



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**MODELO FÍSICO DE UNA PRESA PARA EVALUAR LA
INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA DE SUELOS
ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NÚCLEO
DE PRESAS DE TIERRA**

PRESENTADA POR

STEPHANE YVETTE FLORES FALCON

MARY ISABEL QUICAÑO CHIPANA

ASESOR

GONZALO FANO MIRANDA

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2018



CC BY-NC-ND

Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada

La autora sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**MODELO FÍSICO DE UNA PRESA PARA EVALUAR LA
INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA DE SUELOS
ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NÚCLEO DE
PRESAS DE TIERRA**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

PRESENTADA POR

**FLORES FALCON, STEPHANE YVETTE
QUICAÑO CHIPANA, MARY ISABEL**

LIMA – PERÚ

2018

A Dios, a mis padres, Segundo y Victoria, por su apoyo en esta etapa, y a mis hermanos por estar siempre para mí.

Stephane Flores Falcon

A Dios, a mis padres, Sabina y Raúl, por su apoyo en esta etapa, y a mi hermano Julio. En especial a mi abuela, Justina Calderón Flores, por haber sido un gran ejemplo en mi vida.

Mary Quicaño Chipana

Expresamos nuestro agradecimiento a los ingenieros Fernando Paz, Juan Manuel Oblitas Santa María y Alexis Samohod Romero, por ser nuestros guías en el desarrollo de la presente tesis

ÍNDICE

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Situación problemática	1
1.2. Formulación del problema	4
1.3. Objetivos generales y específicos	5
1.4. Justificación	6
1.5. Alcances y limitaciones	6
1.6. Viabilidad	7
CAPÍTULO II. MARCO TEORICO.....	8
2.1. Antecedentes de la Investigación	8
2.2. Bases Teóricas	20
2.3. Definición de términos básicos	35
2.4. Hipótesis	37
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	39
3.1. Tipo de investigación	39
3.2. Nivel de Investigación	39
3.3. Diseño de investigación	40
3.4. Variables	40
3.5. Población y Muestra	42
3.6. Técnicas de investigación	42

3.7. Instrumento de recolección de datos	44
3.8. Técnicas e instrumento de recolección de datos	44
3.9. Procesamiento y análisis estadísticos de los datos	45
CAPÍTULO IV. PRUEBAS Y RESULTADOS	46
4.1. Caso de investigación	46
4.2. Ensayos de laboratorio	50
4.3. Construcción del modelo físico	66
4.4. Funcionamiento del modelo físico	76
CAPÍTULO V. DISCUSION	82
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	86
FUENTES DE INFORMACIÓN	87
ÍNDICE DE ANEXOS	92

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Causa de fallas de presa de tierra	3
Figura 2. Composición de las arcillas	21
Figura 3. Modelo físico de una presa de tierra	21
Figura 4. Presa de gravedad	22
Figura 5. Presa de Rules ubicado en el cauce del río Guadalfeo, Granada	23
Figura 6. Presa de arco	23
Figura 7. Presa Hoover, situado en el curso del río Colorado (EEUU)	24
Figura 8. Presa contrafuerte	25
Figura 9. Presa de Roselend, situada en el río Doron de Beaufort (Francia)	25
Figura 10. Presa Condoroma situada entre Arequipa y Cuzco	26
Figura 11. Sección transversal de una presa homogénea	28
Figura 12. Sección transversal de una presa zonificada	28
Figura 13. Estructura de presa de tierra	29
Figura 14. Molde cilíndrico para el ensayo de compactación	34
Figura 15. Tamices que se usaron para realizar el ensayo de granulometría	42
Figura 16. Secuencia de las actividades	43
Figura 17. Ubicación de la zona donde se obtuvo la primera muestra de suelo arcilloso	47
Figura 18. Ubicación de la zona donde se obtuvo la segunda muestra de suelo arcilloso	48
Figura 19. Muestras de arcilla, la imagen de la izquierda pertenece a Cerro de Pasco y la derecha corresponde a Huánuco	49
Figura 20. Modelo físico en funcionamiento	50
Figura 21. Muestras colocadas en el horno	51
Figura 22. Realización del ensayo de granulometría	53
Figura 23. Análisis granulométrico de la grava	54
Figura 24. Análisis granulométrico de la arena	54

Figura 25. Análisis de granulometría por tamizado de la arcilla de Cerro de Pasco	55
Figura 26. Análisis de granulometría por tamizado de la arcilla de Huánuco	55
Figura 27. Ensayo de límite líquido de la arcilla de Cerro de Pasco	56
Figura 28. Ensayo de límite líquido de la arcilla de Huánuco	57
Figura 29. Límite líquido de la arcilla de Cerro de Pasco	57
Figura 30. Límite líquido de la arcilla de Huánuco	58
Figura 31. Proctor estándar de la arena	60
Figura 32. Proctor estándar de la arcilla de Cerro de Pasco malla N°16	60
Figura 33. Proctor estándar de la arcilla de Cerro de Pasco malla N°30	61
Figura 34. Proctor estándar de la arcilla de Huánuco malla N°16	62
Figura 35. Proctor estándar de la arcilla de Huánuco malla N°30	62
Figura 36. Permeámetro de carga variable	63
Figura 37. Ensayo de permeabilidad de la arcilla de Huánuco malla N°16	65
Figura 38. Presa Yuracmayo	66
Figura 39. Dimensiones de presa Yuracmayo	67
Figura 40. Dimensiones del modelo físico	68
Figura 41. Plancha de acrílico	70
Figura 42. Cloroformo	71
Figura 43. Aplicación de pegamento en el acrílico	71
Figura 44. Compartimientos de acrílico que conforman el cuerpo de la presa	72
Figura 45. Proceso de instalación del tubo de PVC y codos	73
Figura 46. Instalación de válvula tipo bola PVC de 1"	73
Figura 47. Instalación de piezómetros	74
Figura 48. Instalación de sensores de flujo	75
Figura 49. Proceso de instalación del Arduino, LCD y lectora microSD	75
Figura 50. Controlador de sensores	76
Figura 51. Componentes del cuerpo de la presa	76
Figura 52. Proceso de compactación en los compartimientos de acrílico, para el núcleo de la presa	77
Figura 53. Compartimientos llenos con las muestras de suelo	78
Figura 54. Llenado de agua de la zona de aguas arriba	78
Figura 55. Caudal de las filtraciones	79
Figura 56. Volumen de las filtraciones	80
Figura 57. Modelo físico en funcionamiento	81

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 1. Valores anuales de precipitación	11
Tabla N° 2. Lista de presas de acuerdo con su tipología	27
Tabla N° 3. Norma E 050 Suelos y Cimentaciones	30
Tabla N° 4. Cantidad mínima de material húmedo	31
Tabla N° 5. Tamaño máximo de tamices	32
Tabla N° 6. Curva granulométrica	32
Tabla N° 7. Operacionalización de variables	41
Tabla N° 8. Ensayos de laboratorio	50
Tabla N° 9. Cálculos para obtener el contenido de humedad de la grava	51
Tabla N° 10. Cálculos para obtener el contenido de humedad de la arena	52
Tabla N° 11. Cálculos para obtener el contenido de humedad de la muestra de Pasco	52
Tabla N° 12. Cálculos para obtener el contenido de humedad de la muestra de Huánuco	52
Tabla N°13. Ensayo de permeabilidad de la malla N° 16	64
Tabla N° 14. Ensayo de permeabilidad de la malla N° 30	64
Tabla N° 15. Ensayo de permeabilidad de la malla N° 16	65
Tabla N° 16. Ensayo de permeabilidad de la malla N° 30	66
Tabla N° 17. Escalas usadas para el modelo físico	68
Tabla N° 18. Lista de materiales para la construcción del modelo físico	69

RESUMEN

A través de los años, la construcción de presas ha contribuido a mejorar la calidad de vida de las personas, el estudio de este tipo de estructura ha sido fundamental para su diseño y construcción. La presente tesis está basada en el estudio de presas de tierra, específicamente el núcleo, tema que no ha sido muy abordado.

La investigación fue de tipo aplicada y cuantitativa, nivel descriptivo y diseño experimental; siendo el núcleo de la presa el objeto de estudio, para el cual se obtuvieron muestras de Cerro de Pasco y Huánuco.

El objetivo principal de la presente tesis es implementar un modelo físico de una presa para evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento del núcleo de presas de tierra, para esto se sometió la muestra a un ensayo granulométrico y se seleccionaron dos tamices: N°16 y la N°30, en busca de comparar los desempeños de cada muestra frente a las filtraciones. Posteriormente, se introdujo dicha muestra en el modelo físico que permitió tener una representación real del comportamiento del núcleo de la presa de tierra. Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de hidráulica de la Universidad de San Martín de Porres.

Los resultados obtenidos indicaron que la granulometría influye significativamente en el comportamiento del núcleo de la presa de tierra.

Palabras claves: granulometría, presa de tierra, modelo físico, tamices, filtraciones.

ABSTRACT

Over the years, the construction of dams has contributed to improve human life quality, the study of this type of structure has been vital for its design and construction. This thesis is based on the study of earth dams, specifically the core: a subject that has not been deeply discussed.

The study was an applied and quantitative research with descriptive level and experimental design; where the objective of the study was the core of the dam and whose samples were obtained from Cerro de Pasco and Huánuco.

The main objective of this thesis is to implement a physical model of a dam to assess the influence of the granulometry of clay soils on the behavior of the core of earth dams. For this, the sample was subjected to a granulometric test by selecting two screens: N° 16 and N° 30, in order to compare the performance of each sample against leakages. Subsequently, this sample was introduced in the physical model that allowed having a real representation of the behavior of the core of the earth dam. These tests were conducted in the hydraulics laboratory of the San Martín de Porres University.

The results obtained indicated that the granulometry significantly influences the behavior of the core of the earth dam.

Key words: granulometry, earth dam, physical model, screens, leakages.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el cambio climático ha afectado las reservas de agua natural, por lo que el hombre en su afán de conservar este recurso de vital importancia ha tomado medidas para su conservación.

Las presas constituyen una solución para la conservación del agua, pero también hay que tener en cuenta el impacto que puede generar la construcción de estas estructuras sobre la naturaleza, por eso se debe tener cuidado en la planificación y la construcción de estas estructuras, se busca que generen el menor daño posible a la naturaleza.

La presa se define como una barrera que se construye generalmente en una quebrada o desfiladero sobre un río o un arroyo, que tiene por finalidad embalsar el agua en el cauce fluvial para posteriormente usarlo en el regadío, industria, abastecimiento, entre otros beneficios que mejoran la calidad de vida de las personas.

Estas estructuras no se han librado de fallas, entre las principales causas de fallas de presas se tiene el fenómeno de la tubificación (proceso de remoción de partículas de suelos), filtraciones, desbordamientos, falla en la cimentación de la presa, sismos, licuación, erosión interna, entre otros factores.

Las presas de tierra se caracterizan por tener una sección trapezoidal, también son generalmente más económicas que las presas de concreto y resisten mejor los asentamientos de la cimentación.

La presente tesis está referida a las presas de tierra, específicamente al núcleo. El objetivo principal de esta investigación es implementar el modelo físico de una presa para evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento de núcleo de presas de tierra, se utilizaron dos muestras de suelo como material que conforma el núcleo de la presa. El modelo físico que se construyó permitió tener una representación real del comportamiento del núcleo de la presa de tierra.

Esta investigación está constituida por cinco capítulos, los cuales se detallan a continuación:

El capítulo I, presenta el planteamiento del problema, se muestra la situación problemática, se formula el problema general y específico, se definen los objetivos generales y específicos, se fundamenta la justificación, las limitaciones y la viabilidad.

El capítulo II, comprende el marco teórico, se desarrollan los antecedentes del problema, las bases teóricas y se definen los términos básicos.

El capítulo III, explica la metodología que se va a usar para el desarrollo de la tesis: tipo, diseño y nivel de la investigación.

El capítulo IV, está referido a los resultados que comprenden el desarrollo de la investigación, los materiales y equipos que se necesitaron y los procedimientos que se realizaron durante la investigación.

El capítulo V, muestra la discusión y el análisis de los resultados obtenidos durante la realización de la investigación. Finalmente, se dan las conclusiones, recomendaciones y se indican las fuentes de información.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

A través de la historia las presas han brindado una solución para la conservación del agua, puesto que permiten almacenar este recurso para utilizarlo en el abastecimiento, riego agrícola, prevención de inundaciones, generación de electricidad, fines recreativos, entre otros beneficios.

Cabe señalar que estas estructuras no se han librado de fallas, como consecuencia han provocado inundaciones que han ocasionado pérdida de vidas humanas y bienes materiales. Entre las principales causas de fallas de presas se tiene el fenómeno de la tubificación (proceso de remoción de partículas de suelo), filtraciones, desbordamientos, falla en la cimentación de la presa, sismos, licuación, entre otros factores; también es importante considerar que las causas mencionadas se deben a errores en los estudios hidrológicos, geológicos y geotécnicos que se realizaron previamente a su construcción.

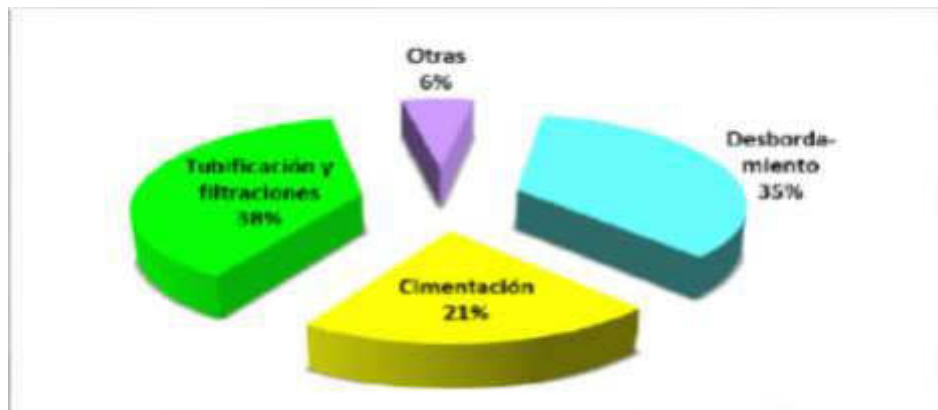
Como se ha mencionado, resulta indiscutible que las presas proporcionan beneficios acompañados de riesgos, un ejemplo de falla de una presa de agua sucedió en la presa de Algodoes

ubicada al norte de Brasil, esta presa falló en mayo del 2009 debido a intensas lluvias que se registraron en la zona, la presa se había terminado de construir en el año 2002, esta falla se debió a que la zona norte de Brasil no es excepcionalmente lluviosa, el borde libre de la presa era muy pequeño y cuando ocurrieron las lluvias la presa comenzó a fallar erosionándose inicialmente, posteriormente el talud de la presa se deslizó, pero las autoridades lograron repararla, no obstante, ocurrieron nuevas lluvias y la presa volvió a fallar. La consecuencia fue una inundación de hasta 20 metros de altura, que destruyó puentes, viviendas y produjo pérdida de vidas humanas. Se atribuye la causa de este desastre a un exceso de lluvias que no se habían registrado antes en esa zona de Brasil, no se tomó en cuenta este factor en el diseño de la presa.

Las causas de fallas que se han mencionado con anterioridad se han dado tanto en presa de concreto como de tierra en distintas partes del mundo, estas experiencias brindan mayor conocimiento a los ingenieros para el estudio adecuado del terreno donde se proyectará la construcción de la presa en criterios de diseño, calidad de la construcción, mantenimiento y operación.

Fernández R. (2012) citado por Glez, Y. y Guedes, O. y Rodríguez, S. (2017), realizó un estudio acerca de las principales causas de fallas de presas de tierra, representándolo en la siguiente figura.

Figura 1. Causa de fallas de presa de tierra



Fuente: Fernández, R. (2012) citado por Glez, Y. y Guedes, O. y Rodríguez, S. (2017)

En la figura se puede apreciar que la principal causa de falla de presas de tierra en el mundo se debe a la tubificación y filtraciones.

La presente tesis va a tratar acerca de las presas de tierra que brindan una solución más económica en relación con las presas de concreto, se debe de tener en cuenta que para su construcción es importante seleccionar adecuadamente los suelos que la van a conformar de preferencia para este tipo de estructuras se emplean los materiales disponibles en el sitio. El principal motivo que impulsa esta investigación es implementar un modelo físico de una presa para evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento de núcleo de presas de tierra, la construcción del modelo físico permitió simular su comportamiento frente filtraciones que son la principal causa de falla de presas de tierra.

El núcleo de las presas de tierra debe ser de un suelo impermeable, para la presente tesis se utilizaron dos muestras de arcilla proveniente de Cerro de Pasco y Huánuco, se analizó su comportamiento frente a las filtraciones, para esto se construyó un modelo físico para la simulación de la presa de tierra. Se debe de considerar que

la muestra se sometió a ensayo granulométrico seleccionando las mallas N°16 y N°30. Estos ensayos se realizaron en los laboratorios de suelos e hidráulica de la Universidad de San Martín de Porres.

1.2. Formulación del problema

A continuación, se presentará el problema general y los problemas específicos de la presente tesis.

a) Problema general

El problema general del presente trabajo de investigación fue determinar

¿En qué medida el modelo físico de una presa permite evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento de núcleo de presas de tierra?

b) Problemas específicos

Se formularon los siguientes objetivos específicos que contribuyeron al logro del objetivo general de la tesis

- ¿Cuál será la relación de la humedad óptima de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N° 16 y N° 30 en el comportamiento del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico?
- ¿Cuál será la relación de los límites de Atteberg de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N° 16 y N° 30 en el comportamiento del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico?
- ¿Cuál será la relación de la permeabilidad de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N° 16 y N° 30 en el comportamiento del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico?

- ¿Cuál será la relación de las filtraciones de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N° 16 y N° 30 en el comportamiento del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico?

1.3. Objetivos generales y específicos

Se muestra el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo de investigación.

a) Objetivo general

El objetivo general del presente trabajo de investigación fue:

Implementar un modelo físico de una presa para evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento de núcleo de presas de tierra.

b) Objetivos específicos

A continuación, se mencionan los objetivos específicos de la tesis

- Determinar la relación de la humedad óptima de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico.
- Determinar la relación de los límites de Atterberg de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico.
- Determinar la relación de la permeabilidad de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico.
- Determinar la relación de las filtraciones de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico.

1.4. Justificación

La presente investigación busca brindar un estudio más detallado acerca del núcleo de las presas de tierra que es una de la parte más importante de dicha estructura; una de las principales razones de falla de presas de tierra en el mundo son las filtraciones y la tubificación que comprometen la vida útil de la presa. Según el inventario de presas realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el Perú se tienen 249 presas de tierra de un total de 743 que existen en el país.

Por ello la investigación se basa en implementar un modelo físico de una presa para evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento del núcleo de presas de tierra, la construcción del modelo físico permitió simular su comportamiento de las filtraciones en el cuerpo de la presa; de esta manera se contribuye al estudio de este tema que no ha sido abordado en el país.

1.5. Alcances y limitaciones

La presente tesis busca implementar un modelo físico de una presa para evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento del núcleo de presas de tierra, se consideró dos muestras de suelo como principal material para el núcleo de la presa, se sometió la muestra a ensayo granulométrico seleccionando la malla N°16 y N°30 , en busca de comparar los desempeños de cada muestra frente a las filtraciones esto se observó en el modelo físico que se construyó, estos ensayos se realizaron en los laboratorios de la Universidad de San Martín de Porres.

Adicionalmente se realizó el ensayo granulométrico y otros ensayos complementarios a los otros suelos que conformaron el cuerpo de la presa de tierra, no se estudió a detalle ya que el principal objeto de estudio es el núcleo de la presa.

El presente proyecto de investigación no presenta limitaciones ya que se contó con los recursos necesarios para su elaboración.

