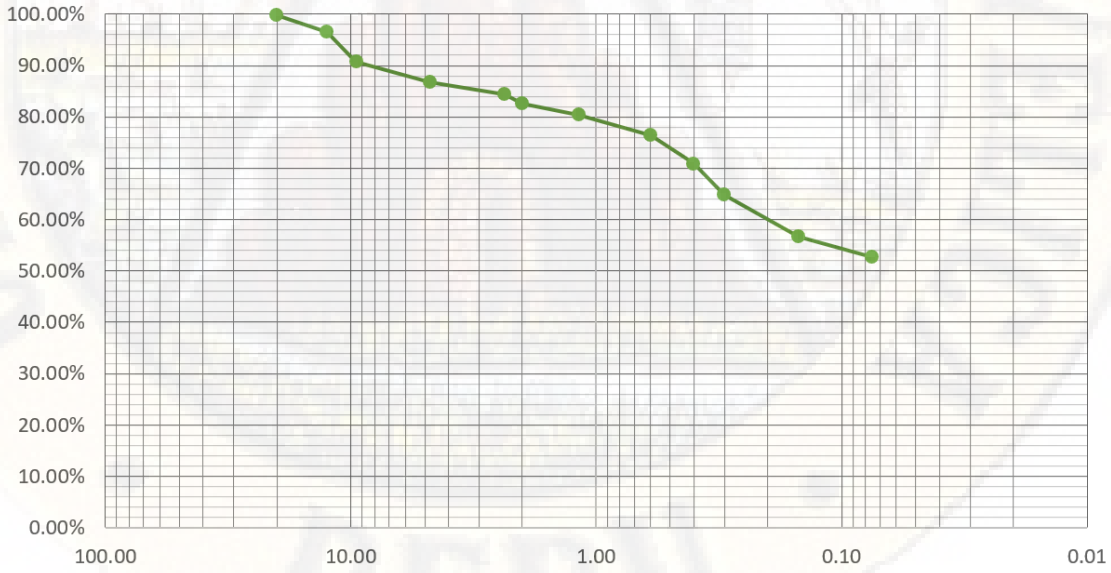


Figura 3.11: Curva granulométrica del material M-3
Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

A partir de estos resultados se identifico el tipo de suelo, siendo el siguiente:

- Aashto: A-7-6
- SUCS: CH (Suelo arcilloso de alta plasticidad)

3.1.2.3. Ensayo de Proctor Estándar

Además de identificar el índice de plasticidad mediante los limites de consistencia de las muestras de suelo fue necesario determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco de un suelo compactado, es así que se realizaron los ensayos de Proctor Estándar (ASTM D-698), obteniendo los siguientes resultados:

A. **Primer material:**

Cuadro 3.10: Determinación del Contenido de humedad de la muestra M-01

PRUEBA N°	**1**	**2**	**3**	**4**
N°DE TARA	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso del recipiente (gr)	6.90	6.78	9.50	6.50
Peso del suelo húmedo + recipiente (gr)	111.82	82.99	80.25	81.23
Peso del suelo seco + recipiente (gr)	106.46	77.67	74.79	74.79
Peso del agua (gr)	5.36	5.32	5.46	6.44
Peso del suelo seco (gr)	99.56	70.89	65.29	68.29
Contenido de humedad (%)	**5.38**	**7.50**	**8.36**	**9.43**

Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

Cuadro 3.11: Determinación de densidades de la muestra M-01

Contenido de humedad (w %)	5.38	7.50	8.36	9.43
Peso del molde (gr)	1933.00	1933.00	1933.00	1933.00
Volumen del molde	943.30	943.30	943.30	943.30
Peso del suelo + molde (gr)	3209.00	3522.00	3555.00	3437.00
Peso del suelo húmedo en el molde(gr)	1276.00	1589.00	1622.00	1504.00
Densidad humeda (gr/cm3)	1.35	1.68	1.72	1.59
Densidad seca (gr/cm3)	**1.28**	**1.57**	**1.59**	**1.46**

Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019..

A partir de los resultados mostrados en los Cuadros 3.10 y 3.11, se obtuvo lo que se muestra en la Figura 3.12 esto haciendo una regresión polinómica para determinar la densidad máxima y la humedad óptima para este tipo de material.

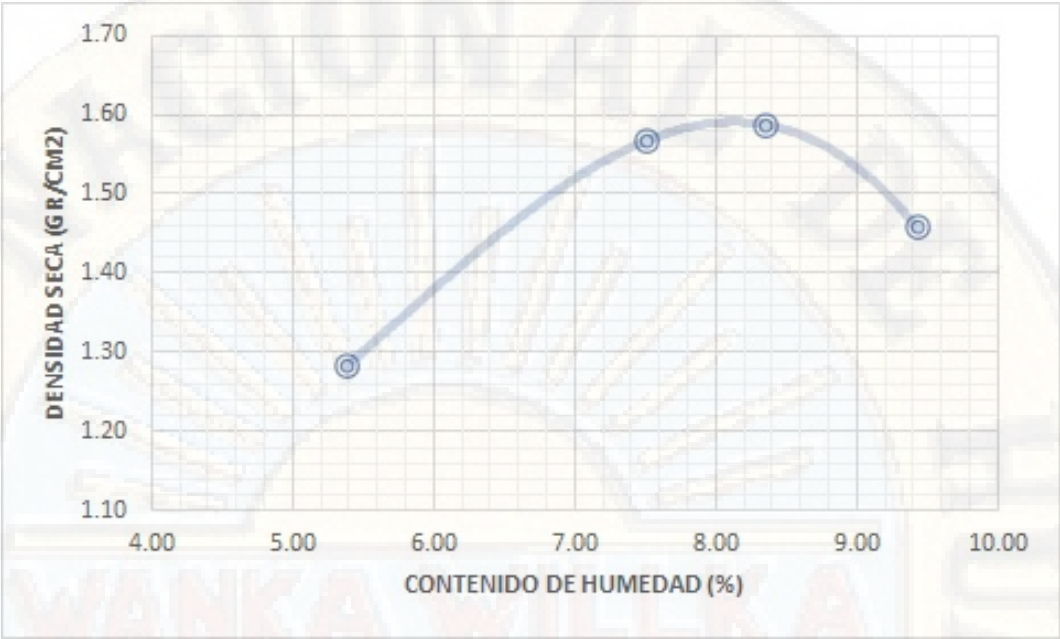


Figura 3.12: Ensayo de Proctor Estandar para la muestra M-01
Fuente: Elaboración propia, 2020.

A partir de lo mostrado en la Figura 3.12 se obtuvo que para una humedad del 8.2 % la máxima densidad seca que logrará este material será de 1.59 gr/cm2.

B. **Segundo material:**

Cuadro 3.12: Determinación del Contenido de humedad de la muestra M-02

PRUEBA No	**1**	**2**	**3**	**4**
No DE TARA	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso del recipiente (gr)	22.57	22.00	17.85	17.32
Peso del suelo húmedo + recipiente (gr)	93.80	93.96	97.62	95.22
Peso del suelo seco + recipiente (gr)	88.64	87.37	89.00	85.47
Peso del agua (gr)	5.16	6.59	8.62	9.75
Peso del suelo seco (gr)	66.07	65.37	71.15	68.15
Contenido de humedad (%)	**7.81**	**10.08**	**12.12**	**14.31**

Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

Cuadro 3.13: Determinación de densidades de la muestra M-02

Contenido de humedad (w %)	7.81	10.08	12.12	14.31
Peso del molde (gr)	1933.00	1933.00	1933.00	1933.00
Volumen del molde	943.30	943.30	943.30	943.30
Peso del suelo + molde (gr)	3757.20	3921.40	4109.00	4082.50
Peso del suelo húmedo en el molde(gr)	1824.20	1988.40	2176.00	2149.50
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.93	2.11	2.31	2.28
Densidad seca (gr/cm3)	**1.79**	**1.91**	**2.06**	**1.99**

Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

A partir de los resultados mostrados en los Cuadros 3.12 y 3.13, se obtuvo lo que se muestra en la Figura 3.13 esto haciendo una regresión polinómica para determinar la densidad máxima y la humedad óptima para este tipo de material.

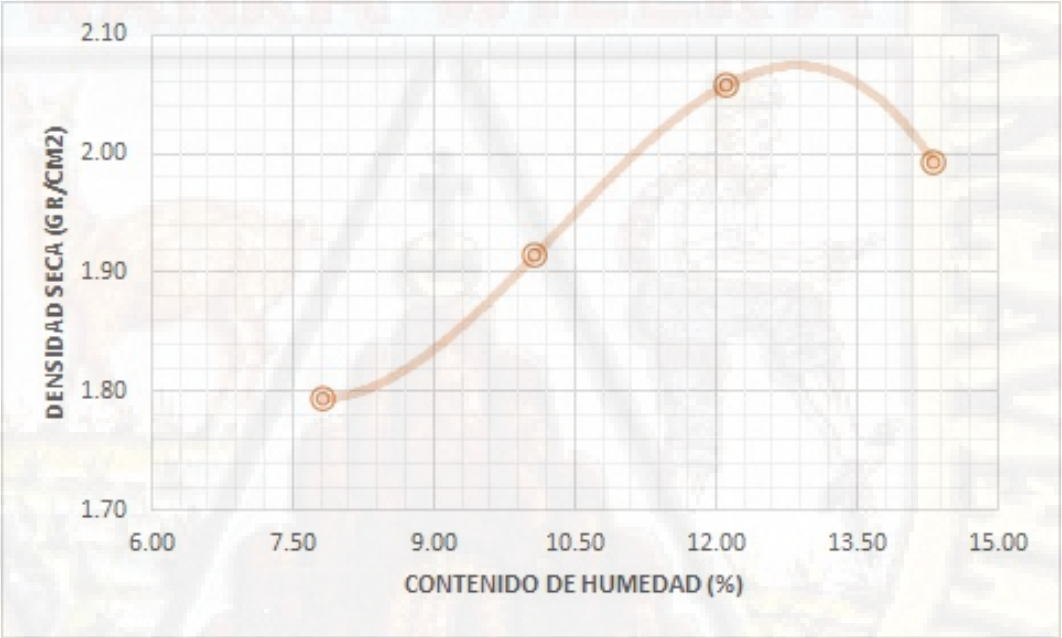


Figura 3.13: Ensayo de Proctor Estándar para la muestra M-02
Fuente: Elaboración propia, 2020.