1.6. Viabilidad

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se contó con la bibliografía pertinente y acceso al Laboratorio de Materiales y Mecánica de Suelos, así como también al Laboratorio de Hidráulica de la Universidad San Martín de Porres, para poder realizar los ensayos requeridos y la construcción del modelo físico.

Los ensayos de laboratorio se realizaron con toma de muestras ejecutables y procesos estandarizados establecidos en los manuales y normas vigentes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Para la realización de la presente tesis se tuvieron en cuenta la revisión y análisis de tesis nacionales e internacionales con la finalidad de brindar una mejor perspectiva del tema que se está tratando.

2.1.1. Tesis Internacionales

A continuación, se presentarán las tesis internacionales que se emplearon como una referencia para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

2.1.1.1. Leiva Llerena I. (2017)

La autora elaboró la siguiente tesis que lleva por título “Tendencias actuales en el análisis de la integridad de presas de tierra”

Leiva muestra como objetivo “la elaboración de un estudio acerca de la evaluación de las fallas de las presas de tierra en el mundo y en especial de Cuba, considerando su comportamiento estructural e hidráulico; para poder realizar dicha evaluación realizó un análisis de seguridad de presas”. (p. 9-10).

Asimismo la autora llegó a la conclusión que “aplicando de manera adecuada los análisis de seguridad se puede garantizar la integridad de las presas de tierra”. (p. 89)

La tesis de Leiva Llerena I. no se vincula de manera directa con este trabajo de investigación, pero hace mención a un tema en común que son las presas de tierra.

2.1.1.2. Parcero López A. (2016)

El autor elaboró la tesis denominada: “Estabilidad de taludes de presas de tierra y enrocado ante sismos y fuerzas de filtración”. Presento como objetivo principal:

Realizar un análisis flujo- estabilidad en presas de tierra y enrocado considerando el efecto de los sismos y las fuerzas de filtración. Describió los fundamentos teóricos sobre los análisis de flujo de agua y de estabilidad de taludes, también expuso de forma resumida un panorama general sobre la teoría de los suelos parcialmente saturados, incluyendo algunos modelos matemáticos para este tipo de análisis. (Parcero, 2016, p. 119-120).

Además propuso una metodología para el modelado numérico como un problema acoplado de flujo de agua (establecido y

transitorio) y de estabilidad en un medio saturado/no saturado. Se realizó el modelado con la ayuda del código Slope/W (GeoStudio 2007, Geo-Slope International 2004), donde se obtuvieron los factores de seguridad mínimos aceptables para los análisis de estabilidad. La metodología se aplicó a la presa de Netzahualcóyotl (Malpaso), localizada en el estado de Chiapas sobre el río Grijalva. Se trata de una presa de tierra y enrocamiento, que tiene como funciones principales el almacenamiento de agua para el riego de la zona y la generación de energía eléctrica. (Parcero, 2016, p. 100-101)

El citado autor llegó a la conclusión que para determinar los parámetros o funciones hidráulicas de materiales parcialmente saturados es necesario una selección adecuada de los modelos matemáticos que representen de la forma más realista posible las curvas características del suelo y las funciones de conductividad hidráulica, esta tesis ayuda a conocer los parámetros de la estabilidad de taludes de la presa de tierra utilizando un modelo matemático. (Parcero, 2016, p.119)

Lo primordial de la tesis de Parcero López A. se enfoca en el modelamiento, sin embargo, el presente estudio no se centra en el modelamiento sino en la implementación del modelo físico donde se evalúa el núcleo de la presa de tierra y se realiza el ensayo de análisis granulométrico de la arcilla para el desarrollo de la evaluación.

2.1.1.3. Gutiérrez Gómez J. (2015).

Elaboró la tesis con la siguiente denominación “Pre diseño de presa tierra en el río Piedras en la parroquia Julio Moreno, provincia de Santa Elena”. El autor señala como objetivo:

Demostrar la factibilidad técnica para la captación de agua para abastecer a las comunas ubicadas en la zona rural de la provincia de Santa Elena, de esta manera se podría satisfacer la demanda básica del lugar para las distintas aplicaciones de la misma. La cuenca de aporte que se va a estudiar corresponde a la red hidrográfica del Río Piedras al oeste de la parroquia Julio Moreno de la Provincia de Santa Elena, con una cuenca de unos 15,14 km². (Gutiérrez, 2015, p.11)

Tabla 1. Valores anuales de precipitación

AÑOS	ESTACIONES						
	SALANQUILLO	AZUCAR	JULIO MORENO	LIMONCITO	SUSPIRO	MANGLAR	GUAYAQUIL
63						12.5	54.6
64						45.5	76.5
65			64.7			60.3	55.6
66		30.0	40.0			20.8	178.4
67		79.3	127.0			228.4	75.0
68		---	10.9			9.5	98.8
69		25.0	122.1			15.6	124.6
70		30.5	70.7			---	51.5
71		41.8	39.5		46.7	---	58.6
72		54.6	117.7		112.4	45.6	91.6
73		---	111.6		50.7	115.1	204.7
74		10.8	45.9	60.0	45.3	34.0	135.8
75	30.5	102.5	129.5	17.5	69.1	121.2	122.1
76	50.1	102.7	63.7	---	82.2	43.6	170.2
77	68.5	40.8		180.0	62.5	69.1	61.7
78	22.9	---		40.4	34.1	23.4	59.3
79	63.2	14.4		38.2	56.6	40.8	88.6
80	69.8	79.8	30.6	116	72.3	40.6	108.5
81	3.5	32.4	---	25.5	27.8	39.1	95.7
82	25.9	40.7	52.0	47.9	40.6	31.5	55.8
83	77.6	150.7	150.7	148.4	133.8	160.7	164.4
84	37.9	31.4		64.0	30.4	53.1	80.5
85	15.9	23.8		36.5	37.4	25.3	45.1
86	3.6	61.3		61.9	56.1	4.5	91.5
87	43.7	40.2		127.1	75.6	9.0	128.6
88	36.4	53.5		68.8	24.5	8.0	117.1
89	35	93.4		139.7	152.3	70.0	120.6
90	0.9	11.5		38.9	21.6	14.5	49.6
91	51.6	47.0					116.4
92	58.4	70.0					113.6

Fuente: James Gutiérrez Gómez, Pre-diseño de presa de tierra en el Río Piedras, en la parroquia Julio Moreno, provincia de Santa Elena.

El autor propone “la construcción de una presa de materiales sueltos para el mejoramiento de la dotación de agua para las diferentes necesidades del área de estudio”. (p. 63)

Gutiérrez en su trabajo de investigación “calificó al proyecto de factible, ya que su realización es loable, porque en el lugar donde se realizó el estudio goza de los requerimientos necesarios, ya sean topográficos o hidráulicos, para llevarlo a cabo. Además, que va acorde a las necesidades del sector”. (p.110)

La tesis elaborada por Gutiérrez se enfocó en el pre diseño de la presa de tierra, para solucionar el problema de abastecimiento de agua para la comunidad, si bien es cierto no se centra en el estudio del núcleo de presas de tierra como si lo hace el presente trabajo de investigación, la tesis de Gutiérrez representó un antecedente importante para el estudio de presas de tierra.

2.1.1.4. Ortiz Quizhpi W. y Portilla Flores E. (2014).

Los autores realizaron la presente tesis, que lleva por título “Estudio de estabilidad de los taludes de las presas del proyecto Pacalori, teniendo en cuenta la acción sísmica”. El caso de investigación de los autores es:

El proyecto Pacalori, que está conformado por varias presas, se tuvo en consideración una de ellas la presa de Chojampe 2. En la tesis se detallaron los procesos que se deben de seguir para realizar la estabilidad de taludes empleando el “Método Pseudoestático”, añadiendo las acciones sísmicas. Este método se aplica en tres estados cuando la presa concluye la construcción, funcionamiento

y desembalse rápido considerando la acción sísmica y luego sin considerarlo. (Ortiz y Portilla, 2014, p. 17)

Los autores llegaron a la conclusión que “los procedimientos que se realizaron para el cálculo de la presa Chojampe 2 son aplicables para las demás presas que conforman el proyecto Pacalori”. (p. 66)

La tesis de Ortiz y Portilla no se relaciona directamente con el presente trabajo de investigación, puesto que hace referencia al diseño de taludes, sin embargo, brinda un mejor panorama en relación a las presas de tierra, que es un tema de interés común en ambas tesis.

2.1.1.5. Espinoza Durán C. y Tapia Berzoza L. (2013).

Los autores elaboraron la tesis que lleva por nombre “Análisis comparativo entre los métodos de estabilidad de taludes aplicados a las presas de tierra del Proyecto Pacalori”.

Esta tesis es la continuación de la tesis Ortiz W. y Portilla E., la diferencia radica que en la tesis anterior se hizo el análisis de la estabilidad de taludes con un solo método, y adicionalmente se consideraron las acciones sísmicas.

Espinoza y Tapia utilizaron modelamientos para medir los factores de seguridad de la presa de tierra, se realizó la comparación de los diversos métodos para buscar el más

eficiente. Para realizar esto se empleó el software SLOPE para el modelamiento geométrico del proyecto Pacalori. (p. 23-24)

Los autores llegaron a la conclusión que “de los diversos métodos que utilizaron para la estabilización de taludes, el mejor fue el método Bishop, también concluyeron que el agua presente en el suelo interviene en la disminución de la estabilidad de los taludes”. (p. 132)

Como en el caso anterior se debe de mencionar que la tesis de Espinoza y Tapia no se relacionan directamente con la presente tesis, pero es importante debido a que hace mención a un tema en común que son las presas de tierra.

De las tesis internacionales que se han considerado, se puede deducir que se han realizado investigaciones en el mundo relacionado a estabilidad de taludes y diseños de presas de tierra, el presente trabajo de investigación se enfoca en la implementación de un modelo físico de una presa para evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento del núcleo de presas de tierra, si bien es cierto no se vincula directamente con las tesis anteriores, sí comparte el tema de estudio que son las presas de tierra, por este motivo, la tesis de Espinoza y Tapia se considera como antecedente del presente trabajo investigación.

2.1.2. Tesis nacionales

Se presentarán cinco tesis nacionales que se emplearon como una referencia para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

2.1.2.1. Mata Príncipe R. y Trujillo Martínez J. (2018).

Los autores elaboraron la tesis denominada “Diseño de una presa de tierra para reducir la vulnerabilidad a los huaycos en la quebrada Huaycoloro-Lurigancho-Chosica”, a continuación se indica el objetivo principal de esta investigación:

Realizar el diseño de una presa de tierra para la zona de Huaycoloro, para esto se tuvieron en cuenta: datos topográficos de la zona y la incidencia de los huaycos, los mismos que fueron factores determinantes para realizar el estudio; así como también se realizaron ensayos de suelo que fueron utilizados como parámetros para establecer que materiales eran aptos para formar el cuerpo de la presa de tierra, se realizaron cálculos que permitieron establecer las dimensiones de la presa. (Mata y Trujillo, 2018, p.10)

Los autores Mata y Trujillo llegaron a la conclusión que “es viable la construcción de una presa de tierra en esta zona debido a las condiciones del lugar que fueron analizadas en su trabajo de investigación” (p. 50).

La tesis analizada no se relaciona directamente con el presente trabajo de investigación, ya que hace mención al diseño de presas de tierra, sin embargo, aborda un tema importante que son los materiales que pueden ser usados en la construcción del cuerpo de la presa de tierra.

2.1.2.2. Pérez Preciado M. (2018).

El autor realizó el trabajo de investigación que lleva por título “Estudio hidráulico y de estabilidad de una presa de materiales sueltos sobre el río Callazas en la región de Tacna”.

Pérez (2018) indica que la finalidad de su investigación es “realizar un estudio hidráulico y de estabilidad teniendo en cuenta la topografía, hidrología, geología y geotecnia de la zona” (p. 2).

Asimismo, Pérez (2018) señala que “para el caso del cálculo de estabilidad de taludes fue necesario el uso del software SLOPE, además se requirió previamente realizar ensayos de los materiales y suelos que conformaron la presa” (p. 91).

El autor llegó a la conclusión que: Realizar el cálculo de estabilidad de taludes por el método de Equilibrio Límite brinda resultados confiables, no se debe usar en caso de tensiones y asentamientos. En relación a las filtraciones en este caso son limitadas, pero como una medida de seguridad se sugiere el uso de pozos de drenaje. (Pérez, 2018, p. 90)

La investigación en análisis trata el tema de las filtraciones pero en la cimentación de la presa, además considera importante el desarrollo de la geología y geotecnia para el estudio de suelos y materiales que conforman la presa de tierra. En el presente trabajo de investigación se estudió las filtraciones en el núcleo de la presa complementando el estudio de Pérez.

2.1.2.3. Chalan Chávez A. y Guevara Paredes K. (2014).

Realizaron la siguiente tesis, que lleva por denominación “Evaluación y análisis de la estabilidad de la presa Garrapón del centro poblado Garrapón-Ascope-La Libertad”

La tesis elaborada por los autores trata acerca de la realización del proyecto Garrapón, que está basado en la construcción en tres etapas de una presa ubicada en La Libertad, cuyo objetivo es almacenar el agua del canal “Lache”.

La primera etapa del proyecto Garrapón comprendió el mejoramiento y la rehabilitación del canal “Lache”, en esta etapa también se realizó la construcción de obras de arte, la segunda fue la construcción de la presa Garrapón 1 y la tercera fue la construcción de la presa Garrapón 2. La construcción de presas de Garrapón 1 y 2 tuvieron como finalidad el almacenamiento de agua para fines de generar electricidad y el riego agrícola. (Chalan y Guevara, 2014, p. 70)

Acercas de los factores de seguridad de la presa, se concluyó que eran los más adecuados respecto a la zona de estudio. “El diseño consideró que la presa tuviera una losa de concreto ubicada en el talud de aguas arriba” (Chalan y Guevara, 2014, p.114).

La tesis de Chalan y Guevara no se relaciona directamente con el presente tema de investigación, puesto que hace referencia a la evaluación y análisis de taludes, sin embargo, aborda el tema de presas que es un tema de interés en común en ambas tesis.

2.1.2.4. Llanos Nina J. (2013)

El autor realizó “El estudio geológico-geotécnico de la presa tierra Cotachaca distrito Crucero – Carabaya”.

Este proyecto tiene como objetivo el estudio geológico-geotécnico de la presa de tierra de Cotachaca, ubicada en Puno, aquí se analizó la cimentación de la presa y los materiales que la conforman. El autor llegó a la siguiente conclusión:

Los ensayos de laboratorio que se realizaron fueron necesarios para evaluar y caracterizar los materiales empleados los ensayos realizados fueron granulometría que permitió la clasificación del suelo obteniéndose como resultado arenas arcillosas, límites de consistencia donde se determinó el índice de plasticidad de 10.07 que significa plasticidad moderada y proctor modificado que presenta 1.92 gr/cm³ con una humedad óptima de 11.50%. En el diseño de la presa se tuvo en cuenta la utilización de filtros y drenes tipo chimenea, cuya función era evitar el fenómeno de la tubificación (proceso de remoción de partículas de suelo). (Llanos, 2013, p. 87-88)

El trabajo de investigación en análisis permitió conocer la importancia de la caracterización de materiales, elemento que es necesario para evaluar los materiales que se utilizarán en la construcción de una presa de tierra; asimismo, el principal objeto de estudio de este trabajo es el núcleo, por lo cual se realizaron la respectiva clasificación de las muestras empleadas y los ensayos de laboratorios correspondientes.

2.1.2.5. Murillo Perea J. (2012)

El autor realizó la tesis con el siguiente título “Construcción de una presa de materiales sueltos en la región de Arequipa”. El objetivo de la tesis presentada por el autor fue:

La construcción de una presa con materiales sueltos en la región de Arequipa, el expediente técnico señala que estaba planteada originalmente en 7 etapas, la presa iba a estar constituido por un núcleo impermeable y obras convexas. Además, este diseño presentaba menor estabilidad sísmica. La primera etapa del proyecto se realizó con normalidad, en el caso de la segunda etapa se paralizó el proyecto por la administración del Gobierno Regional de Arequipa debido a que problemas en el diseño ya que el expediente técnico que se consideró fue una altura de 20 metros, pero esto no iba a garantizar el cumplimiento del funcionamiento de la presa. Por este motivo, se evaluaron 3 alternativas de solución, siendo la ganadora la primera alternativa que fue la más óptima tanto en aspectos técnicos y económicos. Esta primera alternativa contempla que se considere una altura de 26.5 metros que es mayor a la original, también se tuvo en cuenta una pantalla impermeable en talud aguas arriba. (Murillo, 2012, p. 2-3)

Murillo concluye que “la obra debió tener una mejor programación para optimizar los trabajos que se realizaron durante la ejecución de la obra, de esta manera se hubiera evitado pérdidas” (p. 68).

La tesis de Murillo brinda un conocimiento más amplio acerca del proceso de construcción de presas de tierra, puesto que en su desarrollo se explica el proceso constructivo.

De las tesis nacionales que se han considerado, se puede deducir que se han realizado investigaciones en el país acerca de la estabilidad de taludes, estudios geológicos - geotécnicos, diseño y construcción de presas de tierra, en presente trabajo de investigación se enfoca en la implementación de un modelo físico de una presa para evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento del núcleo de presas de tierra, si bien es cierto no se vincula directamente con las tesis anteriores pero comparten el tema de estudio que son las presas de tierra.

2.2. Bases Teóricas

A continuación, se desarrolla los conceptos de mayor relevancia que son necesarios para entender el presente trabajo de investigación.

2.2.1. Suelos Arcillosos

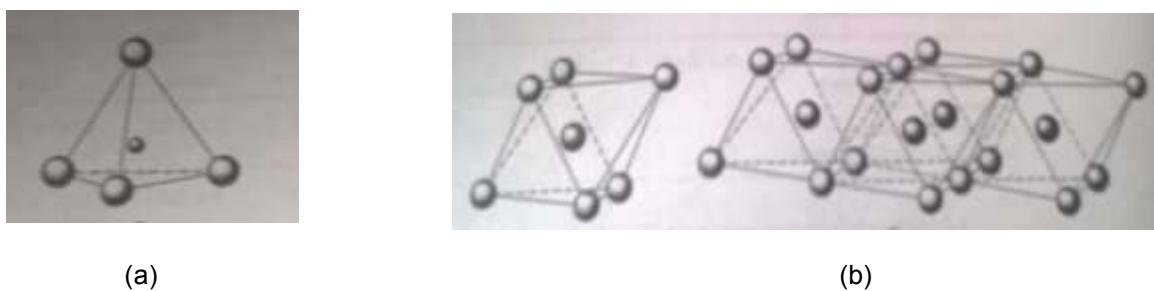
Según Terzagui k. & Peck R. (1973) “las arcillas son agregados de partículas microscópicas y submicroscópicas derivadas de la descomposición química que sufren los constituyentes de las rocas. Son suelos plásticos dentro de límites extensos en contenido de humedad y cuando están secos son duros” (p. 6).

Las arcillas generalmente son el resultado del intemperismo, es un proceso de descomposición químico que actúa sobre las rocas (feldespatos y micas).

Están constituidas por silicatos de aluminio hidratados, estos a su vez se organizan en forma de láminas: silícica (unidad tetraédrica) y alumínica (unidad octaédrica).

A continuación, la figura 2 muestra (a) tetraedro de sílice y (b) octaedro de alúmina

Figura 2. Composición de las arcillas



Fuente: Braja M. Das (2015)

2.2.2. Modelo Físico

Se define como una representación que se realiza de un prototipo que tiene por finalidad brindar un estudio más preciso de la disposición de una estructura o parte de la misma, teniendo en consideración parámetros para su análisis y evaluación. Se debe de tener en cuenta que el modelo físico es reducido en comparación con la estructura original, motivo por el cual se realiza el uso de escalas; además se debe de mantener las características y condiciones del modelo primigenio.

A continuación, la figura 3 muestra el modelo físico elaborado en el laboratorio de hidráulica de la USMP.

Figura 3. Modelo físico de una presa de tierra



Elaborado por las autoras

2.2.3. Clasificación de Presas según su Tipología

Se presenta la clasificación de presas según su tipología, se subdividen en presas de concreto y materiales sueltos.

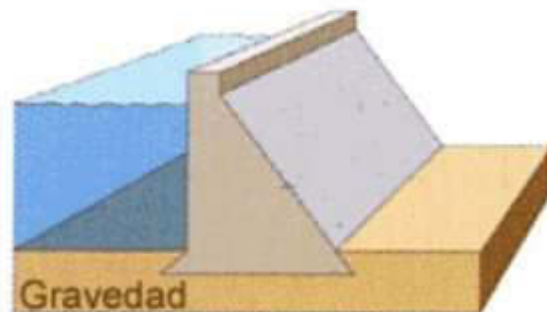
a) Presas de Concreto

A continuación, se presenta los tipos de presa de concreto.

a.1) Presas de gravedad

Las presas de gravedad poseen una sección transversal en forma de triángulo cuasi rectángulo, siendo el paramento de aguas arriba prácticamente vertical y el de aguas abajo de inclinación variable.

Figura 4. Presa de gravedad



Fuente: Structuralia Blog (2014)

El principal mecanismo resistente de las presas de gravedad es, como su propio nombre indica, el peso del cuerpo de la propia presa.

El elevado peso de una presa de gravedad también provee a la estructura de la pertinente resistencia frente al vuelco, al proporcionar el peso. El comportamiento de la presa ante la principal fuerza estabilizadora es la supresión del agua acumulada bajo esta y el empuje del agua del embalse.

Figura 5. Presa de Rules ubicado en el cauce del río Guadalfeo, Granada

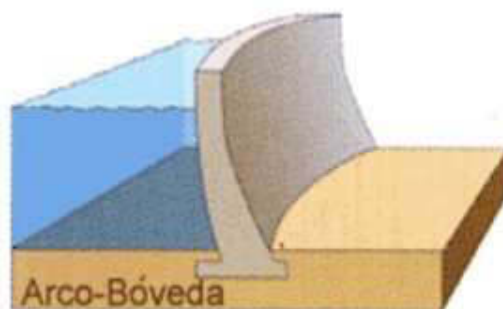


Fuente: Sparrow E. (2009)

a.2) Presas arco

Se trata de un tipo de presas de estructura muy ligera. La anchura de la base de la presa es de aproximadamente un 30% de la altura de esta. En ella se emplea una cantidad de material pequeña debido a que el mecanismo resistente de estas presas está en su forma de arco.

Figura 6. Presa de arco



Fuente: Structuralia Blog (2014)

En este tipo de presas, el mecanismo resistente es un híbrido entre las presas de gravedad y las presas arco, por lo que se trata de presas de eje curvo y sección transversal triangular de base menos

ancha que las de gravedad, con el correspondiente ahorro de material que ello supone.

Figura 7. Presa Hoover, situada en el curso del río Colorado (EEUU)

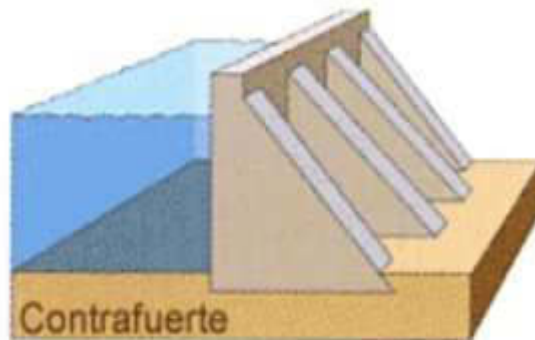


Fuente: Structuralia Blog (2014)

a.3) Presas Contrafuertes

Este tipo de presas poseen un mecanismo resistente de naturaleza similar a las presas de gravedad, pero su sección transversal está compuesta por un paramento vertical, en forma de muro, al que se le añaden una serie de contrafuertes en el paramento de aguas abajo. De esta forma, se consigue una estabilidad frente al deslizamiento y vuelco de orden similar a una presa de gravedad, pero por medio de una cantidad menor de material. Además, este tipo de presas ve disminuida ampliamente la supresión (debido a la esbeltez del cuerpo de la presa) con respecto a una presa de gravedad.

Figura 8. Presa contrafuerte



Fuente: Structuralia Blog (2014)

A pesar de las grandes ventajas económicas que la construcción de una presa de este tipo reporta debido al ahorro en material de concreto, estas no son muy usuales debido a la complejidad técnica de su construcción, en este tipo de construcción se emplean demasiado mano de obra.

Figura 9. Presa de Roselend, situada en el río Doron de Beaufort (Francia)



Fuente: Perez G. & Vasconcellos G. (2017)

b) Presas de tierra

Las presas de tierra o presas de materiales sueltos son estructuras que se construyen con materiales de la zona gravas, arenas, limos, arcilla, entre otros materiales. Se caracterizan por ser económicas en relación con las presas de concreto ya que hay ahorro en el costo de los materiales a usarse y también en el transporte de los mismos. Los principales motivos para la construcción de presas de tierra es el almacenamiento de agua para diversos usos como son generar electricidad, abastecimiento de agua, aumentar la profundidad de los ríos para que estos puedan ser navegables, el control del caudal del agua durante períodos de inundaciones y sequía, entre otros beneficios.

Figura 10. Presa Condoroma situada entre Arequipa y Cuzco



Fuente: Inventario de presas en el Perú, ANA (Autoridad Nacional de Agua).

En el Perú según el ANA (Autoridad Nacional del Agua) se tienen 249 presas de tierra de un total de 743 que existen en el país.

Tabla 2. Lista de presas de acuerdo a su tipología

N°	Tipología	N° de presas
1	Presas de gravedad de concreto o mampostería. Se incluyen las presas arco-gravedad y las de concreto armado.	294
2	Presas de materiales sueltos (homogéneas, zonificadas, con núcleo de material impermeable).	249
3	Presas de enrocado y/o materiales sueltos con pantalla de concreto o de acero.	29
4	Presas de contrafuertes.	5
5	Presas mixtas (de gravedad y dique de material suelto).	3
6	Presas de arco-gravedad.	4
7	Presas de bóveda.	1
8	Otros.	45
9	Presas de relaves.	113

Fuente: Inventario de presas en el Perú, ANA (Autoridad Nacional de Agua).

2.2.4. Materiales que se emplean en las presas de tierra

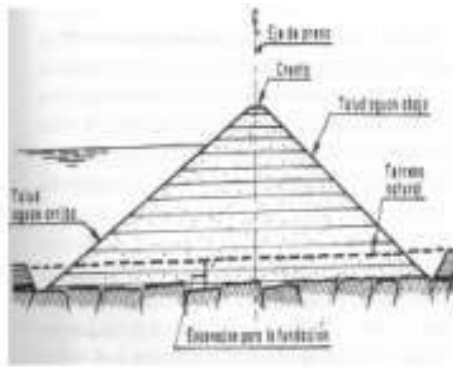
Los materiales empleados en las construcciones de presas de tierra deben poseer cierto grado de permeabilidad ya que deben evitar las filtraciones excesivas que puedan dañar parcial o totalmente la estructura. Se tiene que tener en cuenta que todas las presas sufren filtraciones en su cuerpo, las filtraciones deben ser controladas.

A continuación, se presenta la clasificación de presas de tierra según el material que lo conforma

a) Presas homogéneas

Las presas homogéneas son estructuras que están conformadas en gran parte o totalmente por un solo tipo de material, usualmente su compactación presenta baja permeabilidad

Figura 11. Sección transversal de una presa homogénea

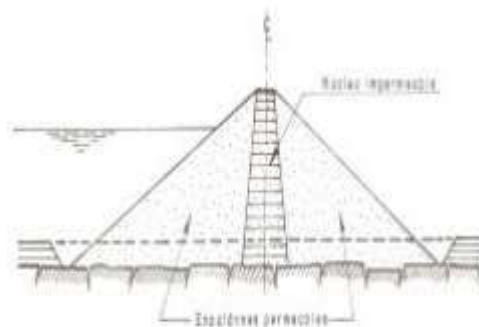


Fuente: Angelone, Geología y Geotecnia

b) Presas zonificadas

Se caracterizan por poseer un núcleo central que es parcialmente impermeable, conformado por un suelo arcilloso, a sus costados presenta dos espaldones de materiales granulares permeables de origen gravo-arenosa. En el caso del núcleo impermeable son de menor resistencia al corte, su función es evitar las filtraciones en el dique, los suelos de los espaldones son permeables y resistentes a la fricción por lo que se pueden utilizar taludes más inclinados.

Figura 12. Sección transversal de una presa zonificada



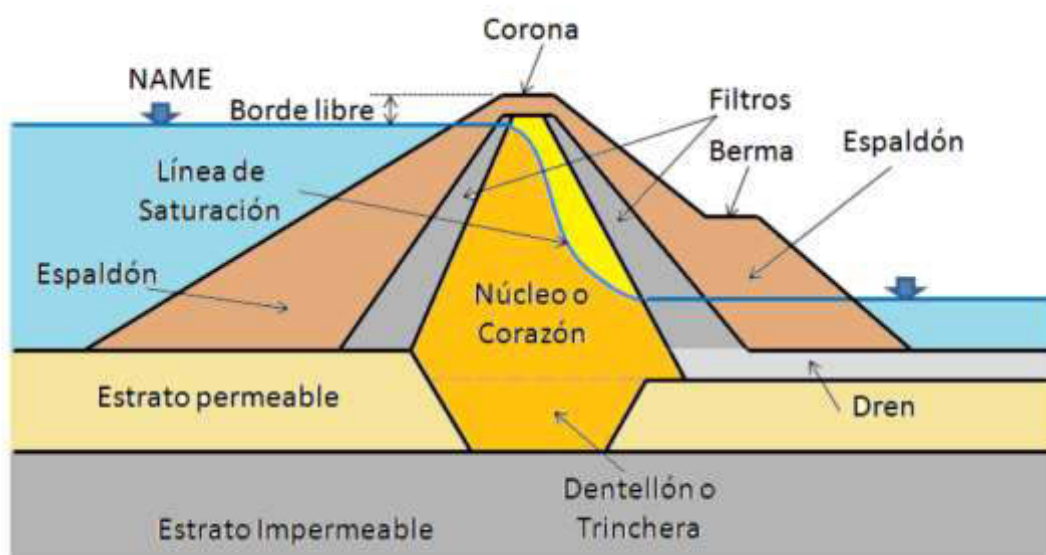
Fuente: Angelone, Geología y Geotecnia

2.2.5. Núcleo de presas de tierra

El núcleo de presa se caracteriza por ser de material impermeable ubicado en la zona interna, tiene el objetivo de evitar el paso del agua. El núcleo puede ser delgado, grueso, central e inclinado según las condiciones geográficas, geológicas y geotécnicas que contribuyen para su diseño.

El principal material que la constituye son suelos finos como la arcilla.

Figura 13. Estructura de presa de tierra



Fuente: Ing. Washington Sandoval; Presas de tierra y enrocamiento

2.2.6. Norma E 050 – suelos y cimentaciones

Según la Norma E 050 – SUELOS Y CIMENTACIONES (2006), permite establecer los requisitos necesarios para la realización de los Estudios de Mecánica de Suelos (EMS). (p. 1)

A continuación, se presenta la Tabla 3, donde se especifica los ensayos de laboratorio.

Tabla 3. Norma E 050 Suelos y Cimentaciones

TABLA N° 5	
ENSAYOS DE LABORATORIO	
ENSAYO	NORMA APLICABLE
Contenido de Humedad	NTP 339.127 (ASTM D2216)
Análisis Granulométrico	NTP 339.128 (ASTM D422)
Límite Líquido y Límite Plástico	NTP 339.129 (ASTM D4318)
Peso Específico Relativo de Sólidos	NTP 339.131 (ASTM D854)
Clasificación Unificada de Suelos (SUCS)	NTP 339.134 (ASTM D2487)
Densidad Relativa *	NTP 339.137 (ASTM D4253) NTP 339.138 (ASTM D4254)
Peso volumétrico de suelo cohesivo	NTP 339.139 (BS 1377)
Límite de Contracción	NTP 339.140 (ASTM D427)
Ensayo de Compactación Proctor Modificado	NTP 339.141 (ASTM D1557)
Descripción Visual-Manual	NTP 339.150 (ASTM D2488)
Contenido de Sales Solubles Totales en Suelos y Agua Subterránea	NTP 339.152 (BS 1377)
Consolidación Unidimensional	NTP 339.154 (ASTM D2435)
Colapsibilidad Potencial	NTP 339.163 (ASTM D5333)
Compresión Triaxial no Consolidado no Drenado	NTP 339.164 (ASTM D2850)
Compresión Triaxial Consolidado no Drenado	NTP 339.166 (ASTM D4767)

Fuente: Norma Técnica Peruana E-050 Suelos y cimentaciones

2.2.7. Manual de ensayo de materiales

Establece los parámetros necesarios para la ejecución de los ensayos de laboratorio rige a nivel nacional y es regulado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC).

2.2.8. Contenido de humedad

Según el Manual de Ensayo de Materiales (2016), el ensayo de contenido de humedad de un suelo se expresa como la relación entre el peso del agua de un suelo y el peso seco del mismo; este resultado es en porcentaje.

El ensayo consiste en pesar una muestra en estado húmedo luego es llevada al horno controlado a 110 ± 5 °C por un tiempo de 24 horas para luego volver a pesarlo de esta manera se obtiene el contenido de humedad de la muestra.

Para tener un mejor panorama de la ejecución del ensayo se presentará la tabla 2.4 de las cantidades mínimas de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total. En el caso de emplearse toda la muestra de suelo no es válido el uso de la tabla 4. (p. 49-50)

Tabla 4. Cantidad mínima de material húmedo

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
		a \pm 0,1%	a \pm 1%
2 mm o menos	2,00 mm (Nº 10)	20 g	20 g *
4,75 mm	4,760 mm (Nº 4)	100 g	20 g *
9,5 mm	9,525 mm (3/8")	500 g	50 g
19,0 mm	19,050 mm (3/4")	2,5 kg	250 g
37,5 mm	38,1 mm (1 1/2")	10 kg	1 kg
75,0 mm	76,200 mm (3")	50 kg	5 kg

Nota.- * Se usará no menos de 20 g para que sea representativa.

Fuente: Manual de ensayo de Materiales del MTC

2.2.9. Análisis granulométrico

Según el Manual de Ensayo de Materiales (2016), permite determinar el tamaño de partículas de del agregado fino, grueso y global, esto se realiza a través del tamizado.

En el caso de que el material sea más fino que la malla de 75 μ m (Nº 200) no puede ser obtenida por esta NTP para esto se utilizará la NTP 400.018 correspondiente al ensayo por hidrómetro. (p. 44-45)

Tabla 5. Tamaño máximo de tamices

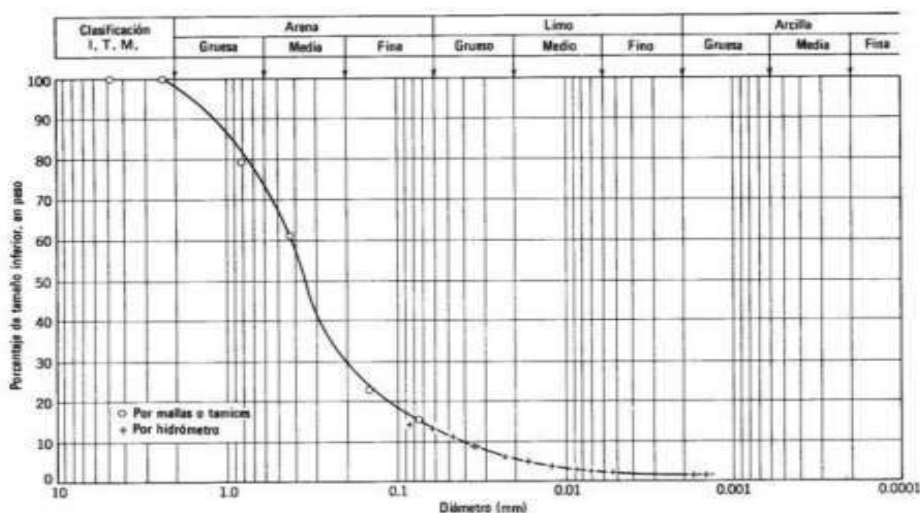
Tamaño máximo		Cantidad mínima retenida en el tamiz (N° 10) 2,00 mm
Nominales	Redondeados	
9,5 mm (3/8")	10 mm	500 g
19,0 mm (3/4")	20 mm	1000 g
25,4 mm (1")	25 mm	2000 g
38,0 mm (1.1/2")	40 mm	3000 g
50,8 mm (2")	50 mm	4000 g
76,2 mm (3")	80 mm	5000 g

Fuente: Manual de ensayo de Materiales del MTC

Según la Universidad Nacional de Ingeniería, el análisis granulométrico por tamizado es la proporción que pasa por cada tamiz, donde se calcula el los porcentajes retenidos y los que pasan, para cada uno de los tamices utilizados.

Los resultados se presentarán en la Tabla 6, donde indicará la resultante de una curva que se obtuvo por el análisis granulométrico.

Tabla 6. Curva granulometrica



Fuente: Laboratorio de Mecánica de suelos UNI, Análisis granulométrico por tamizado (2004)

2.2.10. Límite de Atterberg

Según el Manual de Ensayo de Materiales (2016), el Ensayo Límite de Atterberg permite obtener el rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. A través del uso de este ensayo se puede clasificar el suelo en la Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification System, USCS).

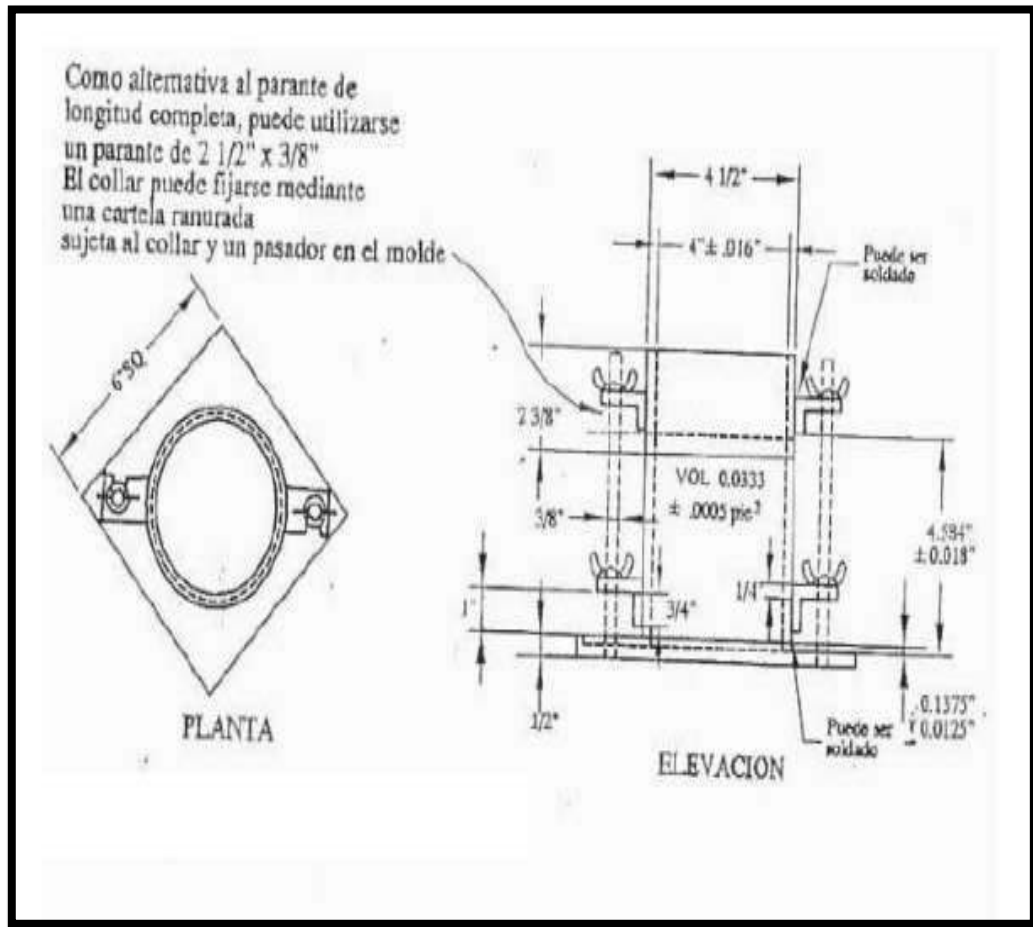
Para la realización de este ensayo se puede determinar el límite líquido, plástico y contracción. Adicionalmente permite conocer el índice de plasticidad de la muestra de suelo que se expresa en la resta del límite líquido con el límite plástico. (p. 67)

Para el desarrollo de la presente tesis se hallará el límite líquido y plástico de las muestras de arcillas.