A partir de lo mostrado en la Figura 3.13 se obtuvo que para una humedad del 12.8 % la máxima densidad seca que logrará este material será de 2.08 gr/cm2.

C. **Tercer material:**

Cuadro 3.14: Determinación del Contenido de humedad de la muestra M-03

PRUEBA No	**1**	**2**	**3**	**4**
No DE TARA	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso del recipiente (gr)	22.57	22.00	17.85	17.32
Peso del suelo húmedo + recipiente (gr)	98.90	98.99	103.19	101.22
Peso del suelo seco + recipiente (gr)	88.64	87.37	89.00	85.47
Peso del agua (gr)	10.26	11.62	14.19	15.75
Peso del suelo seco (gr)	66.07	65.37	71.15	68.15
Contenido de humedad (%)	**15.53**	**17.78**	**19.94**	**23.11**

Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019.

Cuadro 3.15: Determinación de densidades de la muestra M-03

Contenido de humedad (w%)	15.53	17.78	19.94	23.11
Peso del molde (gr)	1933.00	1933.00	1933.00	1933.00
Volumen del molde	943.30	943.30	943.30	943.30
Peso del suelo + molde (gr)	3587.20	3691.40	3770.00	3760.50
Peso del suelo húmedo en el molde(gr)	1654.20	1758.40	1837.00	1827.50
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.75	1.86	1.95	1.94
Densidad seca (gr/cm3)	**1.52**	**1.58**	**1.62**	**1.57**

Fuente: Registro de resultados de laboratorio, 2019..

A partir de los resultados mostrados en los Cuadros 3.14 y 3.15, se obtuvo lo que se muestra en la Figura 3.14 haciendo una regresión polinómica para determinar la densidad máxima y la humedad óptima para este tipo de material.

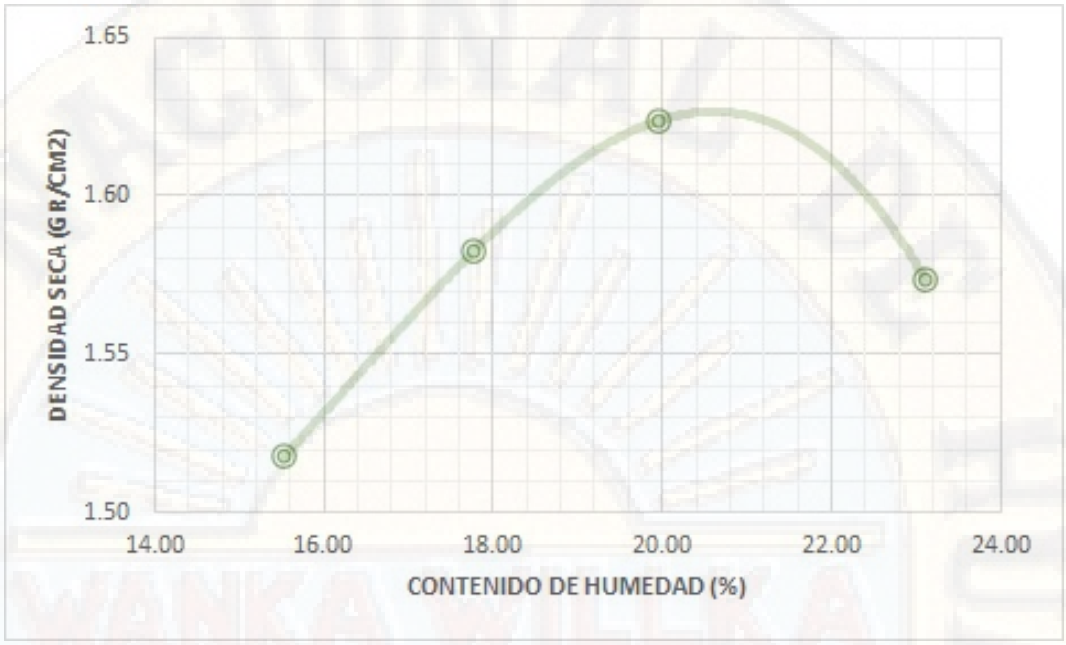


Figura 3.14: Ensayo de Proctor Estándar para la muestra M-03
Fuente: Elaboración propia, 2020.

A partir de lo mostrado en la Figura 3.14 se obtuvo que para una humedad del 20.63 % la máxima densidad seca que logrará este material será de 1.63 gr/cm2.

3.1.3. Bobina de hilo

Se empleó los hilos de fibras de algodón a fin de representar el efecto del sifonamiento en las presas escaladas, puesto que debido a que la presa fue construida a escala el efecto del sifonamiento solo se podrá notar recreándolo mediante la colocación de una fina hebra de hilo de algodón retirándolo progresivamente de la presa a fin de medir el tiempo en que colapsó la presa de tierra, además de inspeccionar demás datos durante el tiempo que la presa almacenaba el agua en su interior.

Figura 3.15: Hilo de algodón
Fuente: Elaboración propia, 2020.

3.1.4. Material granular

El material granular fue colocado en ambas caras del cuerpo de la presa, puesto que cumple la función de recubrir el núcleo de tierra que almacena el agua, el material granular colocado tuvo un diámetro promedio de 4mm como se muestra en la Figura 3.16.

Figura 3.16: Material granular en la presa
Fuente: Elaboración propia, 2020.

3.1.5. Agua almacenada

Las presas son estructuras hidráulicas de grandes dimensiones que permiten almacenar o retener agua para aprovecharla en distintas actividades, de modo que

para la representación y el análisis del efecto de sifonamiento en las presa de tierra escalada fue necesario emplear el agua y ver la variación del volumen diario producto de la infiltración, además observar la forma en como actúa el empuje de esta sobre la presa al momento de colapsar.

Figura 3.17: Agua almacenada en la presa escalada
Fuente: Elaboración propia, 2020.

3.2. Aspectos metodológicos

3.2.1. Tipo y nivel de investigación

3.2.1.1. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo aplicada, porque como menciona Banea (2014), la investigación aplicada concentra su atención en las posibilidades concretas de llevar a la práctica las teorías generales, y destinan sus esfuerzos a resolver las necesidades que se plantean la sociedad y los hombres. (pág. 19)

Esta investigación pretendió demostrar ¿cómo influyen el índice de plasticidad y grado de compactación en el efecto del sifonamiento del núcleo de presa de tierra?, para eso será necesario hacer uso de las diferentes teorías para el diseño de presas de tierra y llevar a la práctica mediante un modelamiento físico.

3.2.1.2. Nivel de investigación

La investigación realizada fue de nivel explicativo. y conforme a lo que mencionan Gonzales et al. (2011), este nivel: Se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas, como de los efectos mediante la prueba de hipótesis. (pág. 142).

3.2.2. Método de investigación

El método general de investigación empleado fue el método científico, puesto que Niño (2011) menciona que, la investigación científica propiamente es un proceso que busca la producción y comprobación del conocimiento nuevo, en cualquiera de los campos de la ciencia, mediante la aplicación de unas etapas, pasos, técnicas e instrumentos acordes con el método científico (pág. 25).

Al diseñar un modelamiento físico de una presa de tierra emplearemos los conocimientos, técnicas y procedimientos necesarios para saber la influencia del índice de plasticidad y grado de compactación en el diseño de presa de tierra.

3.2.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación empleado fue experimental, y conforme a lo que señala Briones (2002), en las investigaciones experimentales el investigador tiene el control de la variable independiente o variable estímulo, la cual puede hacer variar en la forma que sea más apropiada a sus objetivos. De igual manera, puede controlar la conformación de los grupos que necesita para su estudio.

$$O_1 \quad \rightarrow \quad X \quad \rightarrow \quad O_2$$

Donde:

O_1 representa las observaciones y mediciones previas.

O_2 representa las observaciones y mediciones posteriores (resultados)

X representa la manipulación (experimento).

3.2.4. Población y Muestra

La población y muestra estuvo constituido por 9 presas, las cuales se construyeron a una escala de 1/150, estuvieron constituidas por tres distintos índices de plasticidad y tres distintos grados de compactación.