2.2.11. Ensayo proctor estándar

Este ensayo se realiza con la utilización de un molde y martillo, el procedimiento consiste en compactar cada capa con 25 golpes, con la finalidad de evaluar la capacidad de soporte de los suelos en función a la humedad y la densidad seca.

Figura 14. Molde cilíndrico para el ensayo de compactación



Fuente: Laboratorio de Mecánica de suelos UNI, Ensayo Proctor (2006)

2.2.12. Ensayo de permeabilidad

El presente ensayo permite conocer la capacidad que posee una muestra de suelo para permitir el ingreso de agua a través de los vacíos existentes en él y de esta manera obtener su coeficiente de permeabilidad (k). De esta manera es posible establecer las características de la muestra teniendo en cuenta la filtración. Para la realización de este ensayo se hace uso de:

- Permeámetro de carga constante: Para suelos de alta permeabilidad, como arenas y gravas.

- Permeámetro de carga variable: para suelos de mediana a baja permeabilidad como limos y arcillas.

2.2.13. Filtraciones

Las filtraciones en el cuerpo de la presa de tierra dependen de los suelos que los componen, ya que estos van a variar en permeabilidad, se relacionan en función a la granulometría de las partículas gruesas y la cantidad de finos.

En el caso del núcleo de la presa de tierra es de un material impermeable que proporciona una resistencia en relación a las filtraciones.

2.3. Definición de términos básicos

A continuación, se presentarán los términos empleados para la realización de la tesis

- a) EMS (estudio de mecánica de suelos):** comprende la realización de ensayos de laboratorio para determinar el estudio de las propiedades, el comportamiento y la utilización del suelo como material estructural.
- b) Ensayos In situ:** realizadas en el mismo lugar donde se encuentra la muestra, cuyo objetivo es determinar sus características.
- c) Ensayo Próctor:** Es un ensayo que se realiza en el laboratorio su propósito es determinar la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca de un suelo.
- d) Tubificación:** es un proceso de remoción de partículas de suelo, también se le conoce como tubificación retrograda.

- e) **NTP (Norma Técnica Peruana):** conjunto de documentos que establecen procedimientos para ensayos y muestreos. La aplicación de la norma no es obligatoria.
- f) **Núcleo:** o corazón está conformado por material impermeable, puede ubicarse en la parte central de la presa y también puede estar inclinado dependiendo de su diseño.
- g) **Canal:** es una vía que puede ser natural o artificial, su función es permitir el paso del agua.
- h) **Estabilidad:** condición de una estructura que es capaz de soportar fuerzas y presiones instantáneas o de larga duración sin sufrir deformaciones significativas.
- i) **Presa de tierra:** constituida por materiales de la zona.
- j) **Piezómetro:** aparato que mide la carga en un punto por debajo de la superficie.
- k) **Nivel freático:** es el nivel superior del agua subterránea, en relación a la superficie del terreno o a una cota de referencia.
- l) **Permeabilidad:** característica que permite el paso del agua a través de los poros y discontinuidades de un suelo o macizo rocoso.
- m) **Suelo:** Agregados naturales de partículas minerales granulares y cohesivas separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación de agua.

2.4. Hipótesis

Las hipótesis que se plantearon a partir de los problemas generales y específicos se muestran a continuación

a) Hipótesis general

La hipótesis general de la tesis fue demostrar que:

El modelo físico de una presa permite evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento de núcleo de presas de tierra.

b) Hipótesis específicas

A continuación, se menciona las hipótesis específicas que corresponden a cada problema específico formulado.

- La relación humedad óptima de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N°16 y N°30 influye en el comportamiento del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico.
- La relación de los límites de Atteberg de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N°16 y N°30 influye en el comportamiento del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico.
- La relación de la permeabilidad de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N°16 y N°30 influye en el comportamiento del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico.
- La relación de las filtraciones de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N°16 y N°30 influye en el comportamiento

del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación metodológica es de tipo aplicada y cuantitativa.

- a) **Aplicada**, debido a que el objetivo de la investigación propone un estudio más detallado acerca de núcleo de presas de tierra complementando de esta manera investigaciones anteriores relacionadas a este tema.

- b) **Cuantitativa**, dado que los resultados obtenidos en los laboratorios de hidráulica y suelos son valores numéricos medibles, que fueron evaluados para demostrar que el uso de un modelo físico de una presa permite evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento de núcleo de presas de tierra.

3.2. Nivel de Investigación

La investigación es de nivel descriptivo, porque detalló paso a paso los procedimientos de los ensayos realizados en laboratorios, empleando un modelo físico.

3.3. Diseño de investigación

La presente investigación es experimental, prospectiva y longitudinal.

a) Experimental

La presente investigación es experimental por que se realizaron ensayos de laboratorio; el modelo físico permitió evaluar el comportamiento de las diferentes granulometrías en el núcleo de la presa.

b) Prospectivo

Debido a que se evaluó los resultados durante la ejecución de la investigación mediante datos numéricos.

c) Longitudinal

Dado que se realizó más de una medición en diferentes tiempos con el propósito de analizar la evolución de la incidencia de las variables; en este caso las filtraciones que actuaron en el núcleo de la presa en determinados intervalos de tiempo.

3.4. Variables

En la presente tesis se identificó las variables dependiente e independiente, ambas son de tipo cuantitativo, ya que pueden ser medidas de manera numérica y es de tipo ordinal ya que para la aplicación de cada una se requiere de un orden o de pasos a seguir.

El título de la tesis es: “**Modelo físico de una presa para evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento del núcleo de presas de tierra**”.

- **Variable dependiente:** comportamiento del núcleo
- **Variable independiente:** granulometría de suelos arcillosos
- **Objeto de estudio:** núcleo de la presa de tierra

3.4.1. Operacionalización de variables

Tabla 7. Operacionalización de variables

HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MEDICIÓN
HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE		
El modelo físico de una presa permite evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento de núcleo de presas de tierra.	Granulometría de suelos arcillosos.	Límites de Atteberg	%
	VARIABLE DEPENDIENTE	Rapidez de flujo	cm/seg
		Densidad seca	%
	Comportamiento del núcleo.	Caudales	l/seg
HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°1	VARIABLE INDEPENDIENTE	Densidad seca	%
La relación humedad Óptima de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N°16 y N°30 influye en el comportamiento del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico.	Ensayo de proctor estándar		
	VARIABLE DEPENDIENTE		
	Comportamiento del núcleo.		
HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°2	VARIABLE INDEPENDIENTE	Límites de Atteberg	%
La relación de los límites de Atteberg de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N°16 y N°30 influye en el comportamiento del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico.	Granulometría de suelos arcillosos.		
	VARIABLE DEPENDIENTE		
	Comportamiento del núcleo.		
HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°3	VARIABLE INDEPENDIENTE	Rapidez de flujo	cm/seg
La relación de la permeabilidad de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N°16 y N°30 influye en el comportamiento del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico.	Permeabilidad		
	VARIABLE DEPENDIENTE		
	Comportamiento del núcleo.		
HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°4	VARIABLE INDEPENDIENTE	Caudales	l/seg
La relación de las filtraciones de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N°16 y N°30 influye en el comportamiento del núcleo de presas de tierra para la implementación en el modelo físico.	Filtraciones		
	VARIABLE DEPENDIENTE		
	Comportamiento del núcleo.		

Elaborado por las autoras

3.5. Población y Muestra

La población y la muestra de la investigación fueron las mismas, compuesta por las mallas N°16 y N° 30, como se obtuvo 2 muestras de suelo provenientes de Cerro de Pasco y Huánuco, se seleccionaron las 2 mallas antes mencionadas por muestra, haciendo un total de 4 muestras de suelos.

Figura 15. Tamices que se usaron para realizar el ensayo de granulometría

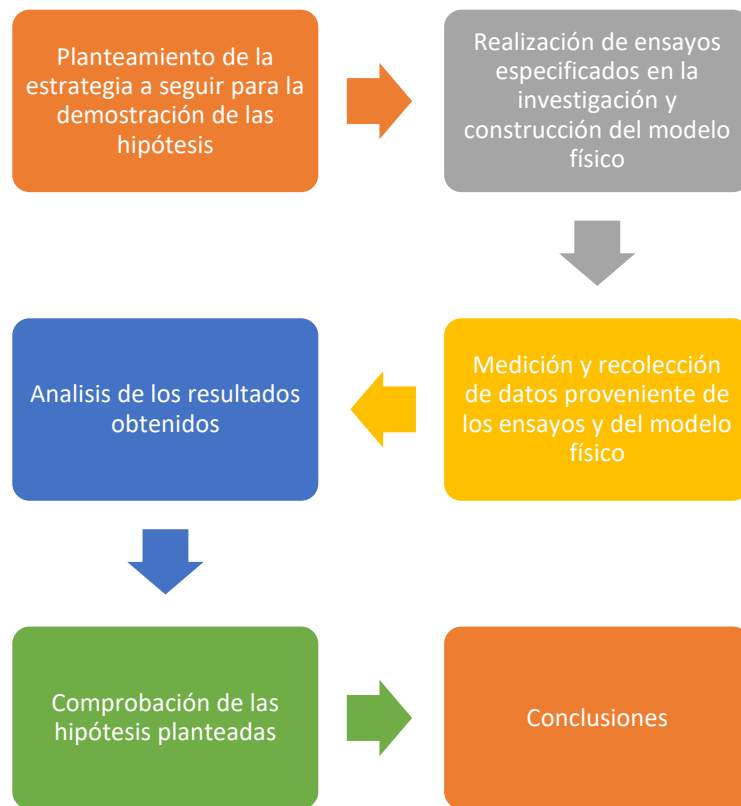


Elaborado por las autoras

3.6. Técnicas de investigación

En la presente tesis para demostrar la hipótesis se realizó la siguiente secuencia de actividades, ver figura 16.

Figura 16. Secuencia de las actividades



Fuente: Elaborado por las autoras

1. Para la estrategia planteada en el proyecto, se definió los ensayos de laboratorio y se planeó la construcción del modelo físico de una presa de tierra para evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento de núcleo de presas de tierra.
2. Posteriormente se realizó los ensayos especificados en la investigación y se realizó la construcción del modelo con acrílico transparente.
3. Mediante hojas de cálculo se fueron recolectando los datos de los ensayos del laboratorio así como también los resultados obtenidos del modelo físico.

4. De acuerdo a los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio y del modelo físico se procedió a analizar e interpretar los resultados, se analizó mediante gráficas la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento del núcleo de la presa de tierra.
5. Se realizó la comprobación de las hipótesis planteadas en la presente investigación en relación a los resultados obtenidos.
6. Finalmente se determinó las conclusiones de acuerdo a la interpretación de los resultados obtenidos.

3.7. Instrumento de recolección de datos

Para el desarrollo de la presente tesis, los materiales utilizados son suelo natural (arcilla) y los diversos elementos que se emplearon para la construcción del modelo físico. En cuanto a los equipos de laboratorio serán los establecidos en las normas de los ensayos de laboratorio.

3.8. Técnicas e instrumento de recolección de datos

Para la toma y recolección de datos se empleó la observación experimental, ya que los datos que se obtuvieron fueron de la ejecución de ensayo de laboratorio de suelos y también se realizó la construcción del modelo físico para observar y medir el comportamiento del núcleo de presa de tierra frente a las filtraciones.

El instrumento de recolección de datos consiste en formatos elaborados para la medición de los resultados obtenidos en los laboratorios de suelos e hidráulica.

3.9. Procesamiento y análisis estadísticos de los datos

Para el procesamiento de datos se utilizó las hojas de cálculo del programa Microsoft Excel, cuyos formatos contenían la información necesaria para cada uno de los ensayos realizados en la presente investigación.

Los análisis obtenidos de los ensayos de los laboratorios se presentaron a través de gráficos de barra o histogramas, gráficos de líneas y gráficos de dispersión.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Caso de investigación

El presente trabajo de investigación consistió en la construcción de un modelo físico de una presa de tierra para evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento de núcleo de la presa, se seleccionaron dos mallas y se trabajaron con dos muestras de arcilla distintas. La primera muestra se obtuvo de Cerro de Pasco y la segunda de Huánuco.

Para el desarrollo de la tesis se necesitó realizar previamente ensayos a los materiales que conformaron el cuerpo de la presa de tierra, estos fueron grava, arena y arcilla. Se tiene que tener en cuenta que la arcilla es el material que constituye el núcleo de la presa que es el objeto de estudio de la presente tesis.

En el caso de la muestra de Cerro de Pasco fue obtenido del distrito de Quiulacocha, se extrajo el material de manera manual y se trasladó hasta el laboratorio de suelos para realizar los diferentes ensayos que se mencionaron anteriormente.

Figura 17. Ubicación de la zona donde se obtuvo la primera muestra de suelo arcilloso



Fuente: Google Earth, 2018

La muestra obtenida de Cerro de Pasco se caracterizó por ser de color rojizo en cambio la muestra de Huánuco fue de color naranja.

Figura 19. Muestras de arcilla, la imagen de la izquierda pertenece a Cerro de Pasco y la derecha corresponde a Huánuco.



Elaborado por las autoras

De forma paralela se inició con la construcción del modelo físico, posteriormente cuando se terminó con los ensayos de laboratorio y la construcción del modelo se inició con el funcionamiento de la presa de tierra y se realizaron la toma de datos respectivos.

Figura 20. Modelo físico en funcionamiento



Elaborado por las autoras

4.2. Ensayos de laboratorio

Como se señaló se realizaron los ensayos a los materiales que conforman parte del cuerpo de la presa de tierra. A continuación se presenta la Tabla 8, que contiene la lista de ensayos que se efectuaron en el laboratorio de mecánica de suelos de la USMP.

Tabla 8. Ensayos de laboratorio

ITEM	ENSAYOS	Grava	Arena	Arcilla
1	Contenido de Humedad	X	X	X
2	Análisis Granulométrico	X	X	X
3	Límite Líquido y Límite Plástico			X
4	Proctor estándar		X	X
5	Permeabilidad de carga variable			X

Fuente: Elaborado por las autoras

Se puede apreciar que a la muestra de arcilla se le realizaron los cinco ensayos que se consideraron debido a que constituye el núcleo de la presa de tierra que es el objeto de estudio motivo por el cual se realizó un análisis más detallado.

4.2.1. Contenido de humedad ASTM D2216

El contenido de humedad tiene como objetivo determinar la humedad de las muestras de suelos como se explicó en el capítulo II, correspondiente al marco teórico.

De acuerdo a la norma ASTM D2216, se realizaron los procedimientos necesarios para la realización del ensayo, colocando la muestra en el horno para posteriormente pesarlo y realizar los cálculos correspondientes.

Figura 21. Muestras colocadas en el horno



Elaborado por las autoras

Este ensayo se aplicó a las muestras de grava, arena y arcilla.

a) Muestra de Grava

En el caso de la grava el contenido de humedad de la muestra fue de 47.5%.

Tabla 9. Cálculos para obtener el contenido de humedad de la grava

PESO FUENTE + SUELO HUMEDO (gr)	4,541.50
PESO FUENTE +SUELO SECO (gr)	3,429.53
PESO DEL AGUA CONTENIDA (gr)	1,111.97
PESO DE FUENTE (gr)	1,088.50
PESO SUELO SECO (gr)	2,341.03
CONTENIDO DE HUMEDAD	47.5%

Elaborado por las autoras

b) Muestra de Arena

Para la arena el contenido de humedad de la muestra fue de 22%

Tabla 10. Cálculos para obtener el contenido de humedad de la arena

PESO FUENTE + SUELO HUMEDO (gr)	1052.5
PESO FUENTE +SUELO SECO (gr)	894.5
PESO DEL AGUA CONTENIDA (gr)	158
PESO DE FUENTE (gr)	176.5
PESO SUELO SECO (gr)	718
CONTENIDO DE HUMEDAD	22.0%

Elaborado por las autoras

c) Muestras de Arcillas

Se presentara 2 ensayos de contenido de humedad que corresponde a la arcilla de Cerro de Pasco y la otra pertenece a Huánuco.

Para la arcilla de Pasco se obtuvo el siguiente resultado

Tabla 11. Cálculos para obtener el contenido de humedad de la muestra de Cerro de Pasco

PESO FUENTE+ SUELO HUMEDO (gr)	9,062.00
PESO FUENTE+SUELO SECO (gr)	8,492.50
PESO DEL AGUA CONTENIDA (gr)	569.50
PESO DE FUENTE (gr)	1,091.00
PESO SUELO SECO (gr)	7,401.50
CONTENIDO DE HUMEDAD	8%

Elaborado por las autoras

Para la arcilla de Huánuco se obtuvo el siguiente resultado

Tabla 12. Cálculos para obtener el contenido de humedad de la muestra de Huánuco

PESO FUENTE+ SUELO HUMEDO (gr)	8,476.00
PESO FUENTE+SUELO SECO (gr)	8,080.50
PESO DEL AGUA CONTENIDA (gr)	395.50
PESO DE FUENTE (gr)	1,221.50
PESO SUELO SECO (gr)	6,859.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	5.77%

Elaborado por las autoras

De las dos muestras de arcilla se puede deducir que arcilla de Pasco presenta más humedad en relación con la otra muestra proveniente de Huánuco.

4.2.2. Análisis granulométrico ASTM D422

El análisis granulométrico permite determinar el tamaño de partículas de las muestras como se explicó en el capítulo II, correspondiente al marco teórico.

Figura 22. Realización del ensayo de granulometría



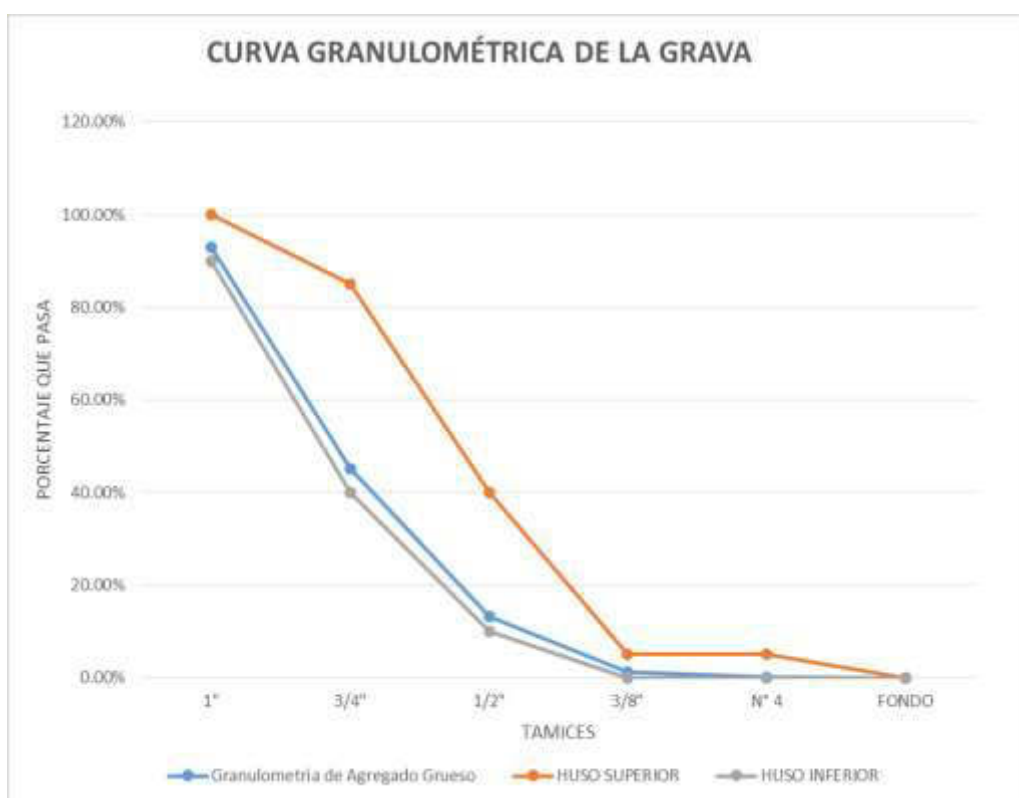
Elaborado por las autoras

Este ensayo se aplicó a las muestras de grava, arena y arcilla.

a) Muestra de Grava

A continuación se observa la figura 23, correspondiente al ensayo de la grava.