Capítulo 4

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Consideraciones iniciales

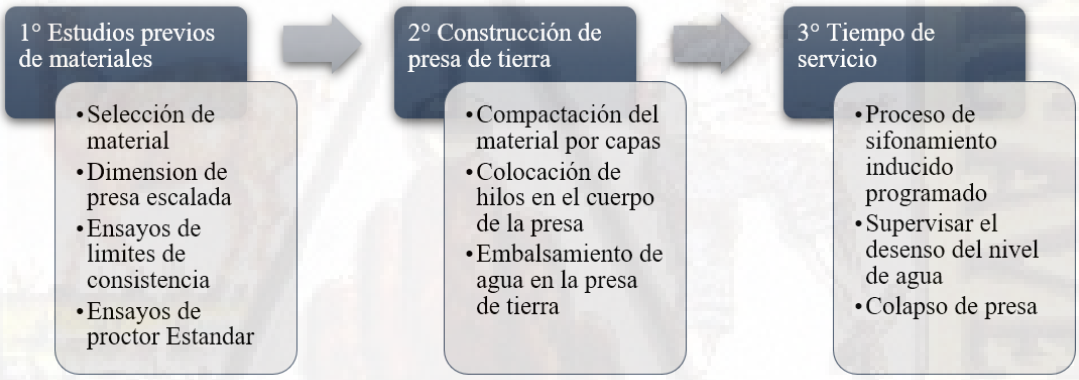


Figura 4.1: Procedimiento de obtención de datos
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para recabar los datos necesarios para conocer el comportamiento de las presas con núcleo de tierra sometidos a distintos grados de compactación y distinto índice de plasticidad (IP) por efecto de sifonamiento inducido, se creó una maqueta a una escala 1/150, que representa a una presa de tierra de treinta y cinco (35) metro de altura con un talud de 1:1.1; cuenta con un recubrimiento de grava escalada que protege al núcleo de tierra, el proceso de compactación se realizó a 12 capas y cada una de un espesor de 2 cm sometidas a repeticiones de distintas presas, las cuales servirán para determinar la energía de compactación y su equivalente al grado de

compactación impuesta. Además se colocaron hilos de algodón en el cuerpo de la presa para simular el proceso de sifonamiento del núcleo de presa de tierra.

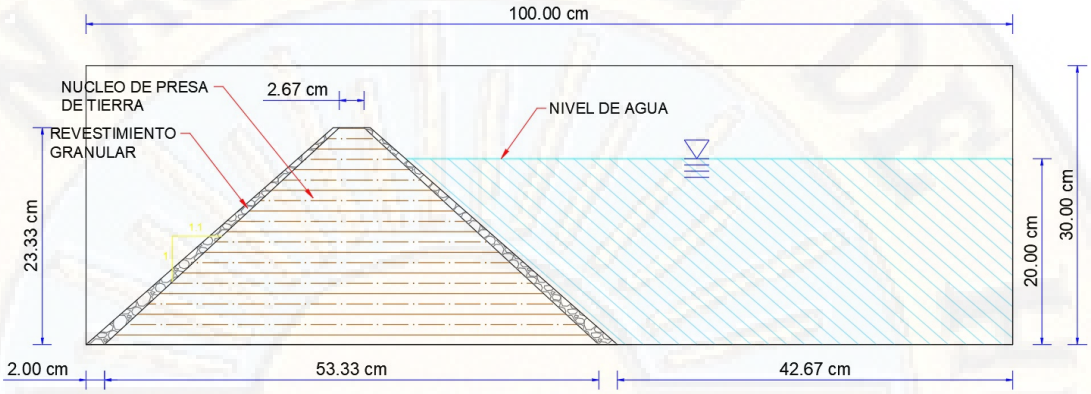


Figura 4.2: Dimensiones en perfil de la presa escalada (esc 1/150)
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 4.3: Elaboración de presa escalada (esc 1/150)
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Una vez construida la presa se procedió a llenar el recipiente con el agua a almacenar, a una altura de 23.3 cm la cual representa a un nivel de 30 m en escala real; realizando la medición del descenso del nivel de agua a fin de medir la infiltración en relación a los milímetros descendidos a lo largo de los días de observación hasta el instante de colapso de la presa por sifonamiento inducido.

La estimación del grado de compactación del núcleo de tierra de las presas, dependió de la energía de compactación con la cual se compactó cada capa que

conformó el núcleo de tierra que depende directamente de la presa usada y el número de pasadas de éste sobre el material, obteniendo el siguiente cuadro.

Pesa (Gr)	Altura de Caida (cm)	Vol. Prom. Compactado (cm3)	No de Repeticiones	Energía de Compactación (Gr-cm/cm3)	Grado de Compactación Equivalente
100.00	2.00	4270.00	30.00	1.41	75.97%
250.00	2.00	4270.00	20.00	2.34	85.47%
500.00	2.00	4270.00	15.00	3.51	94.97%

Figura 4.4: Estimación de energía y grado de compactación
Fuente: Elaboración propia, 2020.

4.2. Presentación y Análisis de resultados

Como se hace mención en el ápice anterior, se realizaron un total de 9 (nueve) ensayos de fallo de presa por sifonamiento inducido, a partir de estos se recopiló la información necesaria para el análisis e interpretación. Los parámetros observados fueron los milímetros de infiltración durante el tiempo de servicio de la presa escalada, como también, el tiempo de servicio de ésta antes de la rotura (colapso) de la presa de núcleo de tierra escalada. Se muestra el registro de estos ensayos:

Indice de Plasticidad	Grado de Compactación	Tiempo (Días)	2	4	6	8	11	14	15	16	18	20	22	24	26
11.00%	75.97%	Infiltración (mm)	7	13	29	41	62	COLAPSÓ							
	85.47%	Infiltración (mm)	2	7	16	30	41	52	COLAPSÓ						
	94.97%	Infiltración (mm)	0	3	9	18	29	33	41	COLAPSÓ					

Indice de Plasticidad	Grado de Compactación	Tiempo (Días)	2	4	6	8	10	12	14	17	19	20	22	24	26
13.63%	75.97%	Infiltración (mm)	0	10	23	32	38	42	50	COLAPSÓ					
	85.47%	Infiltración (mm)	0	5	9	15	24	31	35	48	COLAPSÓ				
	94.97%	Infiltración (mm)	0	3	4	6	7	11	18	26	32	COLAPSÓ			

Indice de Plasticidad	Grado de Compactación	Tiempo (Días)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	26	30
26.80%	75.97%	Infiltración (mm)	0	2	4	6	10	13	18	22	24	26	28	29	C
	85.47%	Infiltración (mm)	0	1	2	4	6	8	11	14	17	19	20	22	26
	94.97%	Infiltración (mm)	0	0	0	1	3	4	5	6	7	9	12	15	20

Figura 4.5: Resultados del tiempo de servicio e infiltración de las presas
Fuente: Elaboración propia, 2020.

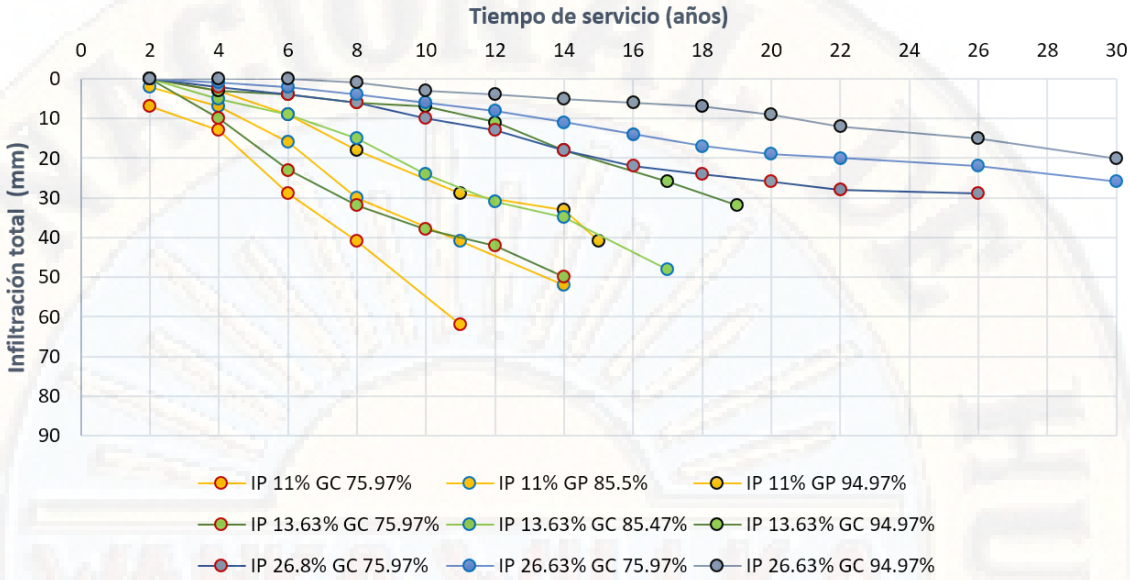


Figura 4.6: Tiempo de servicio e infiltración registrada
Fuente: Registro de resultados de rotura de presa.

Como se pudo observar en las Figuras 4.4 Y 4.6 la infiltración registrada durante el tiempo de servicio de las presas ah sido progresiva para cada caso, sin embargo, se puede notar que las presas con un índice de plasticidad menor y un grado de compactación por debajo del 80 % presenta una perdida de volumen de agua mayor que aquellas presas con mayor índice de plasticidad y grado de compactación.

La escala temporal a la cual representa el tiempo de servicio en días antes de la falla o rotura de presa viene a representar una escala anual, viendo en el transcurso de su funcionamiento la perdida de volumen de agua por infiltración sumado a la acción de sifonamiento inducido programado, retirando los hilos progresivamente cada 1 día a partir del día 6 cada 12 horas, es por ello que como se muestra en la Figura 4.6, la infiltración aumentó repentinamente hasta el punto de fallar (colapsar) la presa.

Para analizar cuanto repercute el índice de plasticidad y el grado de compactación en el efecto de sifonamiento en los núcleos de tierra de las presas realizadas fue necesario realizar un resumen (Figura 4.7 de todo el registro de datos que se

mostraron en las figuras anteriores, por lo cual se recopiló en una única tabla de resumen los resultados obtenidos en los ensayos, como son el tiempo de servicio y la infiltración máxima registrada, para que a partir de estos datos obtener otros parámetros que sirvieron para el análisis y entendimiento del problema.

Indice de Plasticidad	Grado de Compactación	Tiempo de servicio (años)	Infiltración máxima (mm)	Relación Infilt/Tiempo	Porcentaje del tiempo de servicio
11%	75.97%	11	62	5.64	36.67%
	85.47%	14	52	3.71	46.67%
	94.97%	15	41	2.73	50.00%
13.63%	75.97%	14	50	3.57	46.67%
	85.47%	17	48	2.82	56.67%
	94.97%	19	32	1.68	63.33%
26.80%	75.97%	26	29	1.12	86.67%
	85.47%	30	26	0.87	100.00%
	94.97%	30	20	0.67	100.00%

Figura 4.7: Resumen de resultados registrados
Fuente: Registro de resultados de rotura de presa.

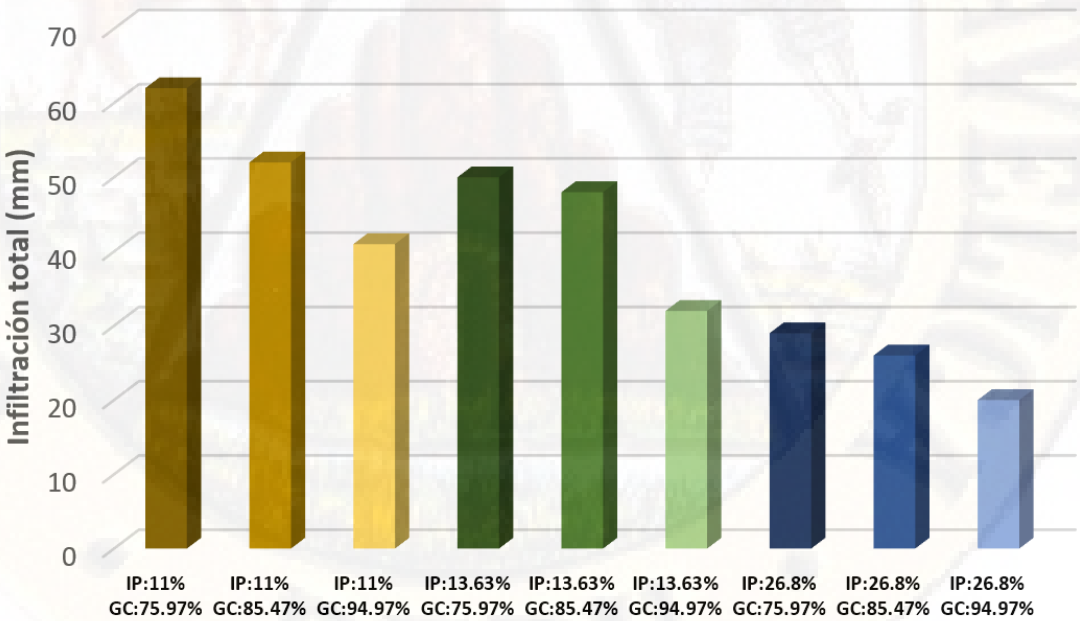


Figura 4.8: Infiltración máxima registrada
Fuente: Registro de resultados de rotura de presa.

A partir de la construcción de cada presa y su posterior embalsamiento de

agua; se observó como el nivel del agua iba disminuyendo progresivamente con el paso de los días, registrándose incrementos mayores a partir del sexto día debido a que se efectuó el sifonamiento inducido de los núcleos de tierra de la presas. Tal como se muestra en la Figura 4.8; los picos máximos de infiltración con relación al nivel de embalse inicial de agua fueron mayores en aquellas presas que tuvieron un índice plasticidad de 11 % y a medida que el grado de compactación aumentaba la infiltración registrada era menor, este comportamiento se aplica de igual manera a aquellas presas de IP mayores. Si bien; la infiltración máxima registrada es menor a medida que el IP aumenta, el grado de compactación del mismo modo influye en esto, porque mientas el grado de compactación aumente la infiltración es menor.

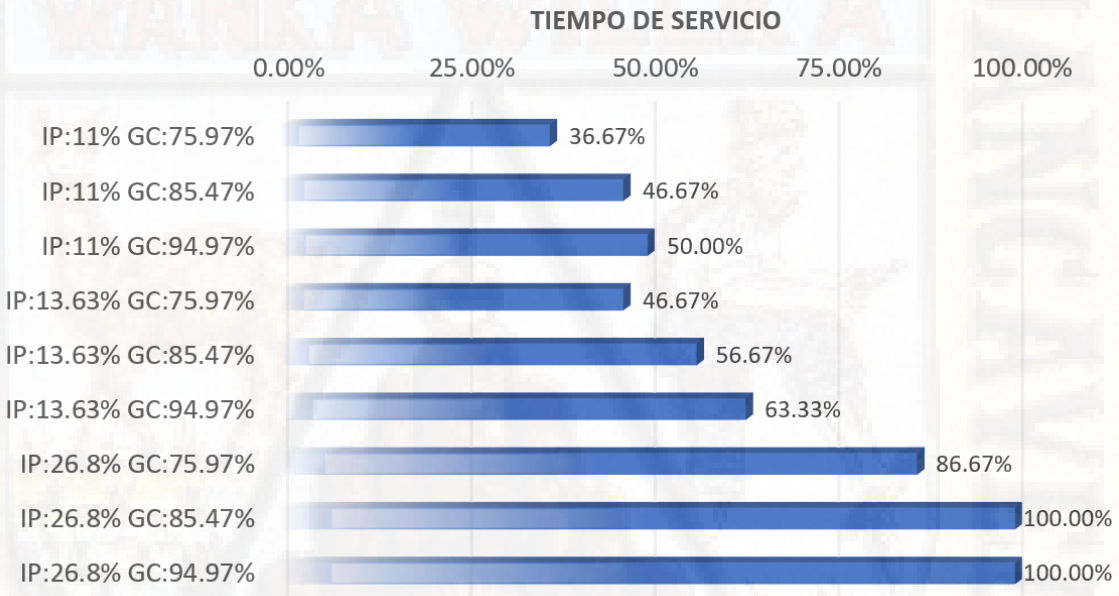


Figura 4.9: Tiempo de servicio alcanzado
Fuente: Registro de resultados de rotura de presa.

Las presas de tierra poseen un tiempo de servicio entre 40 a 50 años. Sin embargo las presas construidas fueron sometidas a un fenómeno de sifonamiento inducido y su tiempo de servicio sería menor al usual. Para el desarrollo de la investigación se consideró un tiempo de servicio entre los 30 a 40 años para presas de tierra bajo efectos de sifonamiento. Como se muestra en la Figura 4.9. El tiempo de servicio de las presas es menor en aquellas que están compuestas por un núcleo de tierra de índice de plasticidad menor, sumado al hecho de que el grado de compactación

también influye en este aspecto, pues a medida que el GC aumente el tiempo de vida de la presa (antes de fallar) también aumentará.

De los datos presentados en la Figura 4.9 se infiere que una presa con un IP de 11 % y un GC por debajo del 80 % tiene como tiempo de servicio de la infraestructura solo de un 36.67 % esto debido a que su núcleo estuvo sometido al fenómeno de sifonamiento inducido. Por lo tanto deducimos que una presa con un IP por encima del 25 % y un grado de compactación superior al 85 % cumple con su tiempo de servicio aun sometido a efectos de sifonamiento.

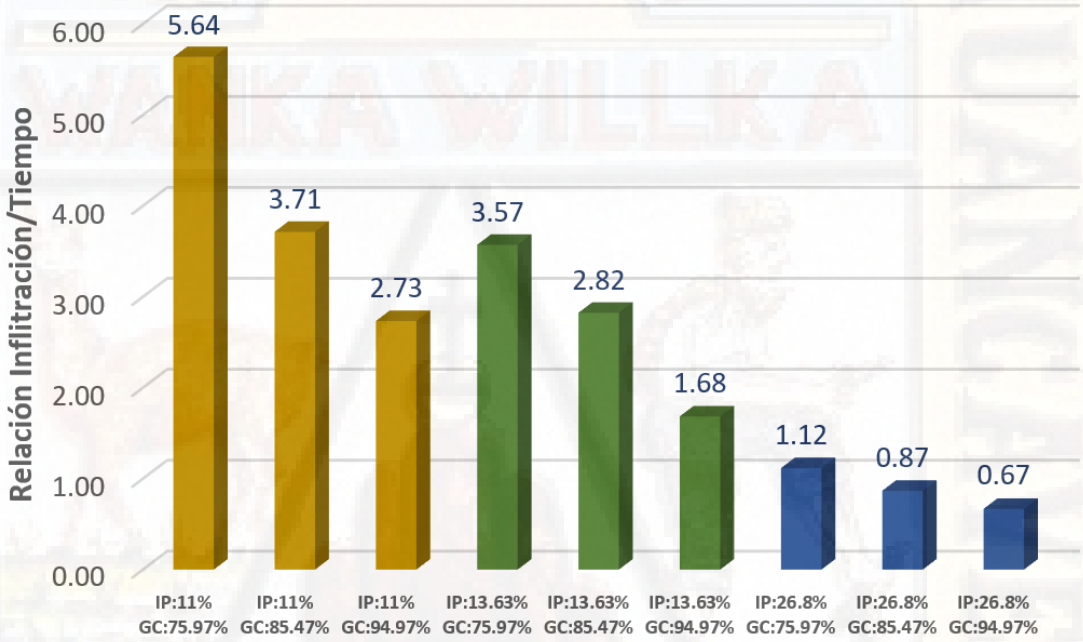


Figura 4.10: Relación Infiltración máxima y Tiempo de servicio
Fuente: Registro de resultados de rotura de presa.