Figura 23. Análisis granulométrico de la grava

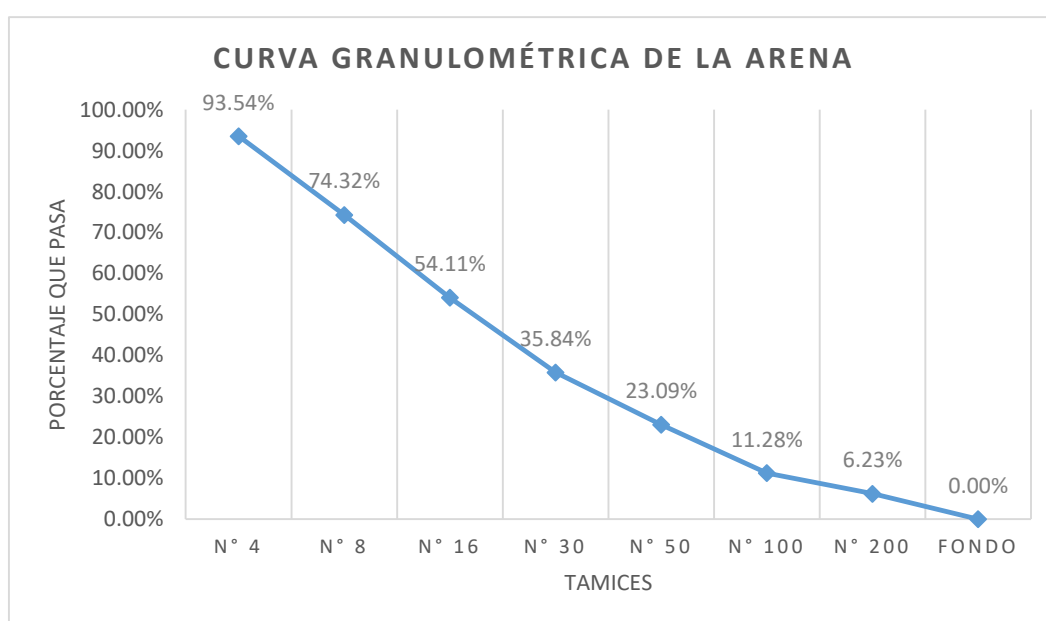


Elaborado por las autoras

b) Muestra de Arena

Del ensayo de granulometría para la arena se obtuvo lo siguiente, ver figura 24.

Figura 24. Análisis granulométrico de la arena



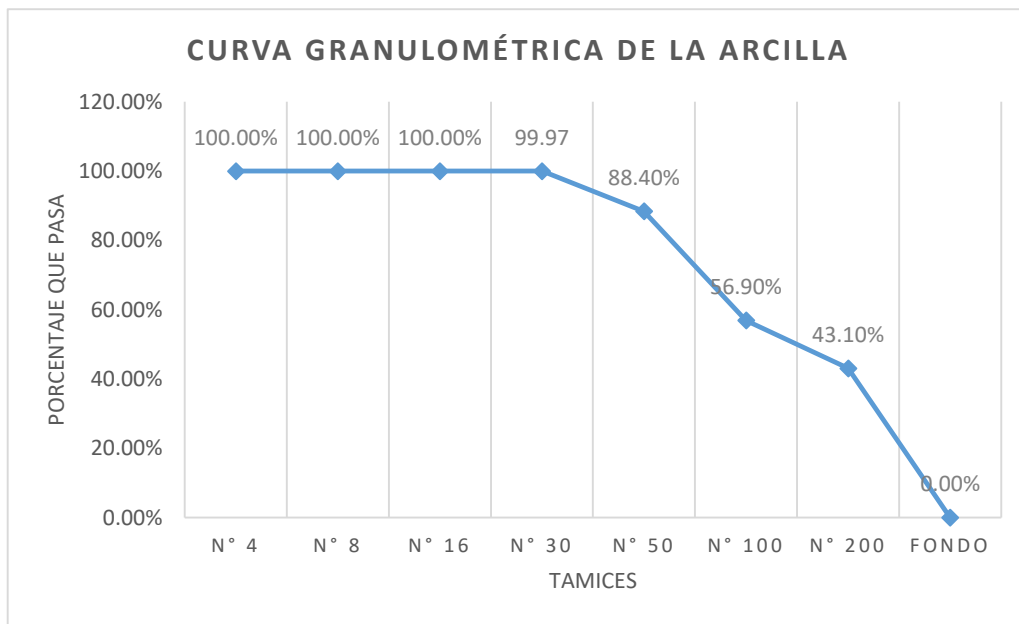
Elaborado por las autoras

c) Muestras de Arcillas

Se presentara 2 ensayos de granulometría que corresponde a la arcilla de Cerro de Pasco y la otra pertenece a Huánuco.

Para la arcilla de Pasco se obtuvo el siguiente resultado

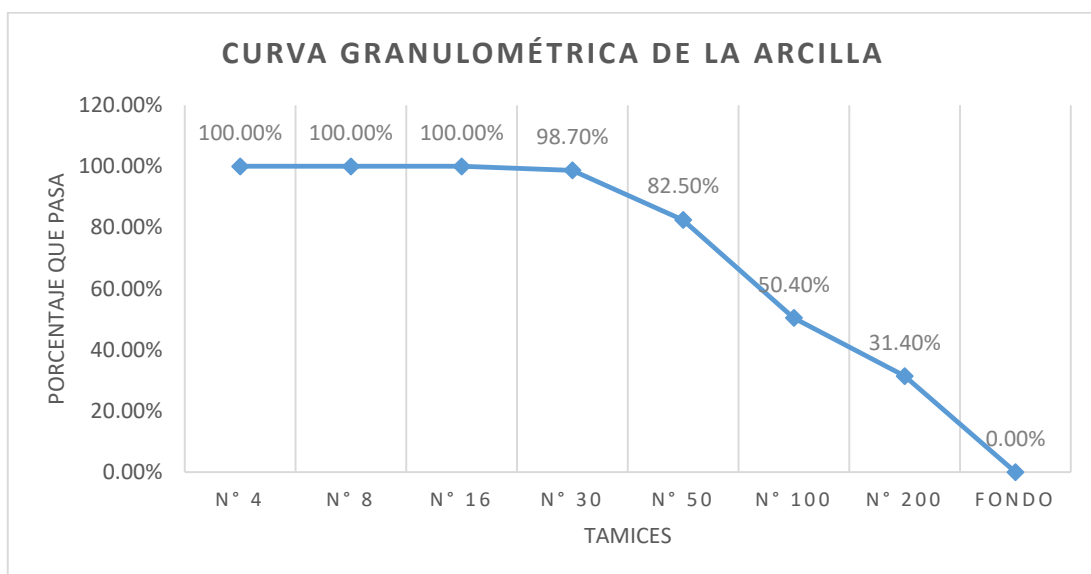
Figura 25. Análisis granulometría por tamizado de la arcilla de Cerro de Pasco



Elaborado por las autoras

Para la arcilla de Huánuco se obtuvo el siguiente resultado

Figura 26. Análisis granulometría por tamizado de la arcilla de Huánuco



Elaborado por las autoras

De las dos muestras de arcilla se seleccionaron las mallas N°16 y N°30, están serán colocadas en el modelo para demostrar la hipótesis que la granulometría influye significativamente en el comportamiento de núcleo de presas de tierra.

4.2.3. Límites de Consistencia ASTM D4318

Como se mencionó en el Capítulo II del marco teórico, el ensayo permite determinar los estados del suelo como lo son el Límite líquido (LL) y Límite plástico (LP). También se puede determinar el índice de plasticidad (IP) que se obtiene de la resta de los dos estados de suelo anteriores.

En relación al procedimiento desarrollado para la ejecución del ensayo de límite líquido (LL), según la norma vigente del ASTM D4318 indica que se debe emplear la cuchara de casa grande para poder efectuar el ensayo, ver figura 27.

Figura 27. Ensayo de límite líquido de la arcilla de Cerro de Pasco



Elaborado por las autoras

Figura 28. Ensayo de límite líquido de la arcilla de Huánuco



Elaborado por las autoras

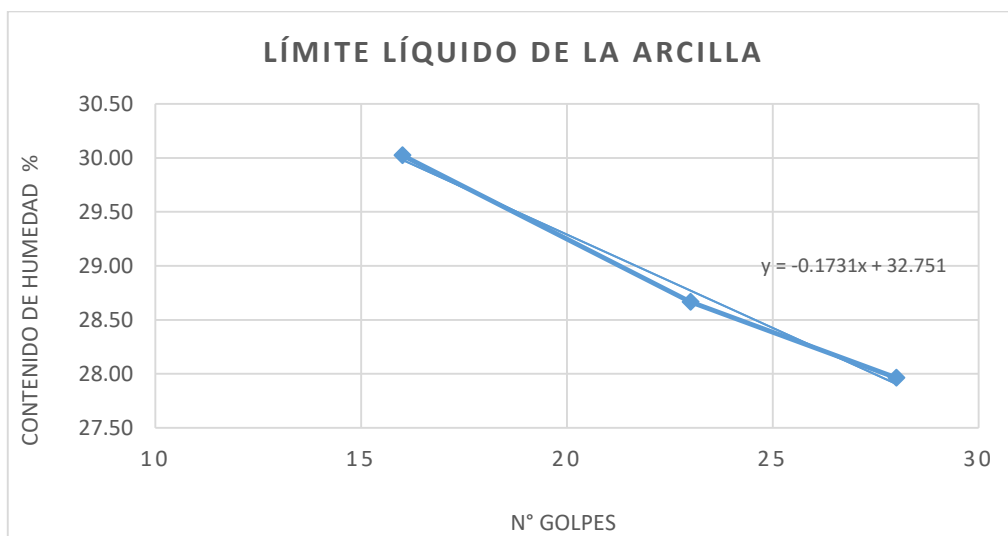
En el caso del límite plástico, se determinó realizando el promedio de la humedad obtenida por cada prueba.

Después de haber realizado los procedimientos mencionados se obtuvo los siguientes resultados para cada muestra.

a) Muestra de arcilla de Pasco

A continuación se observa la figura 29, correspondiente al ensayo de límite líquido de la arcilla.

Figura 29. Límite líquido de la arcilla de Cerro de Pasco



Elaborado por las autoras

El límite líquido fue de 28.42% y para el límite plástico se obtuvo el valor de 20.04% que es el resultado del promedio de las dos muestras que se realizaron.

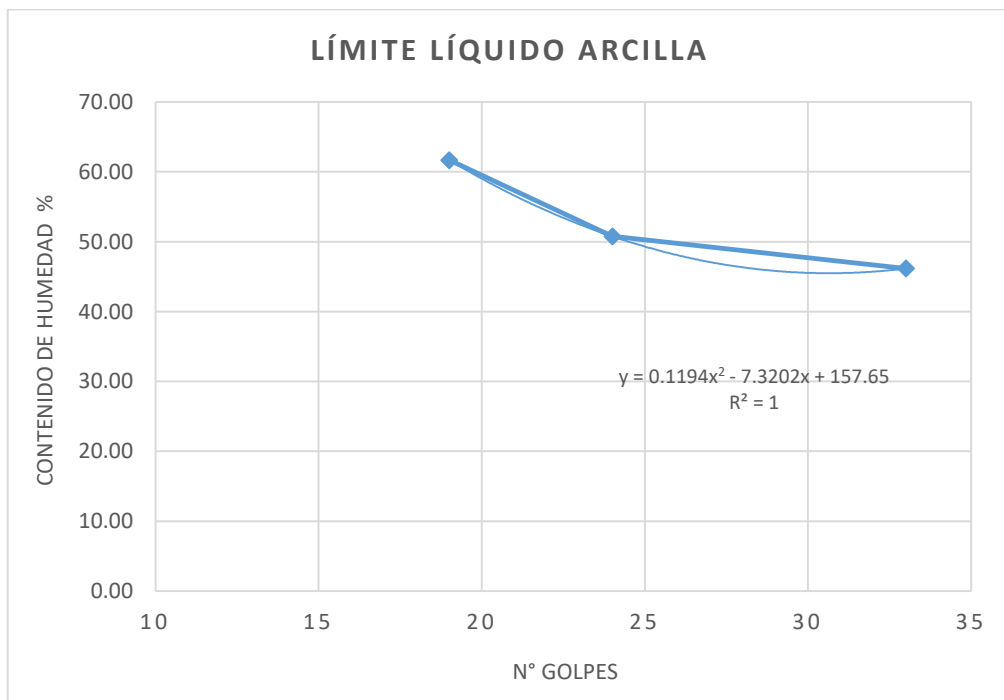
Su índice de plasticidad se obtiene de la resta del límite líquido (LL) con el límite plástico (LP) el resultado obtenido fue de 8.38%, ver anexo 2.

b) Muestras de arcilla de Huánuco

Como se puede apreciar en la figura 30, correspondiente al ensayo de límite líquido de la arcilla, el resultado que se obtuvo fue 49.27% y para el límite plástico se obtuvo el valor de 43.28%.

Su índice de plasticidad se obtiene de la resta del límite líquido (LL) con el límite plástico (LP) el resultado obtenido fue de 5.99%, ver anexo 2.

Figura 30. Límite líquido de la arcilla de Huánuco



Elaborado por las autoras

4.2.4. Clasificación de los suelos mediante el SUCS

De acuerdo a los ensayos realizados como el análisis granulométrico y los límites de consistencia se puede realizar la clasificación de las muestras que fueron obtenidas en Cerro de Pasco y Huánuco.

En el caso de la muestra de Cerro de Pasco se obtuvo que es una arcilla de baja plasticidad (CL).

Para la muestra proveniente de Huánuco, el resultado fue una arcilla limosa de baja plasticidad (ML-CL).

4.2.5. Ensayo proctor estándar ASTM D698

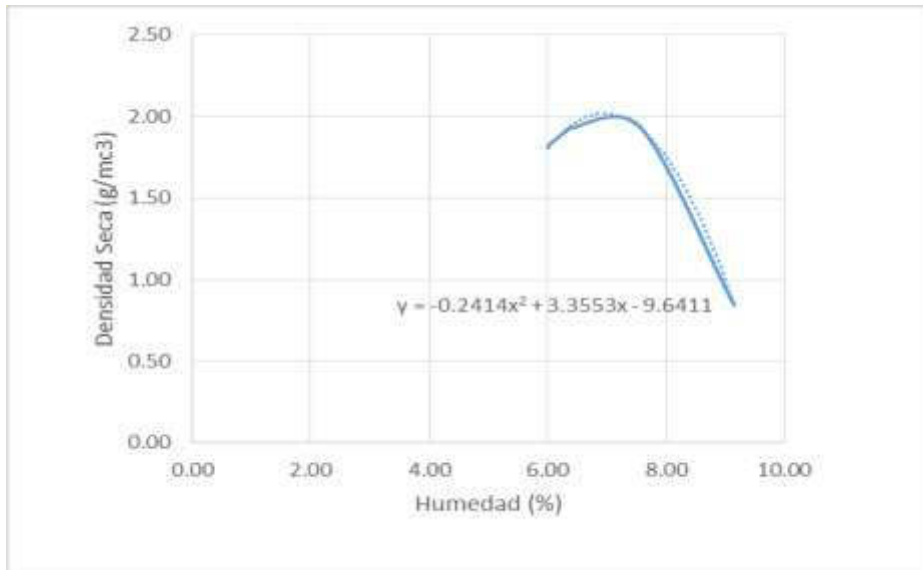
El ensayo proctor estándar permite determinar la densidad seca y la humedad óptima de un suelo como se mencionó en el capítulo II referente al marco teórico.

Se realizó este ensayo a las muestras de arcilla y a la arena.

a) Muestras de arena

En el caso de la muestra de arena se siguió con los procedimientos para la ejecución del ensayo y se obtuvo el siguiente resultado.

Figura 31. Proctor estándar de la arena



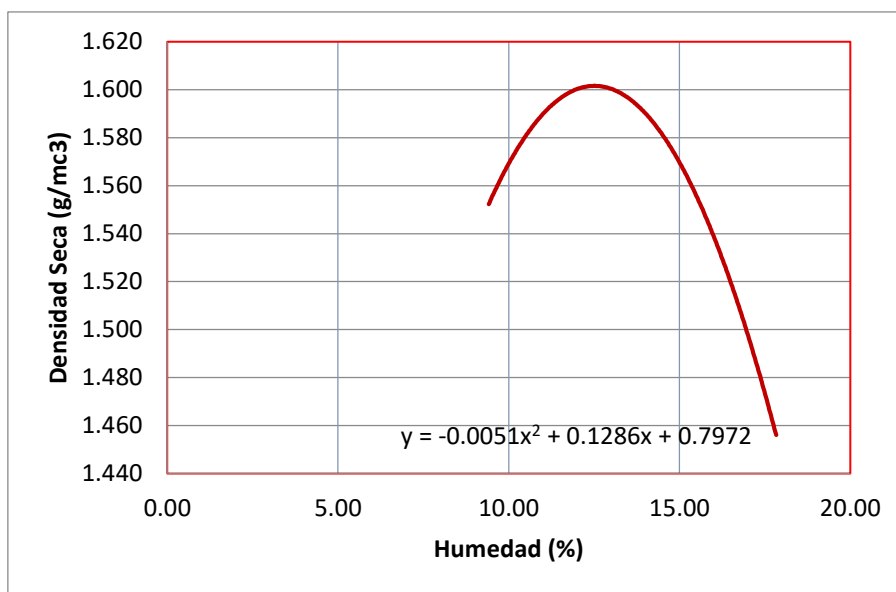
Elaborado por las autoras

b) Muestras de arcilla

Para la muestra de arcilla proveniente de Cerro de Pasco, se analizó dos muestras la malla N°16 y la N°30.