Similar al gráfico de infiltración máxima registrada (Figura 4.8, el gráfico de Relación Infiltración/Tiempo; posee un comportamiento parecido debido a que la infiltración máxima y total registrada fue dividida por el tiempo de servicio de la presa (antes de su colapso), infiriendo que en promedio una presa con núcleo de tierra pierde cierta cantidad de agua anualmente, por lo que una presa con un IP de 11 % y 75.97 % en promedio pierde 75cm (5.64mm a escala) de su nivel de embalse de agua inicial, esto por proceso de infiltración y sifonamiento, de igual forma sucede con todas las demás presas que se realizaron, ya que la presa esta a una escala

1/150, un milímetro equivale a 15 cm a una escala real, de modo que el volumen de perdida dependerá de largo de la presa y longitud de embalse, es así que para la presa y sus dimensiones, un milímetro de descenso de agua representa una perdida promedio de 200 metros cúbicos anualmente. Tambien se observa que la relación de Infiltración/tiempo es cercana entre las presas de tierra con un IP 11 % y GC 85.47 % (3.71) e IP 13.63 % y GC 75.97 %, mostrando de esta manera la incidencia del IP y GC sobre la presa con núcleo de tierra y su función de retención del agua.

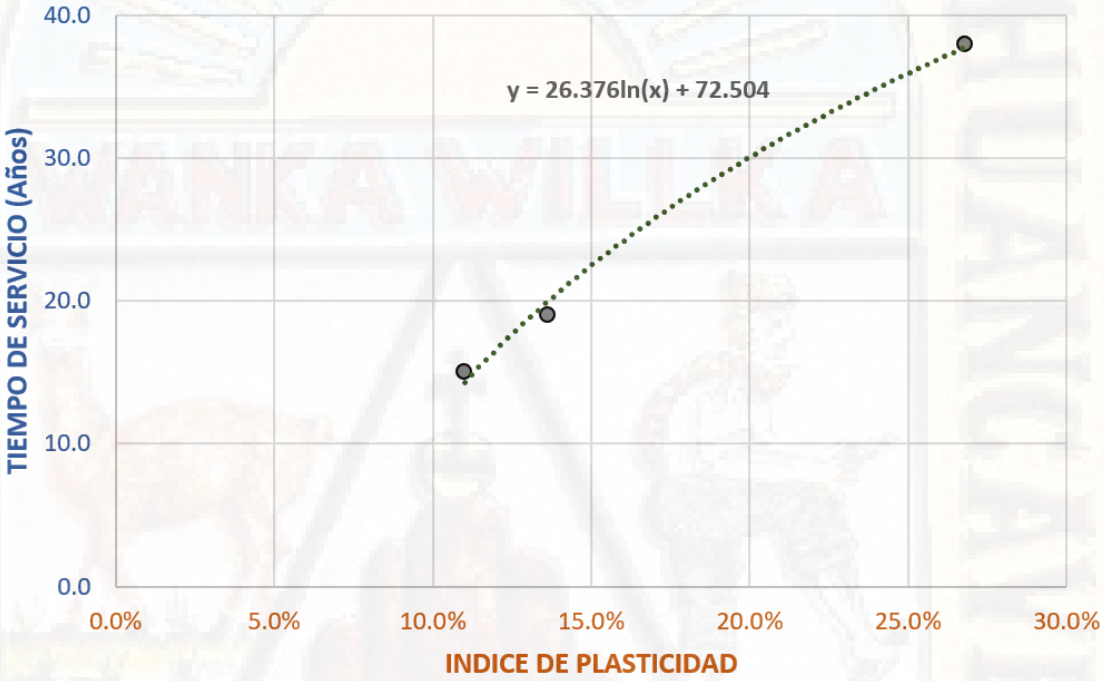


Figura 4.11: Tendencia sobre efecto de sifonamiento en el tiempo de servicio
Fuente: Registro de resultados de rotura de presa.

A partir de los resultados mostrados anteriormente, se tomaron los datos con mayor y mejor comportamiento respecto al IP (índice de plasticidad) del núcleo del suelo y el tiempo de servicio de estos.

A partir del registro de ensayos de rotura de presa se obtuvo lo que se muestra en la Figura 4.11, donde para un IP de 11 % aproximadamente el tiempo de servicio de la presa no será mayor de los 15 años y para una presa con un IP aproximado de 14 % el tiempo de servicio de la presa no superaría los 20 años.

En una presa con un núcleo de tierra de un IP superior a 25 % no presentaría colapso alguno, cumpliendo con su tiempo de servicio normal aun expuesto al fenómeno de sifonamiento inducido como fue el caso de la presente investigación. Finalmente, a partir de una regresión con estos datos se obtuvo que, el índice de plasticidad óptimo para un tiempo de servicio igual o mayor a los 30 años con presencia del efecto de sifonamiento en el núcleo de tierra sería de 20 %.

4.3. Discusión de resultados

Para la presente investigación "INFLUENCIA DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD Y GRADO DE COMPACTACIÓN EN EL EFECTO DEL SIFONAMIENTO DEL NÚCLEO DE PRESA DE TIERRA"se construyeron presas a una escala de 1/150 para realizar el análisis de comportamiento del sifonamiento, porque sería complejo experimentar a una escala real dada la magnitud y dimensiones que posee una presa de núcleo de tierra en la vida real.

De acuerdo a lo manifestado por Yepes Piqueras (2008), el flujo superficial y subterráneo del agua, así como los cambios en el nivel freático de un terreno, por causas naturales o artificiales, provocan consecuencias tanto en el terreno propio como en los colindantes. Es así que para conocer la incidencia del IP (índice de plasticidad) y GC (grado de compactación) sobre el efecto del sifonamiento se colocó limaduras de algodón (hilos) a fin de ocasionar un efecto de sifonamiento inducido, para que de esta forma observar el comportamiento del cuerpo de tierra que almacena el agua, controlando el descenso del nivel de agua por infiltración y el tiempo de servicio que tendrá la presa antes de fallar (colapsar).

Para conocer la magnitud en la cual el IP y el GC intervienen en el efecto de sifonamiento, fue necesario revisar dos aspectos, la infiltración registrada (descenso del nivel de agua) y el tiempo de servicio de la presa. La medición y supervisión a las presas fueron diarias y los registros de estos resultados fueron cada 2 días para asegurar una mejor comprensión del comportamiento y evolución del sifonamiento

del núcleo de presa de tierra. A partir del sexto día de servicio se procedió a quitar los hilos a lo largo del cuerpo de la presa (cada 2 días), debido a que el efecto de sifonamiento en los núcleos de tierra a una escala real son pequeños y visualizar su aparición en presas escaladas sería dificultoso por el tamaño y también debido a que es un proceso que toma años presentarse en una presa de tierra. Los problemas del agua como factor desestabilizante se pueden resolver si se lo mantiene lejos de las zonas donde puede causar daño o bien se controla el agua que entra mediante drenajes. Si no se controla la infiltración, el agua puede hacer migrar las partículas finas del suelo hacia una salida, ocasionando sifonamientos o roturas por erosión, o bien se incrementa la saturación, la corriente interna, o se dan excesivas sub presiones o fuerzas de infiltración (Yepes Piqueras, 2008).

Respecto al primer objetivo específico, de acuerdo a lo señalado en párrafos anteriores, el IP es un factor muy importante al momento de seleccionar el tipo de material que conformara el núcleo de una presa de tierra, pues como se muestra en los resultados, a mayor IP el efecto del sifonamiento no repercutirá en la estabilidad del núcleo de la presa aun estando sometido a efectos de sifonamiento inducido y a partir de los resultados mostrados en la Figura 4.8, se infiere que una presa de tierra que posea un IP mayor o igual a 20, hará cumplir el tiempo de servicio proyectado de la presa de tierra; mientras sea menor el valor, los efectos de sifonamiento comprometerán severamente el tiempo de servicio de la estructura.

Respecto al segundo objetivo específico de la investigación enfocado en comprender el efecto del grado de compactación en el sifonamiento de las presas con núcleo de tierra, fue necesario observar el descenso del nivel de agua inicial durante el tiempo de servicio debido a que la infiltración y la relación de infiltración/tiempo fue notoria, demostrando que en las presas con un IP menor a 15, el grado de compactación repercute en la infiltración. Un IP cercano a 14 y con un GC de 75.97 % presenta un desenso mayor comparado a uno con un IP de 11 y un GC de 94.57 %, esto se debe a que la compactación del núcleo de tierra juega un papel sumamente importante respecto a la infiltración y la aparición de tubificaciones en el cuerpo de la

presa generando un buen reacomodo de partículas durante el proceso de compactación adquiriendo una mayor densidad (mayor grado de compactación) condicionará el tiempo de aparición del fenomeno de sifonamiento en los núcleos de presas de tierra.

CONCLUSIONES

I. A mayor índice de plasticidad el tiempo de servicio de la presa de tierra será mayor aun bajo efectos de sifonamiento en los núcleos de tierra que conforman la presa. Un índice de plasticidad mayor igual a 20 % se garantiza un 80 % del tiempo de servicio proyectado de la estructura.

II. El tiempo de servicio de presas con núcleos de tierra con índices de plasticidad que oscilan entre los 10 % a 15 % sometidas a efectos de sifonamiento comprometerían el tiempo de servicio de la estructura en un 37 % a 63 % del proyectado.

III. El grado de compactación influye significativamente sobre el efecto de sifonamiento de las presas con núcleo de tierra, debido a que las acciones de compactado del material que conformará el núcleo garantizan un reacomodo óptimo de las partículas de suelo adquiriendo una mayor densidad y reduciendo la probabilidad de aparición de tubificaciones en el núcleo de tierra.

IV. El descenso del nivel de agua almacenada en las presas es una clara evidencia de la pérdida de volumen de agua por efectos de infiltración y sifonamiento, lo cual muestra las repercusiones sobre la función de almacenamiento.

SUGERENCIAS

A partir de los resultados de la presente investigación, se sugiere lo siguiente:

I. Se deben de implementar normativas a cerca de las consideraciones que se deberían de tener antes, durante y despues de la construcción de presas de tierra de acuerdo a las condiciones de las zona del Perú.

II. Al momento de construir una presa de tierra es importante considerar las condiciones del lugar y el material que conformará la presa de tierra.

III. El material a emplearse en la construcción de la presa debe de corresponder a un IP mayor o igual a 20 a fin de asegurar la estabilidad de la estructura aun bajo posibles efectos de sifonamiento durante su tiempo de servicio.

IV. Se debe de controlar el grado de compactación empleando métodos exactos en la verificación de la densidad y contenido de humedad de éste a fin de evitar el riesgo de aparición de sifonamiento e infiltración en el núcleo de presa de tierra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asensio, E. (1958). Ejecución de un núcleo impermeable en una presa de tierra. *Revista de obras públicas.*

Autoridad Nacional del Agua (2016). *Inventario de presas en el Perú.* Lima.

Banea, G. (2014). *Metodología de la investigación científica.*

Berry, P. y Reid, D. (1993). *Mecánica de suelos.* McGraw Hill.

Braja, D. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica.* OVA.

Briones, G. (Bogotá - 2002). *Metodología de la investigación cuantitativa en las ciencias sociales.*

Crespo, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones.* Lumisa.

Glez, Y., Guedes, O., y Rodríguez, S. (2017). *Las fallas en presas de tierra. Caso de Estudio: falla por estabilidad de taludes en función de las condiciones de drenaje.* La Habana.

Gómez, E. (2013). Efecto de las condiciones iniciales de compactación dinámica en la presión de preconsolidación de un suelo. *Barcelona.*

Gonzales, A., Oseda, D., Ramírez, F., y Gave, J. (2011). *Aprender y enseñar investigación científica.*

Hernandez, A. y Guardado, R. (2015). *Modelo de óptimos de parámetros de compactación de rocosos argilíticos en presas de tierra.* La Habana.

Juárez, E. y Rico, A. (2005). *Mecánica de suelos.* Limusa.

Lamas, F., Irigaray, C., y Chacón, J. (2002). Geotechnical characterization of carbonate marls for the construction of impermeable dam cores. *Elsevier.*

Llique, R. (2015). Influencia de la humedad de compactación en el comportamiento volumétrico de los suelos arcillosos. *Trujillo.*

Martin, S. (2016). *Sifonamiento químico en presas de tierra.* La habana.

Molina, S., Álvarez, O., y Gonzáles, Y. (2016). Análisis y solucion de la patología en presas de cuba: Estado del arte. *ResearchGate.*

Niño, V. (2011). *Metodología de la investigación.* Ediciones de la U, Bogotá.

Ocon, J. (2013). Influencia del índice plástico en el contenido de óptimo de humedad en suelos arcillosos. *Cajarmarca.*

Pinto, H. (2010). Desastre ecológico y ambiental en huancavelica. *Investigaciones sociales.*

Reyna, E. y Reyna, S. (2012). *Modelos analíticos y numéricos para la determinación de infiltración en presas de material suelto. Análisis de su uso y sensibilidad.* Asociación argentina de mecánica computacional.

Yepes Piqueras, V. (2008). El problema del agua en las excavaciones. *Univertat Politecnica de Valencia.*

Yılmaz, I. y Erzin, Y. (2004). Selección de material de núcleo para una presa de tierra en la cuenca inferior de cekerek, tokat, turquía. *EJGE.*

APÉNDICE

APÉNDICE A

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INTRUMENTOS
Problema General: ¿De qué manera el índice de plasticidad y grado de compactación influye en el efecto de sifonamiento del núcleo de presa de tierra? **Problemas Específicos:** • ¿De qué manera el índice de plasticidad influye en el efecto de sifonamiento del núcleo de presa de tierra? • ¿De qué manera el grado de compactación influye en el efecto de sifonamiento del núcleo de presa de tierra?	**Objetivo General:** Determinar de qué manera el índice de plasticidad el grado de compactación influye en el efecto de sifonamiento del núcleo de presa de tierra. **Objetivos Específicos:** • Determinar de qué manera el índice de plasticidad influye en el efecto de sifonamiento del núcleo de presa de tierra. • Determinar de qué manera el grado de compactación influye en el efecto de sifonamiento del núcleo de presa de tierra.	**Hipótesis General:** El índice de plasticidad y el grado de compactación influye significativamente en el efecto de sifonamiento del núcleo de presa de tierra. **Hipótesis Específicas:** • El índice de plasticidad influye significativamente en el efecto de sifonamiento del núcleo de presa de tierra. • • El grado de compactación influye significativamente en el efecto de sifonamiento del núcleo de presa de tierra.	**Variables Independientes:** • Índice de plasticidad • Grado de compactación **Variable Dependiente:** Sifonamiento en el núcleo de presas de tierra **Dimensiones:** • Perdida de volumen de agua • Tiempo de servicio antes de falla de presa	**Tipo de Investigación:** Aplicada **Nivel de Investigación:** Explicativa **Método General:** Método científico **Diseño:** Experimental GE: -------X------- O1 Donde: GE: Grupo experimental X: Manipulación de variables	**Población y muestra:** La población y muestra estuvo conformada por • 9 presas de tierra a escala con distinto IP y GC **Muestreo:** No probabilístico	**Técnicas:** • Observación **Instrumentos:** • Fichas de inspección y observación • Fichas de cotejo

APÉNDICE B

Panel fotográfico

Figura B.1: Maqueta de experimentación

Figura B.2: Pesas empleadas para la compactación

Figura B.3: Proceso de compactación

Figura B.4: Incorporación de hilos en el cuerpo de la presa

Figura B.5: Construcción de la presa por capas compactadas

Figura B.6: Embalsamiento de agua

Figura B.7: Saturación e infiltración en el núcleo de tierra

Figura B.8: Colapso de la presa

Figura B.9: Colapso del núcleo de la presa de tierra

APÉNDICE C

Hojas de resultado

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

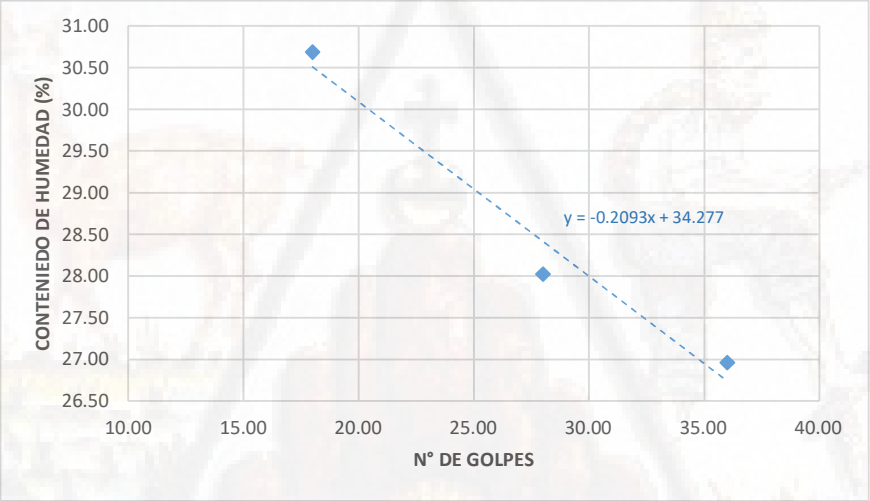
LIMITES DE CONSISTENCIA

NOMBRE DE TESIS:	INFLUENCIA DEL INDICE DE PLASTICIDAD Y GRADO DE COMPACTACION EN EL EFECTO DEL SIFONAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESA DE TIERRA
TESISTAS:	Bach. HUAMAN VARGAS, Juan Tony
	Bach. ZANABRIA CALDERON, José Smith
FECHA:	Junio del 2019
MUESTRA N°	M - 01

LÍMITE LÍQUIDO

N° DE LATA		**T-1**	**T-2**	**T-3**
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA	(gr.)	27.25	28.61	25.03
PESO DE SUELO SECO + LATA	(gr.)	24.47	25.78	23.07
PESO DE LATA	(gr.)	15.41	15.68	15.80
PESO DE SUELO SECO	(gr.)	9.06	10.10	7.27
PESO DE AGUA	(gr.)	2.78	2.83	1.96
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	**30.68**	**28.02**	**26.96**
N° DE GOLPES:	#	18.00	28.00	36.00

Curva de Fluidez



LÍMITE PLÁSTICO

N° DE LATA		**T-1**
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA	(gr.)	26.49
PESO DE SUELO SECO + LATA	(gr.)	24.92
PESO DE LATA	(gr.)	16.11
PESO DE SUELO SECO	(gr.)	8.81
PESO DE AGUA	(gr.)	1.57
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	17.82
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	**17.82**

RESULTADOS:	
LÍMITE LÍQUIDO	28.83 %
LÍMITE PLÁSTICO	17.82 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	**11.00**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