- Para la malla N°16 se obtuvo una humedad óptima de 12.53 % y su densidad seca máxima fue 1.60 g/cm³

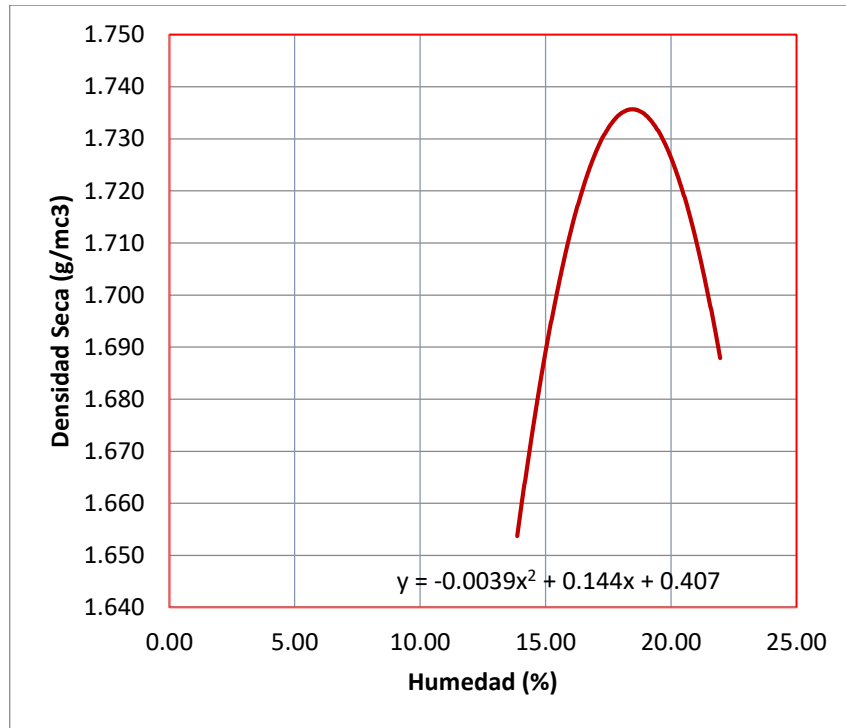
Figura 32. Proctor estándar de la arcilla de Cerro de Pasco malla N°16



Elaborado por las autoras

- En el caso de la malla N°30 se obtuvo una humedad óptima de 18.46% y su densidad seca máxima fue 1.735.

Figura 33. Proctor estándar de la arcilla de Cerro de Pasco malla N°30

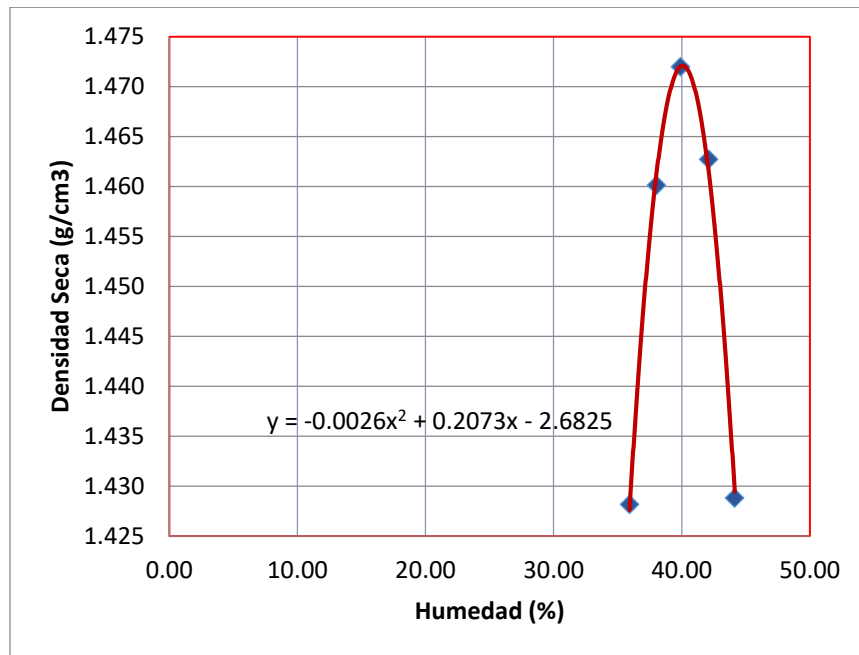


Elaborado por las autoras

En el caso de la muestra de arcilla de Huánuco, también se analizó dos muestras la malla N°16 y la N°30.

- Para la malla N°16 se obtuvo una humedad óptima de 39.87% y su densidad seca máxima fue 1.475 g/cm³.

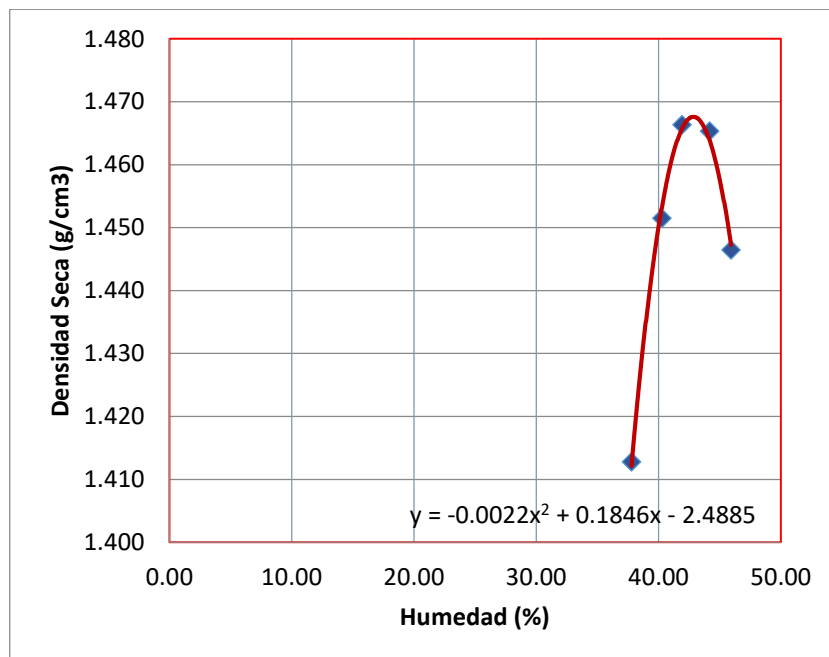
Figura 34. Proctor estándar de la arcilla de Huánuco malla N°16



Elaborado por las autoras

- En el caso de la malla N°30 se obtuvo una humedad óptima de 41.95% y su densidad seca máxima fue 1.47 g/cm³

Figura 35. Proctor estándar de la arcilla de Huánuco malla N°30



Elaborado por las autoras

4.2.6. Ensayo de permeabilidad ASTM D 2434

En el Capítulo II, se explicó que el ensayo de permeabilidad permite determinar el coeficiente de permeabilidad (k) de la muestra. Este ensayo se ha aplicado a la arcilla por lo cual se realizó con el permeámetro de carga variable.

Figura 36. Permeámetro de carga variable



Elaborado por las autoras

Para poder hallar la permeabilidad (K) se empleó la siguiente fórmula:

$$k = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \times \ln\left(\frac{h_i}{h_f}\right)$$

Donde:

a: Área del tubo capilar (cm^2)

L: Altura de la muestra (cm)

A: Área de la muestra (cm^2)

t: Tiempo (s)

h_i : Altura inicial (cm)

h_f : Altura final (cm)

A continuación se presentara los resultados obtenidos

a) Muestra de Cerro de Pasco

Para la malla N°16 se obtuvo un coeficiente de permeabilidad de 3.04398E-05 cm/seg. Ver anexo 2.

Tabla N° 13. Ensayo de permeabilidad de la malla N° 16

PRUEBA	TIEMPO (t)	hi	hf	Δh	ÁREA MENOR (a)	ALTURA (L)	ÁREA MAYOR (A)	k (cm/s)	Promedio k (cm/s)
1	624	123.5	103.5	20	0.353	14.35	46.566	3.07608E-05	3.04398E-05
2	647	121	101	20	0.353	14.35	46.566	3.0339E-05	
3	638	123	103	20	0.353	14.35	46.566	3.02196E-05	

Elaborado por las autoras

De la tabla se tiene que E=10

- En el caso de la malla N°30 se obtuvo un coeficiente de permeabilidad de 1.22E-06 cm/seg. Ver anexo 2.

Tabla N° 14. Ensayo de Permeabilidad de la malla N° 30

PRUEBA	TIEMPO (t)	hi	hf	Δh	ÁREA MENOR (a)	ALTURA (L)	ÁREA MAYOR (A)	k (cm/s)	Promedio k (cm/s)
1	15534	123.5	103.5	20	0.353	14.35	47.173	1.2198E-06	1.2198E-06
2	16143	121	101	20	0.353	14.35	46.566	1.2160E-06	
3	15756	123	103	20	0.353	14.35	46.566	1.2237E-06	

Elaborado por las autoras

De la tabla se tiene que E=10

b) Muestra de Huánuco

Para la malla N°16 se obtuvo un coeficiente de permeabilidad de 2.82355E-05 cm/seg. Ver anexo 2

Tabla N° 15. Ensayo de Permeabilidad de la malla N° 16

PRUEBA	TIEMPO (t)	hi	hf	Δh	ÁREA MENOR (a)	ALTURA (L)	ÁREA MAYOR (A)	k (cm/s)	Promedio k (cm/s)
1	687	123.5	103.5	20	0.353	14.35	46.566	2.79399E-05	2.82355E-05
2	681	121	101	20	0.353	14.35	46.566	2.88243E-05	
3	690	123	103	20	0.353	14.35	46.566	2.79422E-05	

Elaborado por las autoras

De la tabla se tiene que $E=10$

Figura 37. Ensayo de permeabilidad de la arcilla de Huánuco malla N°16



Elaborado por las autoras

- En el caso de la malla N°30 se obtuvo un coeficiente de permeabilidad de 1.01654E-06 cm/seg. Ver anexo 2.

Tabla N° 16. Ensayo de permeabilidad de la malla N° 30

PRUEBA	TIEMPO (t)	hi	hf	Δh	ÁREA MENOR (a)	ALTURA (L)	ÁREA MAYOR (A)	k (cm/s)	Promedio k (cm/s)
1	19128	120	100	20	0.353	14.35	46.566	1.03559E-06	1.01654E-06
2	19202	123	103	20	0.353	14.35	46.566	1.00407E-06	
3	19175	122.5	102.5	20	0.353	14.35	46.566	1.0100E-06	

Elaborado por las autoras

De la tabla se tiene que $E=10$.

4.3. Construcción del modelo físico

Para la construcción del modelo físico se tomó como referencia la presa de tierra de Yuracmayo, ubicada en el distrito de San Mateo provincia de Huarochirí departamento de Lima; esto sirvió para determinar las dimensiones del modelo físico y poder realizar el plano en AutoCAD, ver anexo 4.

Figura 38. Presa Yuracmayo



Fuente: <http://www.energoprojekt-ng.rs/es/referencias/presas-y-centrales-hidrelectricas/presa-yuracmayo-peru>

En cuanto a las medidas que se consideraron para realizar el modelo físico, se presentan a continuación las dimensiones de la presa de Yuracmayo, las mismas que fueron necesarias para diseñar el cuerpo de la presa del modelo físico. A continuación se brindan datos del cuerpo de la presa de Yuracmayo.

Longitud de la corona: 590 metros

Ancho de la corona: 8 metros

Altura de presa: 56 metros

A continuación, en la Figura 39, se presentan las dimensiones de la presa de Yuracmayo.

Figura 39. Dimensiones de la presa Yuracmayo



Elaborado por las autoras

Las escalas que se emplearon para el cuerpo de la presa, se muestra en la Tabla N°17. Como se aprecia, se realizó el uso de tres escalas distintas para el dimensionamiento debido a que son más manejables las medidas para la construcción del modelo. También se uniformizó la sección del cuerpo de la presa, puesto que la coronación de la presa de Yuracmayo era ligeramente inclinada.

Tabla N° 17. Escalas usadas para el modelo físico

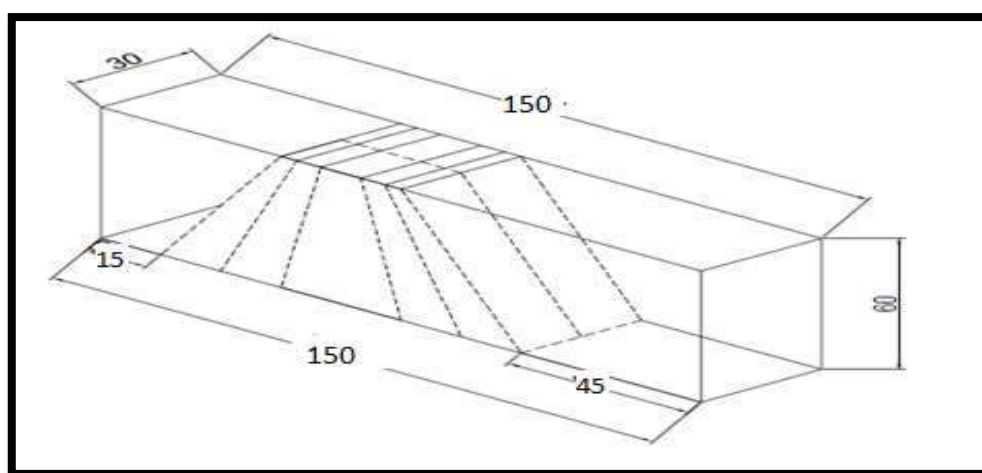
Cuerpo de la presa	Dimensiones de la presa	Unidades	Escala	Dimensiones del modelo físico	Unidades
Longitud de la corona	590	m	1/2000	150	cm
Ancho de la corona	8	m	1/25	30	cm
Altura de la presa	56	m	1/1000	60	cm

Elaborado por las autoras

Se debe de tener en cuenta que el modelo físico que se elaboró es una representación reducida de la presa de Yuracmayo, solo se consideraron las dimensiones del cuerpo de la presa para la realización del modelo físico. La elaboración de la caja de acrílico que contiene el cuerpo de la presa, las divisiones interiores de las mismas y la distribución de medidas fueron ideadas por las autoras, así como también las dimensiones de las divisiones interiores en el cuerpo de la presa con el objetivo de tener facilidad para el transporte de materiales, realizar la compactación indicada en los ensayos de laboratorio y por el peso de la estructura.

Después de haber dimensionado las medidas del modelo físico, quedó de la siguiente manera, ver figura 40.

Figura 40. Dimensiones del modelo físico



Elaborado por las autoras

Como se puede apreciar en la imagen se observa las medidas correspondientes al cuerpo de la presa y a la caja que contiene el cuerpo de la presa, que posteriormente serán usadas para la construcción del modelo físico con acrílico.

Luego de haber realizado el plano se procedió con la construcción del modelo físico, para esto se requirió de materiales, la tabla N°18 que se muestra a continuación, especifica los materiales requeridos así como también su cantidad y su unidad de medida correspondiente.

Tabla N°18. Lista de materiales para la construcción del modelo físico

ITEM	MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
1	Acrílico espesor 6mm	Plancha	1
2	Acrílico espesor 4mm	Plancha	3
3	Cloroformo	Botella	1
4	Codos de 45°	Unidad	2
5	Codos de 90°	Unidad	4
6	Tubo de PVC pesado de 1"	Unidad	1
7	Válvula tipo bola PVC 1"	Unidad	3
8	Llave de pase 1/4"	Unidad	10
9	Pegamento para tubería	Unidad	2
10	Hoja de sierra	Unidad	2
11	Ángulos	Unidad	3
12	Cuchilla	Unidad	1
13	Taladro	Unidad	1
14	Silicona	Unidad	2
15	Manguera de plástico transparente	Metros	7
16	Sensores de flujo	Unidad	3
17	Placa arduino mega	Unidad	1
18	Jumpers	Unidad	20
19	Interface I2C	Unidad	1
20	Lectora micro SD	Unidad	1
21	Tarjeta micro SD	Unidad	1
22	Tornillos	Unidad	10

Elaborado por las autoras

A continuación se explicará el procedimiento que se siguió para la construcción del modelo físico.

a) Construcción de la caja de acrílico

Antes de la construcción del cuerpo de la presa, se realizó primero la construcción de un recipiente en forma de paralelepípedo de tipo ortoedro de dimensiones largo de 150 cm, ancho de 30 cm y altura de 60 cm.

El material que constituyó el paralelepípedo fue de acrílico de espesor de 6mm, que fue adquiridos en planchas y que posteriormente fueron cortados según las medidas del plano que se elaboró, ver anexo 4.

Figura 41. Plancha de acrílico



Elaborado por las autoras

Para poder pegar el acrílico se empleó el cloroformo como pegamento, la aplicación del cloroformo sobre el acrílico se realizó con el uso jeringas; para poder realizar los cortes se utilizó una cuchilla.

Figura 42. Cloroformo



Elaborado por las autoras

Figura 43. Aplicación de pegamento en el acrílico



Elaborado por las autoras

b) Construcción de las cajitas de acrílico para el cuerpo de la presa de tierra

Se realizaron 10 compartimientos, ya que el objetivo fue analizar dos muestras al mismo tiempo bajo las mismas condiciones. A los compartimientos se les hicieron agujeros a los costados para que pueda permitir el paso del agua, estos agujeros se realizaron con ayuda del taladro. Cada compartimiento tuvo una muestra de suelo que fue arcilla, arena y la grava.

Figura 44. Compartimientos de acrílico que conforman el cuerpo de la presa



Elaborado por las autoras

d) Instalación de válvulas y tubos

Se inició con la instalación de válvulas y tubos que son los elementos que van a ayudar a controlar el paso del agua.

Se inició con la instalación del tubo de PVC pesado de 1" que fue el tubo de operación de la presa ya que conectaba la zona de aguas arriba con la zona de aguas abajo, para esto se realizaron agujeros con el taladro en la caja de acrílico para que el tubo pueda entrar también se colocó codos de PVC de 1" de 45° y 90° para las uniones. Para asegurar las uniones de las tuberías se usó pegamento para tubos y silicona para evitar que el agua pueda salir de la caja de acrílico.

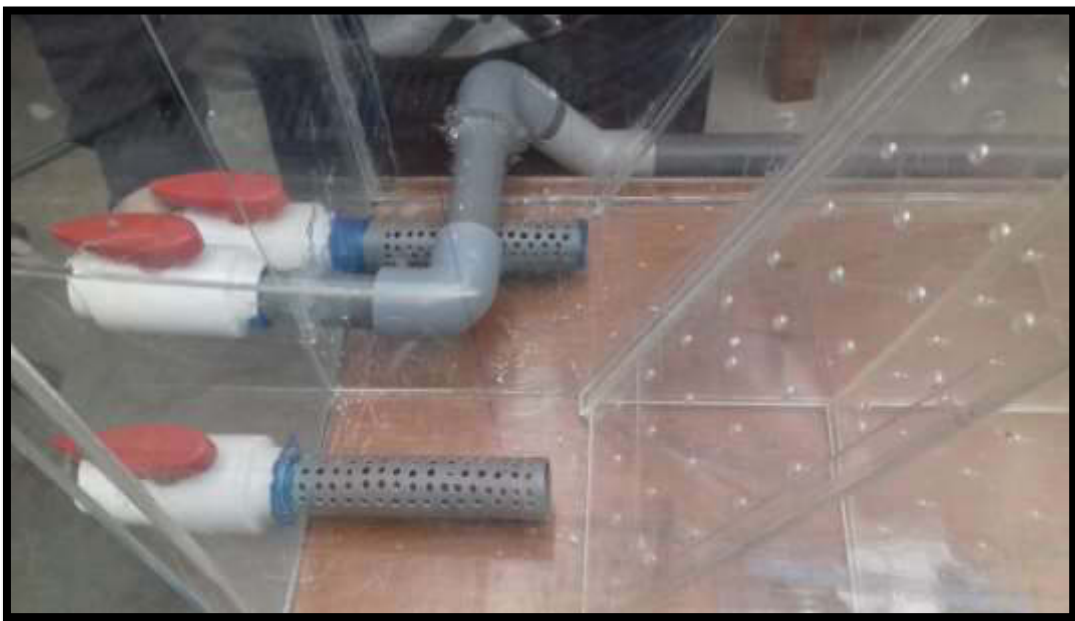
Figura 45. Proceso de instalación del tubo de PVC y codos



Elaborado por las autoras

Después se instaló las tres válvula tipo bola PVC de 1", como se observa en la figura 46, la válvula del medio está conectada al tubo de operación de 1" y las otras dos válvulas tipo bola PVC de 1" estuvieron conectados a los tubos de drenaje correspondiente a la primera y segunda muestra respectivamente.

Figura 46. Instalación de válvula tipo bola PVC de 1"



Elaborado por las autoras

Para la instalación de llaves de pase se tiene que realizar agujeros con el taladro en cada compartimiento que forma parte del cuerpo de la presa, luego se debe colocar una manguera transparente cuya función va ser de piezómetros que va a permitir medir la carga de agua en cada cuerpo de la presa.