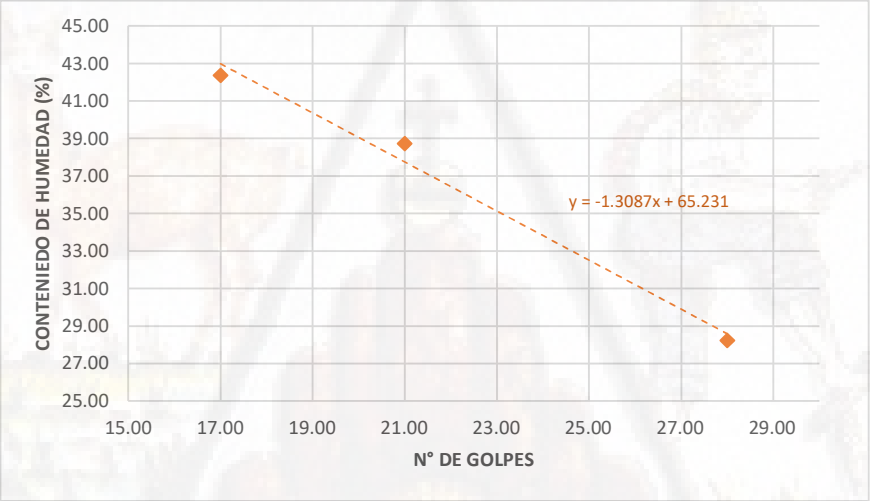
LIMITES DE CONSISTENCIA

NOMBRE DE TESIS:	INFLUENCIA DEL INDICE DE PLASTICIDAD Y GRADO DE COMPACTACION EN EL EFECTO DEL SIFONAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESA DE TIERRA
TESISTAS:	Bach. HUAMAN VARGAS, Juan Tony
	Bach. ZANABRIA CALDERON, José Smith
FECHA:	Junio del 2019
MUESTRA N°	M - 02

LÍMITE LÍQUIDO

N° DE LATA		**T-1**	**T-2**	**T-3**
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA	(gr.)	27.74	27.61	26.75
PESO DE SUELO SECO + LATA	(gr.)	24.30	24.28	24.24
PESO DE LATA	(gr.)	16.18	15.68	15.35
PESO DE SUELO SECO	(gr.)	8.12	8.60	8.89
PESO DE AGUA	(gr.)	3.44	3.33	2.51
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	**42.36**	**38.72**	**28.23**
N° DE GOLPES:	#	17.00	21.00	28.00

Curva de Fluidez



LÍMITE PLÁSTICO

N° DE LATA		**T-1**
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA	(gr.)	26.53
PESO DE SUELO SECO + LATA	(gr.)	24.90
PESO DE LATA	(gr.)	16.11
PESO DE SUELO SECO	(gr.)	8.79
PESO DE AGUA	(gr.)	1.63
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	18.53
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	**18.53**

RESULTADOS:	
LÍMITE LÍQUIDO	32.16 %
LÍMITE PLÁSTICO	18.53 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	**13.63**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

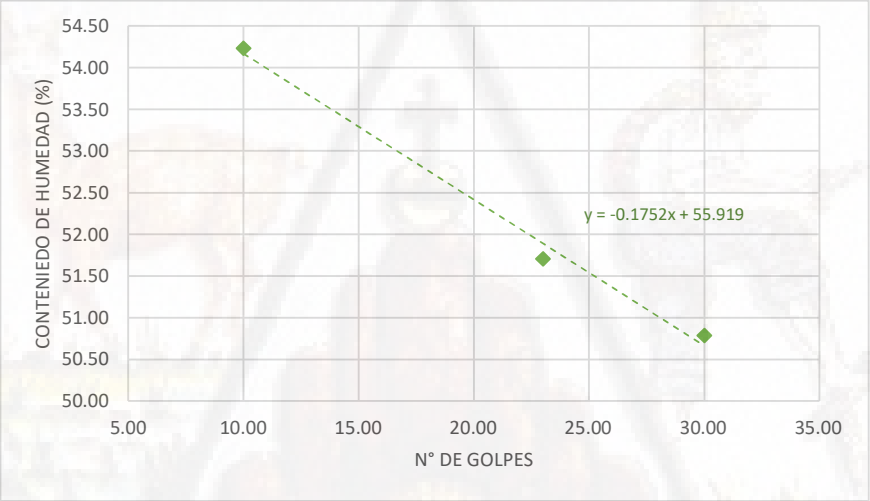
LIMITES DE CONSISTENCIA

NOMBRE DE TESIS:	INFLUENCIA DEL INDICE DE PLASTICIDAD Y GRADO DE COMPACTACION EN EL EFECTO DEL SIFONAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESA DE TIERRA
TESISTAS:	Bach. HUAMAN VARGAS, Juan Tony
	Bach. ZANABRIA CALDERON, José Smith
FECHA:	Junio del 2019
MUESTRA N°	M - 03

LÍMITE LÍQUIDO

N° DE LATA		**T-1**	**T-2**	**T-3**
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA	(gr.)	38.95	39.86	41.27
PESO DE SUELO SECO + LATA	(gr.)	32.16	32.73	34.81
PESO DE LATA	(gr.)	19.64	18.94	22.09
PESO DE SUELO SECO	(gr.)	12.52	13.79	12.72
PESO DE AGUA	(gr.)	6.79	7.13	6.46
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	**54.23**	**51.70**	**50.79**
N° DE GOLPES:	#	10.00	23.00	30.00

Curva de Fluidez



LÍMITE PLÁSTICO

N° DE LATA		**T-1**
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA	(gr.)	28.12
PESO DE SUELO SECO + LATA	(gr.)	26.80
PESO DE LATA	(gr.)	21.44
PESO DE SUELO SECO	(gr.)	5.36
PESO DE AGUA	(gr.)	1.32
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	24.63
LÍMITE PLÁSTICO	(%)	**24.63**

RESULTADOS:	
LÍMITE LÍQUIDO	51.39 %
LÍMITE PLÁSTICO	24.63 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	**26.77**

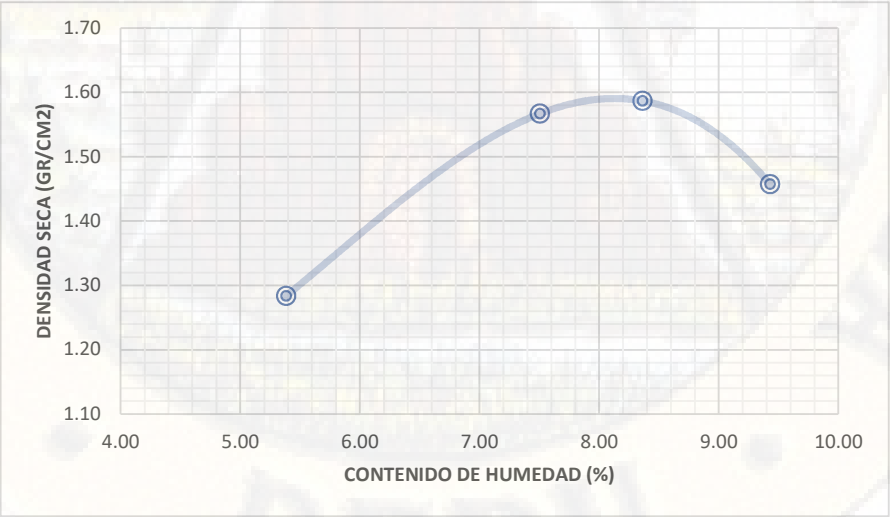
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE PROCTOR ESTÁNDAR (ASTM D-698)

NOMBRE DE TESIS:	INFLUENCIA DEL INDICE DE PLASTICIDAD Y GRADO DE COMPACTACION EN EL EFECTO DEL SIFONAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESA DE TIERRA		
TESISTAS:	Bach. HUAMAN VARGAS, Juan Tony		
	Bach. ZANABRIA CALDERON, José Smith		
FECHA:	Junio del 2019		
MUESTRA N°	M - 01		
N° GOLPES	25	**N° CAPAS**	3.00
PESO DEL MARTILLO	24.4 N	**VOLUMEN DEL MOLDE**	943.3 cm3

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
PRUEBA N°	**1**	**2**	**3**	**4**
N° DE TARA	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso del recipiente (gr)	6.90	6.78	9.50	6.50
Peso del suelo húmedo + recipiente (gr)	111.82	82.99	80.25	81.23
Peso del suelo seco + recipiente (gr)	106.46	77.67	74.79	74.79
Peso del agua (gr)	5.36	5.32	5.46	6.44
Peso del suelo seco (gr)	99.56	70.89	65.29	68.29
Contenido de humedad (%)	**5.38**	**7.50**	**8.36**	**9.43**

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD				
Contenido de humedad (w%)	5.38	7.50	8.36	9.43
Peso del molde (gr)	1933.00	1933.00	1933.00	1933.00
Volumen del molde	943.30	943.30	943.30	943.30
Peso del suelo + molde (gr)	3209.00	3522.00	3555.00	3437.00
Peso del suelo húmedo en el molde(gr)	1276.00	1589.00	1622.00	1504.00
Densidad humeda (gr/cm3)	1.35	1.68	1.72	1.59
Densidad seca(gr/cm3)	**1.28**	**1.57**	**1.59**	**1.46**



Máxima Densidad Seca	**1.59**	gr/cm3
Optimo Contenido de Humedad	**8.2**	%

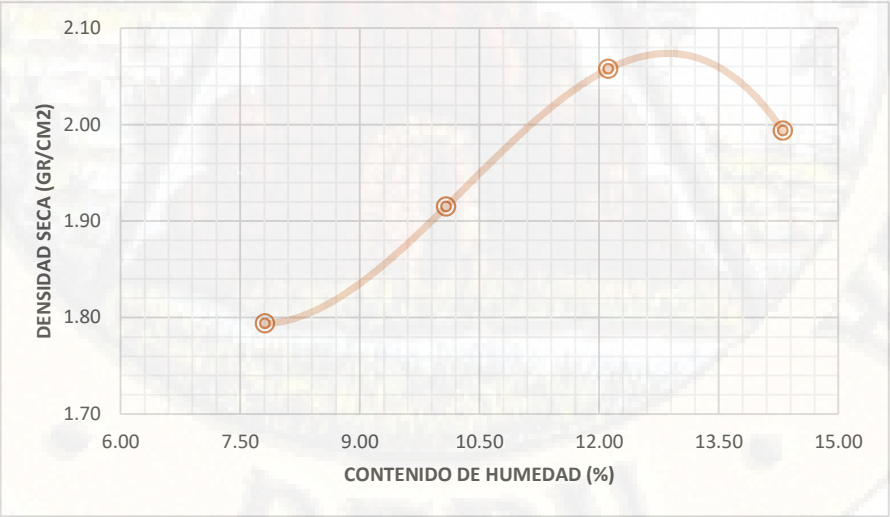
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE PROCTOR ESTÁNDAR (ASTM D-698)

NOMBRE DE TESIS:	INFLUENCIA DEL INDICE DE PLASTICIDAD Y GRADO DE COMPACTACION EN EL EFECTO DEL SIFONAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESA DE TIERRA		
TESISTAS:	Bach. HUAMAN VARGAS, Juan Tony		
	Bach. ZANABRIA CALDERON, José Smith		
FECHA:	Junio del 2019		
MUESTRA N°	M - 01		
N° GOLPES	25	**N° CAPAS**	3.00
PESO DEL MARTILLO	24.4 N	**VOLUMEN DEL MOLDE**	943.3 cm3

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
PRUEBA N°	**1**	**2**	**3**	**4**
N° DE TARA	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso del recipiente (gr)	22.57	22.00	17.85	17.32
Peso del suelo húmedo + recipiente (gr)	93.80	93.96	97.62	95.22
Peso del suelo seco + recipiente (gr)	88.64	87.37	89.00	85.47
Peso del agua (gr)	5.16	6.59	8.62	9.75
Peso del suelo seco (gr)	66.07	65.37	71.15	68.15
Contenido de humedad (%)	**7.81**	**10.08**	**12.12**	**14.31**

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD				
Contenido de humedad (w%)	7.81	10.08	12.12	14.31
Peso del molde (gr)	1933.00	1933.00	1933.00	1933.00
Volumen del molde	943.30	943.30	943.30	943.30
Peso del suelo + molde (gr)	3757.20	3921.40	4109.00	4082.50
Peso del suelo húmedo en el molde(gr)	1824.20	1988.40	2176.00	2149.50
Densidad humeda (gr/cm3)	1.93	2.11	2.31	2.28
Densidad seca(gr/cm3)	**1.79**	**1.91**	**2.06**	**1.99**



Máxima Densidad Seca	**2.08**	gr/cm3
Optimo Contenido de Humedad	**12.8**	%

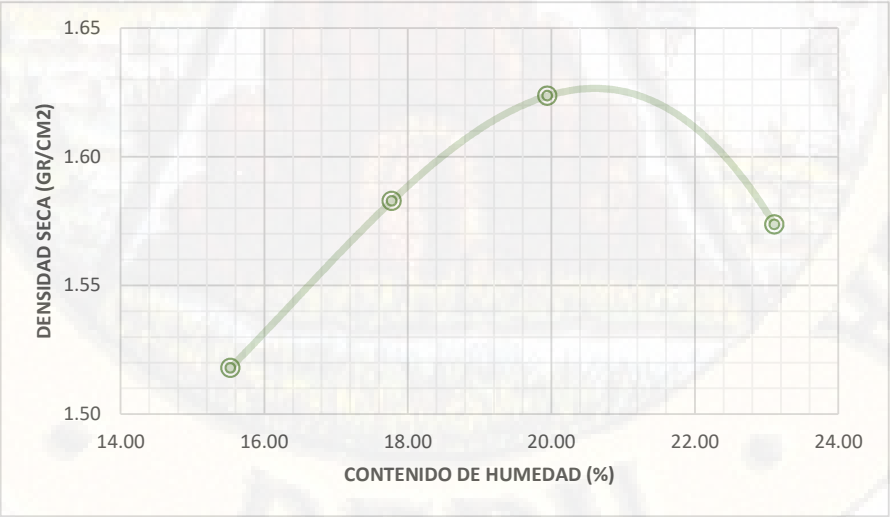
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE PROCTOR ESTÁNDAR (ASTM D-698)

NOMBRE DE TESIS:	INFLUENCIA DEL INDICE DE PLASTICIDAD Y GRADO DE COMPACTACION EN EL EFECTO DEL SIFONAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESA DE TIERRA		
TESISTAS:	Bach. HUAMAN VARGAS, Juan Tony		
	Bach. ZANABRIA CALDERON, José Smith		
FECHA:	Junio del 2019		
MUESTRA N°	M - 01		
N° GOLPES	25	**N° CAPAS**	3.00
PESO DEL MARTILLO	24.4 N	**VOLUMEN DEL MOLDE**	943.3 cm3

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
PRUEBA N°	**1**	**2**	**3**	**4**
N° DE TARA	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso del recipiente (gr)	22.57	22.00	17.85	17.32
Peso del suelo húmedo + recipiente (gr)	98.90	98.99	103.19	101.22
Peso del suelo seco + recipiente (gr)	88.64	87.37	89.00	85.47
Peso del agua (gr)	10.26	11.62	14.19	15.75
Peso del suelo seco (gr)	66.07	65.37	71.15	68.15
Contenido de humedad (%)	**15.53**	**17.78**	**19.94**	**23.11**

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD				
Contenido de humedad (w%)	15.53	17.78	19.94	23.11
Peso del molde (gr)	1933.00	1933.00	1933.00	1933.00
Volumen del molde	943.30	943.30	943.30	943.30
Peso del suelo + molde (gr)	3587.20	3691.40	3770.00	3760.50
Peso del suelo húmedo en el molde(gr)	1654.20	1758.40	1837.00	1827.50
Densidad humeda (gr/cm3)	1.75	1.86	1.95	1.94
Densidad seca(gr/cm3)	**1.52**	**1.58**	**1.62**	**1.57**



Máxima Densidad Seca	**1.63**	gr/cm3
Optimo Contenido de Humedad	**20.63**	%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

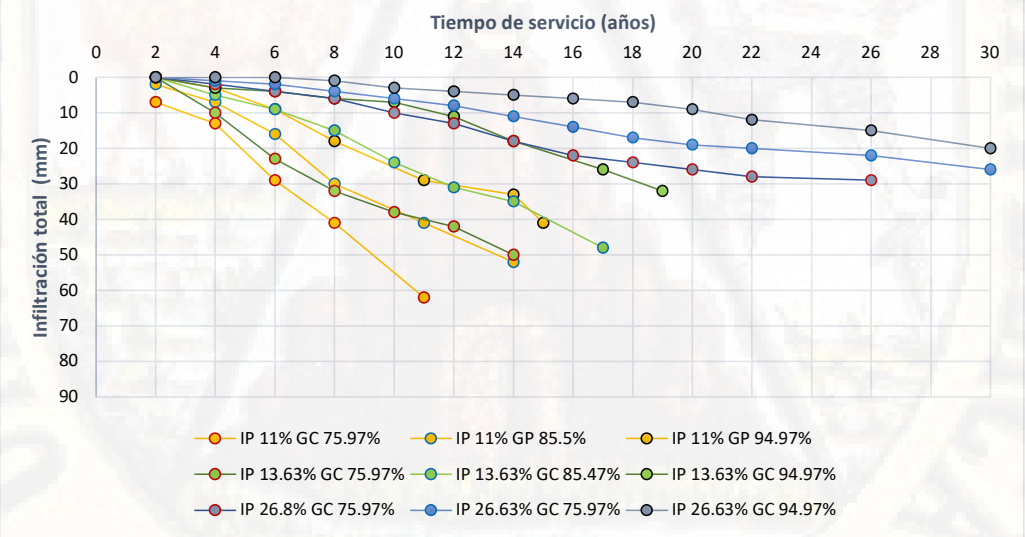
FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE ROTURA DE PRESA POR SIFONAMIENTO

NOMBRE DE TESIS:	INFLUENCIA DEL INDICE DE PLASTICIDAD Y GRADO DE COMPACTACION EN EL EFECTO DEL SIFONAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESA DE TIERRA
TESISTAS:	Bach. HUAMAN VARGAS, Juan Tony
	Bach. ZANABRIA CALDERON, José Smith

Indice de Plasticidad	Grado de Compactación	Tiempo (Días)	2	4	6	8	11	14	15	16	18	20	22	24	26
11.00%	75.97%	Infiltración (mm)	7	13	29	41	62	COLAPSÓ							
	85.47%	Infiltración (mm)	2	7	16	30	41	52	COLAPSÓ						
	94.97%	Infiltración (mm)	0	3	9	18	29	33	41	COLAPSÓ					

Indice de Plasticidad	Grado de Compactación	Tiempo (Días)	2	4	6	8	10	12	14	17	19	20	22	24	26
13.63%	75.97%	Infiltración (mm)	0	10	23	32	38	42	50	COLAPSÓ					
	85.47%	Infiltración (mm)	0	5	9	15	24	31	35	48	COLAPSÓ				
	94.97%	Infiltración (mm)	0	3	4	6	7	11	18	26	32	COLAPSÓ			

Indice de Plasticidad	Grado de Compactación	Tiempo (Días)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	26	30
26.80%	75.97%	Infiltración (mm)	0	2	4	6	10	13	18	22	24	26	28	29	C
	85.47%	Infiltración (mm)	0	1	2	4	6	8	11	14	17	19	20	22	26
	94.97%	Infiltración (mm)	0	0	0	1	3	4	5	6	7	9	12	15	20