Figura 47. Instalación de piezómetros



Elaborado por las autoras

e) Instalación de sensores de flujo

Continuando con la construcción de modelo físico, se inició con la instalación de sensores de flujo que va a permitir medir en tiempo real las filtraciones en el cuerpo de la presa de tierra.

Para esto se instaló cada sensor de flujo en cada válvula tipo bola de 1" también se instaló un codo de $\frac{1}{2}$ ", los sensores estuvieron conectados a la caja que controla el procesamiento de información que es el arduino mega.

Figura 48. Instalación de sensores de flujo



Elaborado por las autoras

Para controlar los sensores de flujo y obtener los datos se realizó la construcción de una caja de acrílico pequeña, dentro de esta se instaló una pantalla LCD 20X4 que permitió visualizar los datos de cada sensor, placa Arduino mega que procesa los datos de los sensores, una lectora de micro SD que permitió colocar una tarjeta micro SD para el almacenamiento de datos y jumpers que son cables que permitieron realizar las conexiones. Ver anexo 3.

Figura 49. Proceso de instalación del Arduino, LCD y lectora micro SD



Elaborado por las autoras

Figura 50. Controlador de sensores



Elaborado por las autoras

4.4. Funcionamiento del modelo físico

Después de haber concluido con los ensayos de suelos aplicados a los componentes que conforman el cuerpo de la presa y con la construcción del modelo físico, se realizó el funcionamiento del modelo para esto se tuvo que introducir las muestras de suelos en sus respectivos compartimientos, para esto se consideró la compactación de cada muestra de suelo los resultados fueron obtenidos de los ensayos de laboratorio que se hicieron previamente.

Figura 51. Componentes del cuerpo de la presa



Elaborado por las autoras

Como se puede apreciar en la figura el cuerpo de la presa de tierra está constituido en 5 partes, en los extremos la muestra de suelo que corresponde a los compartimientos de la grava, la que le sigue es arena y el núcleo de la presa es de arcilla.

Se debe colocar cada muestra de suelo en su respectivo compartimiento y aplicar la humedad óptima y el número de golpes que se obtuvo del ensayo proctor estándar, ver figura 52.

Figura 52. Proceso de compactación en los compartimientos de acrílico, para el núcleo de la presa



Elaborado por las autoras

Figura 53. Compartimientos llenos con las muestras de suelo



Elaborado por las autoras

Posteriormente después de realizar el llenado de los compartimientos de acrílico con sus respectivas muestras de suelo se procedió al llenado de la presa con agua en la zona de aguas arriba, ver figura 54.

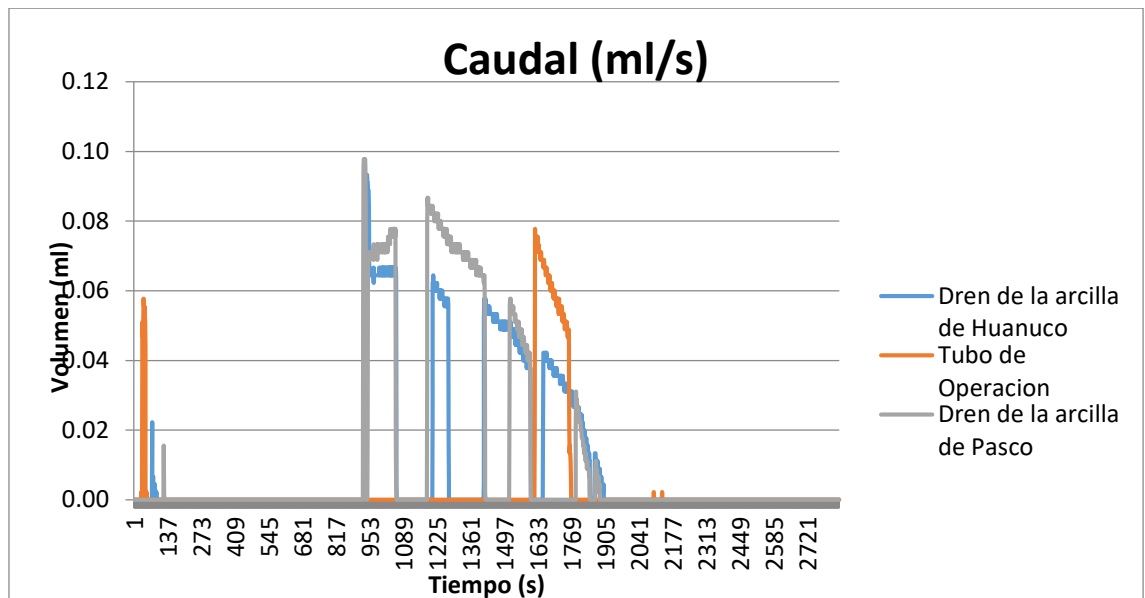
Figura 54. Llenado de agua de la zona de aguas arriba



Elaborado por las autoras

Con ayuda de los sensores de flujo se obtuvieron los datos de las filtraciones se observa en la figura 55 el caudal de las filtraciones y en la figura 56 el volumen de ambas muestras.

Figura 55. Caudal de las filtraciones



Elaborado por las autoras

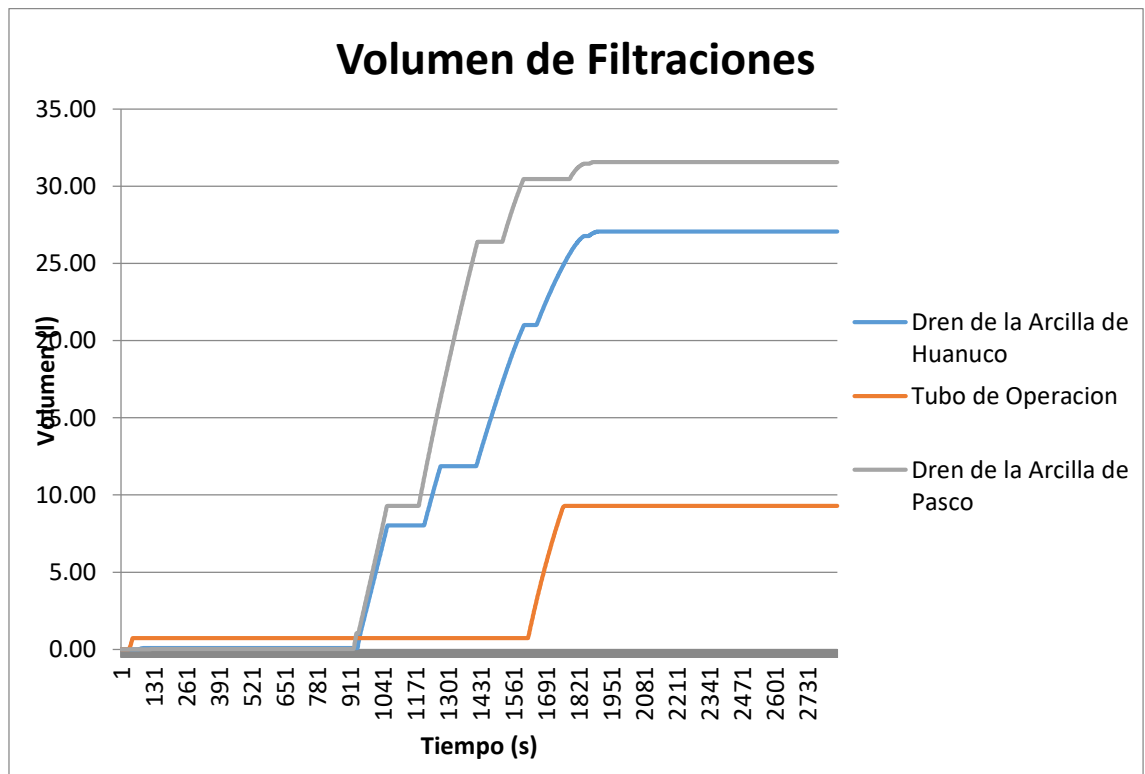
Se aprecian los datos obtenidos del sensor 1 y 3 que miden los datos correspondientes a las muestras de Cerro de Pasco y Huánuco respectivamente, también se observa una tercera línea naranja que pertenece al sensor 2 que mide el caudal del tubo de operación de la presa.

Los sensores de flujo miden en un tiempo determinado la cantidad de agua que pasa a través del cuerpo de la presa de tierra estos son procesados por el Arduino mega y son observables en la pantalla LCD 20x4.

En el caso de Cerro de Pasco el caudal de salida es mayor en ciertos intervalos de tiempo alcanzando los picos más altos de la gráfica posteriormente disminuye en el tiempo.

En cambio en la muestra de Huánuco se observa que el caudal de salida es menor en comparación a la otra muestra, esto significa que está reteniendo el agua, a través del paso del tiempo se aprecia que dicha muestra es la última en terminar de salir del cuerpo de la presa.

Figura 56. Volumen de las filtraciones



Elaborado por las autoras

Para el volumen se observa que la muestra de Cerro de Pasco presenta mayor volumen de salida de agua que la otra muestra, esto también se ve reflejado en la figura 55 de los caudales donde el caudal de salida es mayor en la muestra de Cerro de Pasco.

Figura 57. Modelo físico en funcionamiento



Elaborado por las autoras

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

1) El objetivo general de la presente tesis es implementar un modelo físico de una presa para evaluar el comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos en el núcleo de presas de tierra, para lo que se realizó ensayos a las muestras de suelos que forman parte del cuerpo de la presa, con énfasis en el núcleo de la presa objeto del estudio; se construyó un modelo físico como herramienta para poder cumplir los objetivos específicos e hipótesis planteadas.

2) En el ensayo proctor estándar se determinó la densidad seca máxima y la humedad óptima. En el caso de muestras de Cerro de Pasco, la malla N°30 presenta mayor humedad óptima en relación a la malla N°16 y con respecto a la densidad seca máxima la malla N° 30 fue mayor.

Del mismo modo para la muestra de Huánuco, la malla N°30 presenta mayor humedad óptima respecto a la malla N°16, y con respecto a la densidad seca máxima, la malla N°16 fue mayor.

De las dos muestras de Cerro de Pasco y Huánuco, se observó que la segunda muestra presenta mayor humedad óptima que la primera; ello se debe a que la segunda muestra retiene más agua que la primera.

3) En el ensayo de límites de consistencia se determinó el límite líquido y plástico de las dos muestras. Para la muestra de Cerro de Pasco se obtuvo $LL=28.42\%$, $LP=20.04\%$ y $IP= 8.38\%$, en el caso de la muestra de Huánuco los resultados fueron $LL=49.27\%$, $LP=43.28\%$ y $IP= 5.99\%$, con estos datos y el ensayo de granulometría que se realizó previamente se logró la clasificación de ambas muestras siendo la primera una arcilla de baja plasticidad y la segunda una arcilla limosa de baja plasticidad.

4) El ensayo de permeabilidad aplicado a la muestra de Cerro de Pasco, permitió observar que la malla N°16 presenta un índice más alto de permeabilidad en relación a la malla N°30. En la muestra de Huánuco pasa lo mismo, la malla N°16 presentó un índice más alto de permeabilidad respecto a la malla N°30. Se puede deducir que en las mallas N°30 de ambas muestras, el agua pasa lentamente debido a las partículas de suelos.

De las dos muestras de Cerro de Pasco y Huánuco, se observó que la muestra de Cerro de Pasco es más permeable en relación con la otra, por ese motivo el agua pasa más rápido por dicha muestra.

5) En las filtraciones se observó que la muestra de Huánuco retuvo el agua por más tiempo que la otra muestra; esto demuestra que es más impermeable.

CONCLUSIONES

- 1) Se determinó la relación de la humedad óptima mediante el ensayo de Proctor estándar, se logró caracterizar las humedades óptimas de las muestras de suelos arcillosos y se obtuvo como resultado que la muestra de Huánuco presenta mayor humedad óptima que la muestra de Cerro de Pasco; esto se debe a que colocando más agua a la muestra, se volvía más trabajable. En relación con las mallas resultó que la malla N°30 presentaba los valores más altos de humedad óptima.
- 2) Realizar el ensayo de los límites de Atteberg permitió caracterizar las muestras provenientes de Cerro de Pasco y Huánuco, los resultados indicaron que la primera muestra era una arcilla de baja plasticidad (CL), y la segunda muestra una arcilla limosa de baja plasticidad (ML-CL).
- 3) El ensayo de permeabilidad de las muestras de arcilla permitió tener un parámetro acerca del comportamiento de las muestras antes de colocarlas en el modelo físico. Se determinó la relación de la permeabilidad mediante la realización del ensayo, se obtuvo que la arcilla de Huánuco retiene más agua que la muestra de Cerro de Pasco, esto se confirmó en el funcionamiento del modelo. En el uso de las mallas N°16 y N°30, se obtuvo que las mallas N°30 retuvieron más agua que la mallas N°16 en ambas muestras.

- 4) La relación con las filtraciones se determinó mediante la implementación de un modelo físico de una presa, el que permitió evaluar las filtraciones en el cuerpo de la presa. Las filtraciones fueron medidas con los sensores de flujo, y se observó que la muestra de Huánuco era más impermeable que la otra muestra.

- 5) La implementación del modelo físico de la presa elaborada permitió evaluar la influencia de la granulometría de suelos arcillosos en el comportamiento de núcleo de presas de tierra, esto se demostró a través del funcionamiento del modelo físico y la realización de los ensayos al material que conforma el núcleo de la presa, brindando así un análisis de acuerdo a los objetivos indicados.

RECOMENDACIONES

1. Efectuar investigaciones del comportamiento del núcleo de la presa de tierra empleando otras granulometrías.
2. Realizar la construcción del modelo físico con otros diseños o con otros materiales que ofrezcan mayor resistencia a la compactación.
3. Profundizar estudios sobre la influencia de la granulometría, relacionado con el núcleo o con el cuerpo de la presa de tierra.
4. Realizar combinaciones de mallas para observar cómo afecta este criterio en el núcleo de la presa de tierra.
5. Investigar el uso de otros sensores que ayuden a la evaluación del núcleo.
6. Seguir utilizando el modelo físico y mejorando su funcionamiento.
7. Agregar sensores que permitan medir las líneas de corriente y las curvas equipotenciales.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliográficas

Braja M. Das (2015). Fundamentos de ingeniería geotécnica. 4a ed. México D.F: Cengage Learning Editores.

Mata Príncipe R. & Trujillo Martínez J. (2018). Diseño de una presa de tierra para reducir la vulnerabilidad a los huaycos en la quebrada Huaycoloro-Lurigancho-Chosica. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Universidad de San Martín de Porres.

Terzagui k. & Peck R. (1973). Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. 2a ed. España: El Ateneo S.A

Electrónicas

Angelone S. (2012). Geología y Geotecnia. Recuperado de https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Redes%20en%20Presas%202012_2s

Autoridad Nacional del Agua (2015). Inventario de presas en el Perú. Recuperado de

http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/inventario_de_presas.pdf

Chalan Chávez A. & Guevara Paredes K. (2014). Evaluación y análisis de la estabilidad de la presa Garrapón del centro poblado Garrapón-Ascope-La Libertad. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo. Recuperado de <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/632>

Espinoza Durán C. & Tapia Berzoza L. (2013). Análisis comparativo entre los métodos de estabilidad de taludes aplicados a las presas de tierra del Proyecto PACALORI. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4572/1/TESIS.pdf>

Glez Haramboure Y. & Guedes Sosa O. & Rodríguez Díaz S. (2017). Las fallas en presas de tierra. Caso de Estudio: falla por estabilidad de taludes en función de las condiciones de drenaje. (Monografía). Centro de Investigaciones Hidráulicas, Cuba. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Yoermes_Glez_Haramboure/publication/321587038_Las_fallas_en_presas_de_tierra_Caso_de_Estudio_falla_por_estabilidad_de_taludes_en_funcion_de_las_condiciones_de_drenaje/links/5a47d918458515f6b0569c70/Las-fallas-en-presas-de-tierra-Caso-de-Estudio-falla-por-estabilidad-de-taludes-en-funcion-de-las-condiciones-de-drenaje.pdf

Gutiérrez Gómez J. (2015). Pre diseño de presa tierra en el río Piedras en la parroquia Julio Moreno, provincia de Santa Elena. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Espíritu Santo, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.uees.edu.ec/handle/123456789/68?offset=20>

Laboratorio de Mecánica de Suelos UNI, Análisis Granulométrico por tamizado (2004). Recuperado de http://www.lms.uni.edu.pe/labsuelos/EXPOSICIONES/Granulometría_Tamizado_ATQ.pdf

Laboratorio de Mecánica de Suelos UNI, Ensayo Proctor (2006). Recuperado de <http://www.lms.uni.edu.pe/Proctor%20Modificado.pdf>

Leiva Llerena I. (2017). Tendencias actuales en el análisis de la integridad de presas de tierra. (Trabajo de diploma). Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Recuperado de http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/8642/Tesis%20Ultimo%20lbeth_2_Rev_02%20completa%20mas%20actual.pdf?sequence=1&isAllowed=n

Llanos Nina J. (2013). El estudio geológico-geotécnico de la presa tierra Cotachaca distrito Crucero – Carabaya. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo). Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2795/Llanos_Nina_Julber.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). Manual de Ensayo de Materiales. Recuperado de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

Murillo Perea J. (2012). Construcción de una presa de materiales sueltos en la región de Arequipa. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/5378>

Norma E 050 – Suelos y Cimentaciones (2006). Recuperado de <http://www3.vivienda.gob.pe/DGPRVU/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20III%20Edificaciones/53%20E.050%20SUELOS%20Y%20CIMENTACIONES.pdf>

Ortiz Quizhpi W. & Portilla Flores E. (2014). Estudio de estabilidad de los taludes de las presas del proyecto Pacalori, teniendo en cuenta la acción sísmica. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20906>

Parcero López A. (2016). Estabilidad de taludes de presas de tierra y enrocado ante sismos y fuerzas de filtración. (Tesis para optar el grado de Maestro en Ingeniería Civil – Geotecnia). Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.10/12417/Tesis.pdf?sequence=1>

Pérez Preciado M. (2018). Estudio hidráulico y de estabilidad de una presa de materiales sueltos sobre el río Callazas en la región de Tacna. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/10344>

Perez G. & Vasconcellos G. (2017). Evaluación de tres alternativas de proyecto de presa para embalse Palo Redondo. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Recuperado de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/621839/Perez_zg.pdf;jsessionid=FAC8D5829E9EDC7441C20C38E725C90B?sequence=5

Sandoval W. (2016). Presas de tierra y enrocamiento. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Washington_Sandoval_Erazo/publication/317291138_Presas_de_Tierra_y_Enrocamiento/links/5930a836a6fdcc89e7845cd9/Presas-de-Tierra-y-Enrocamiento.pdf

Sparrow E. (2009). Presas de Gravedad. Recuperado de http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/represas_de_gravedad_aplicacion__tmp4ab639d7.pdf

Structuralia Blog (2014). Tipología de presas I. Recuperado de <https://blog.structuralia.com/tipologia-de-presas-i-presas-de-fabrica>

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Tablas	93
Anexo 2. Ensayos de laboratorio	95
Anexo 3. Panel fotográfico	112
Anexo 4. Planos	126
Anexo 5. Matriz de consistencia	127

ANEXO 1: TABLAS

Tabla 1 Tamices

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
⅜"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 10	2,000
Nº 20	0,840
Nº 40	0,425
Nº 60	0,260
Nº 140	0,106
Nº 200	0,075

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). Manual de Ensayos de Materiales.

Tabla 2 Clasificación de suelos

Divisiones principales				Símbolo del grupo	Nombre clásico
1	2			3	4
Suelos de grano grueso Más de la mitad del material es mayor que el t. nº200	GRAVAS Más de la mitad de los gruesos es > 5mm	Para clasificación visual el tamiz nº4 equivale a 5 mm	Gravas limpias (poco ó ningún fino)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino.
			Gravas con finos (apreciable cantidad)	GP	Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino.
			Arenas limpias (poco ó ningún fino)	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.
			Arenas con finos (apreciable cantidad)	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.
	ARENAS Más de la mitad de los gruesos es < 5 mm		Arenas limpias (poco ó ningún fino)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco ó ningún fino.
			Arenas con finos (apreciable cantidad)	SP	Arenas pobremente graduadas, arenas con grava, poco ó ningún fino.
				SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
				SC	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.
los de grano fino Más de la mitad del material es menor que el t. nº200	Limos y arcillas. Límite líquido menor que 50			ML	Limos inorgánicos de baja compresibilidad.
				CL	Arcillas inorgánicas de baja a media compresibilidad arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas
				OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja compresibilidad
	Limos y arcillas. Límite líquido mayor que 50			MH	Limos inorgánicos de alta compresibilidad
				CH	Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad
				OH	Arcillas y limos orgánicos de media a alta compresibilidad.
Suelos altamente orgánicos				Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos

Fuente: Conanma (2016). Geotecnia.

Tabla 3 Cuadro complementario para clasificación de suelos

FINOS ($\geq 50\%$ pasa 0.08 mm)			
Tipo de Suelo	Símbolo	Lim. Liq. w_l	Índice de Plasticidad I_p
limos inorgánicos	ML	< 50	$< 0.73 (w_l - 20)$ $\delta < 4$
	MH	> 50	$< 0.73 (w_l - 20)$
arcillas inorgánicas	CL	< 50	$> 0.73 (w_l - 20)$ y > 7
	CH	> 50	$> 0.73 (w_l - 20)$
limos y arcillas orgánicos	OL	< 50	** w_l seco al horno $\leq 75\%$ de w_l seco al aire
	OH	> 50	
turba	P_t	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.	
Si $I_p \geq 0.73 (w_l - 20)$ ó si IP entre 4 y 7 e $I_p > 0.73 (w_l - 20)$, usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH			
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente w_l seco al horno			
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica Ej: CH-MH en vez de CL-ML			
Si $w_l = 50$; CL-CH ó ML-MH			

Fuente: Recuperado de: <https://civilgeeks.com/2015/07/11/apuntes-del-sistema-unificado-de-clasificacion-de-suelos-s-u-c-s/>

Tabla 4 Cuadro Resumen de Ensayo Proctor


TIPO DE ENSAYO	ESTÁNDAR		MODIFICADO
PESO DEL MARTILLO	5.5 lbf(2.49 kg)		10lbf (4.54 kg)
ALTURA DE CAÍDA	12"(305 mm)		18"(457 mm)
NÚMERO DE CAPAS	3 capas		5 capas
PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	A	B	C
MATERIAL EMPLEADO	$< \#4$	$< 3/8"$	$< 3/4"$
DIAMETRO DEL MOLDE	4"	4"	6"
NÚMERO DE GOLPES	25	25	56
GRADACIÓN	Hasta 20% $> \#4$	Más de 20% $> \#4$ y hasta 20% $> 3/8"$	Más de 20% $> 3/8"$ y menos de 30% $> 3/4"$

Fuente: Pontificia Universidad Católica del Perú (2012). Guía de Laboratorio de Mecánica de Suelos.

ANEXO N° 2: ENSAYOS DE LABORATORIO

1. CONTENIDO DE HUMEDAD


1.1. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARCILLA DE PASCO

 USMP UNIVERSIDAD SAN MARTÍN DE PORRES	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS
CONTENIDO DE HUMEDAD		
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO	
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel	
UBICACIÓN	LIMA	N° LAB: 01
MUESTRA	ARCILLA DE PASCO	

PESO FUENTE + SUELO HUMEDO (gr)	9,062.00
PESO FUENTE + SUELO SECO (gr)	8,492.50
PESO DEL AGUA CONTENIDA (gr)	569.50
PESO DE FUENTE (gr)	1,091.00
PESO SUELO SECO (gr)	7,401.50
CONTENIDO DE HUMEDAD	8%

Fuente: Elaborado por las autoras


1.2. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARCILLA DE HUANUCO

 USMP UNIVERSIDAD SAN MARTÍN DE PORRES	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS
CONTENIDO DE HUMEDAD		
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO	
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel	
UBICACIÓN	LIMA	N° LAB: 01
MUESTRA	ARCILLA DE HUANUCO	

PESO FUENTE + SUELO HUMEDO (gr)	8,476.00
PESO FUENTE + SUELO SECO (gr)	8,080.50
PESO DEL AGUA CONTENIDA (gr)	395.50
PESO DE FUENTE (gr)	1,221.50
PESO SUELO SECO (gr)	6,859.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	5.77%

Fuente: Elaborado por las autoras


1.3. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARENA

 USMP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS
CONTENIDO DE HUMEDAD		
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO	
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel	
UBICACIÓN	LIMA	N° LAB: 01
MUESTRA	ARENA	

PESO FUENTE+ SUELO HUMEDO (gr)	1052.5
PESO FUENTE+SUELO SECO (gr)	894.5
PESO DEL AGUA CONTENIDA (gr)	158
PESO DE FUENTE (gr)	176.5
PESO SUELO SECO (gr)	718
CONTENIDO DE HUMEDAD	22.0%

Fuente: Elaborado por las autoras

1.4. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARENA


 USMP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS
CONTENIDO DE HUMEDAD		
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO	
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel	
UBICACIÓN	LIMA	N° LAB: 01
MUESTRA	GRAVA	

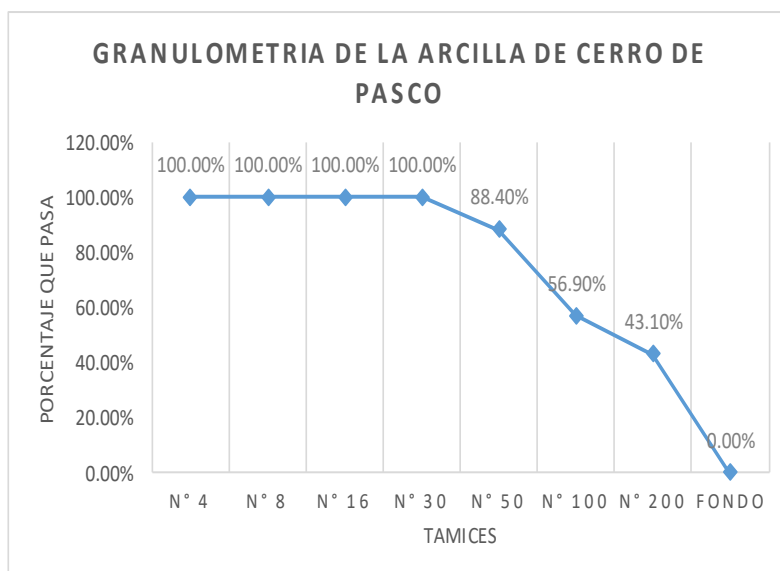
PESO FUENTE+ SUELO HUMEDO (gr)	4,541.50
PESO FUENTE+SUELO SECO (gr)	3,429.53
PESO DEL AGUA CONTENIDA (gr)	1,111.97
PESO DE FUENTE (gr)	1,088.50
PESO SUELO SECO (gr)	2,341.03
CONTENIDO DE HUMEDAD	47.5%

Fuente: Elaborado por las autoras

2. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO


2.1. ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ARCILLA DE PASCO

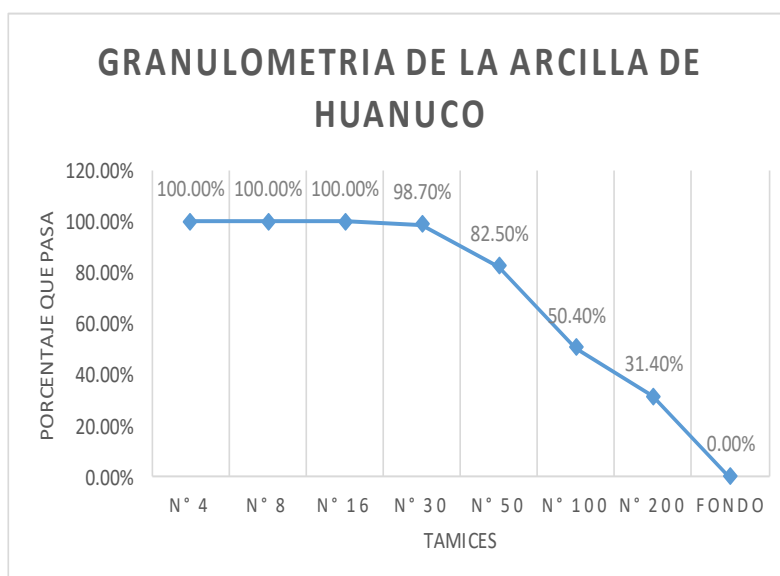
 USMP UNIVERSIDAD SAN MARTIN DE PORRES FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS			
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D422					
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO				
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel				
UBICACIÓN	LIMA				N° LAB: 01
MUESTRA	ARCILLA DE PASCO				
PESO DE MUESTRA:	500.00	gr.			
% PASA N° 200:	43.10%	%			
TAMIZ		RETENIDO		RETENIDO ACUMULADO	PASA
(mm)	(pulg)	(gr)	(%)	(%)	(%)
4.760	N° 4	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
2.360	N° 8	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
1.100	N° 16	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
0.600	N° 30	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
0.300	N° 50	58.0	11.60%	11.60%	88.40%
0.150	N° 100	157.5	31.50%	43.10%	56.90%
0.075	N° 200	69.0	13.80%	56.90%	43.10%
	FONDO	215.5	43.10%	100.00%	0.00%
SUMA		500.0			



Fuente: Elaborado por las autoras

2.2. ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ARCILLA DE HUANUCO

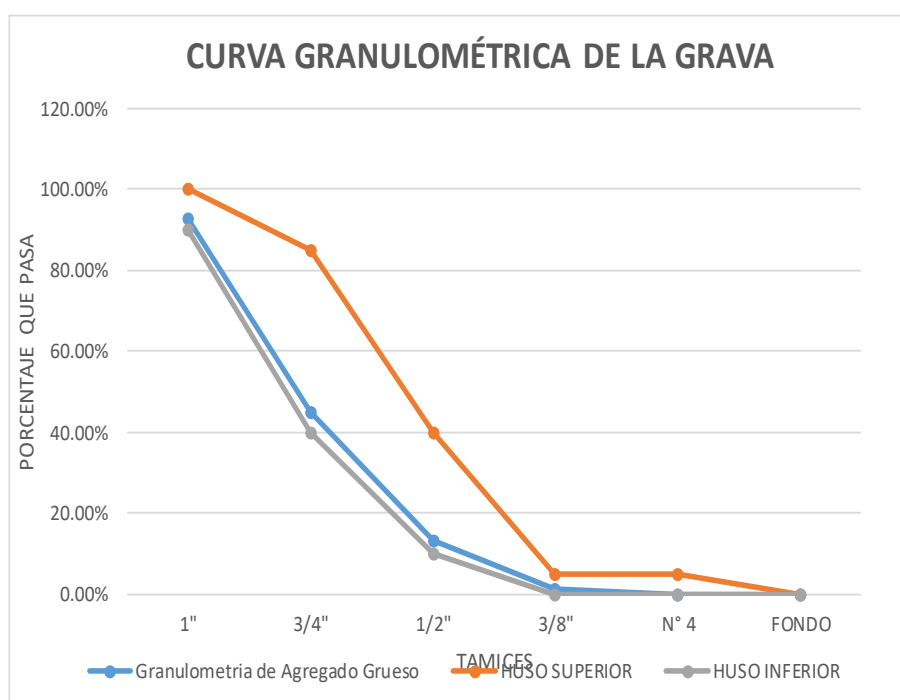
 USMP <small>UNIVERSIDAD SAN MARTIN DE PORRES</small>		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS			
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D422					
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO				
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel				
UBICACIÓN	LIMA	N° LAB: 01			
MUESTRA	ARCILLA DE PASCO				
PESO DE MUESTRA:	500.00	gr.			
% PASA N° 200:	31.40%	%			
TAMIZ		RETENIDO		RETENIDO ACUMULADO	PASA
(mm)	(pulg)	(gr)	(%)	(%)	(%)
4.760	N° 4	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
2.360	N° 8	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
1.100	N° 16	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
0.600	N° 30	6.5	1.30%	1.30%	98.70%
0.300	N° 50	81.0	16.20%	17.50%	82.50%
0.150	N° 100	160.5	32.10%	49.60%	50.40%
0.075	N° 200	95.0	19.00%	68.60%	31.40%
	FONDO	157.0	31.40%	100.00%	0.00%
SUMA		500.0			



Fuente: Elaborado por las autoras


2.3. ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA GRAVA

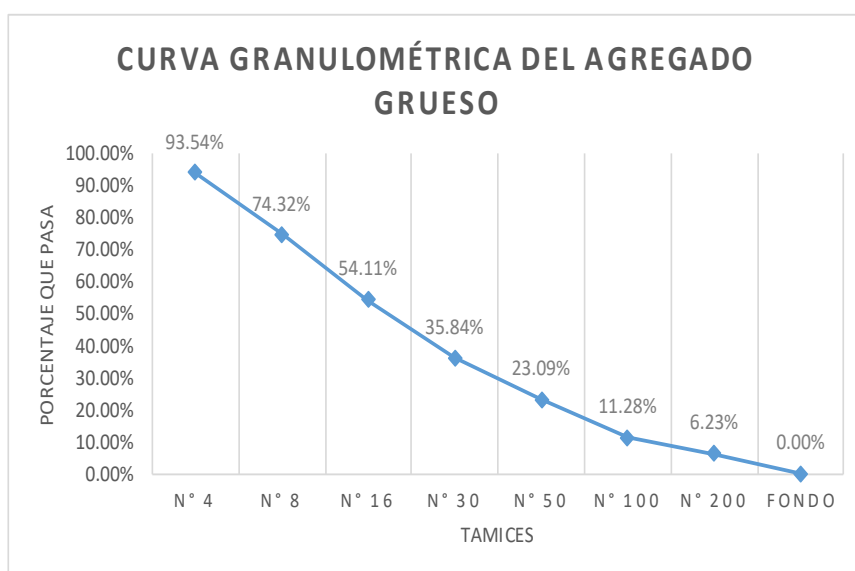
VERITAS USMP UNIVERSIDAD SAN MARTÍN DE PORRÉS		LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D422					
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO				
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel				
UBICACIÓN	LIMA	N° LAB: 01			
MUESTRA	GRAVA				
PESO DE MUESTRA:	2948.00	gr.			
% PASA N° 200:	5.05	%			
TAMIZ		RETENIDO		RETENIDO ACUMULADO	PASA
(mm)	(pulg)	(gr)	(%)	(%)	(%)
	1"	206.50	7.00%	7.00%	93.00%
19.00	3/4"	1413.00	47.93%	54.94%	45.06%
12.50	1/2"	941.50	31.94%	86.87%	13.13%
9.50	3/8"	354.00	12.01%	98.88%	1.12%
4.75	N° 4	32.00	1.09%	99.97%	0.03%
	FONDO	1.00	0.03%	100.00%	0.00%
SUMA		2948.0			



Fuente: Elaborado por las autoras

2.4. ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ARENA

 USMP UNIVERSIDAD SAN MARTIN DE PORRES FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS			
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D422					
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO				
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel				
UBICACIÓN	LIMA				N° LAB: 01
MUESTRA	AGREGADO GRUESO				
PESO DE MUESTRA:	851.00	gr.			
% PASA N° 200:	5.05	%			
TAMIZ		RETENIDO		RETENIDO ACUMULADO	PASA
(mm)	(pulg)	(gr)	(%)	(%)	(%)
4.760	N° 4	55.0	6.46%	6.46%	93.54%
2.360	N° 8	163.5	19.21%	25.68%	74.32%
1.100	N° 16	172.0	20.21%	45.89%	54.11%
0.600	N° 30	155.5	18.27%	64.16%	35.84%
0.300	N° 50	108.5	12.75%	76.91%	23.09%
0.150	N° 100	100.5	11.81%	88.72%	11.28%
0.075	N° 200	43.0	5.05%	93.77%	6.23%
	FONDO	53.0	6.23%	100.00%	0.00%
SUMA		851.0			



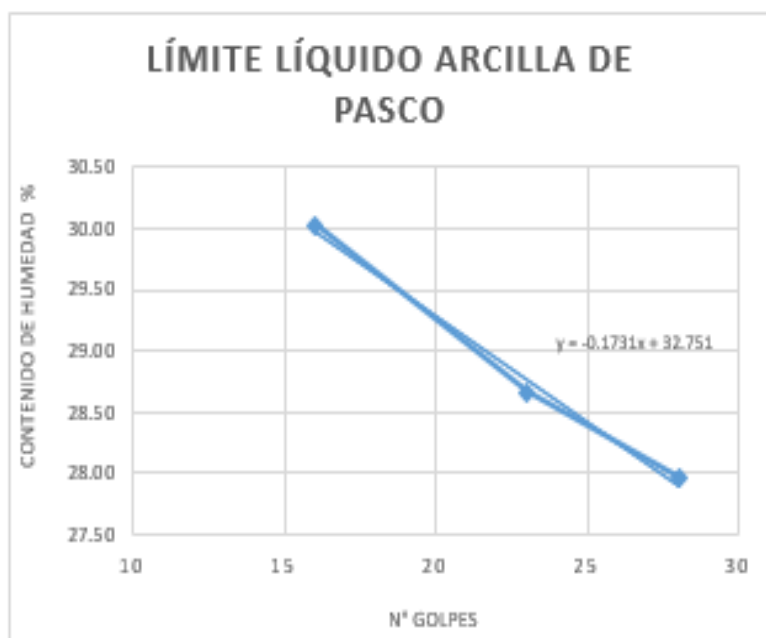
Fuente: Elaborado por las autoras

3. ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA (LIMITES DE ATTERBERG)

3.1. LIMITES DE CONSISTENCIA DE LA ARCILLA DE PASCO

LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS

		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLASTICO	
UND		1	2	3		
Tara	gr	29.29	29.27	28.28	28.72	28.15
Tara + Muestra húmeda	gr	45.26	44.71	44.26	31.17	30.26
Tara + Muestra seca	gr	41.77	41.27	40.57	30.77	29.9
Peso de agua	gr	3.49	3.44	3.69	0.4	0.36
Peso de muestra seca	gr	12.48	12	12.29	2.05	1.75
Contenido de humedad	%	27.96	28.67	30.02	19.51	20.57
Nro de golpes		28	23	16	Promedio	20.04




Nro de golpes	Contenido de humedad
28	27.96
23	28.67
16	30.02
25	28.42

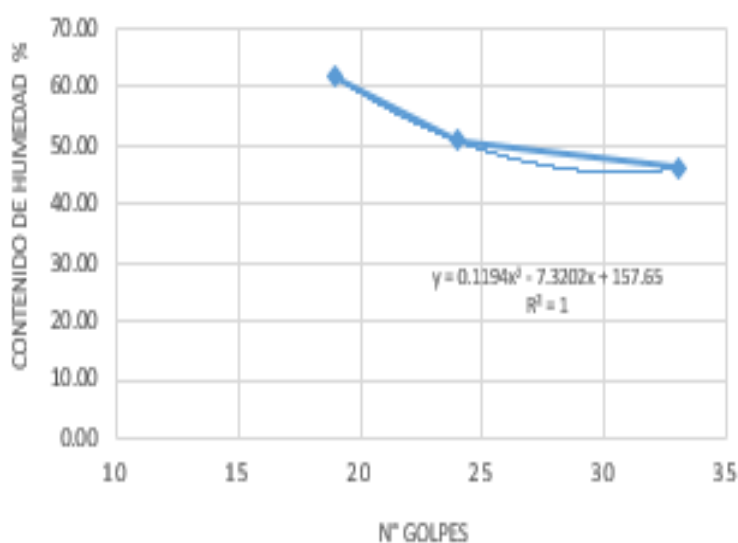
Ímite de consistencia	
LL	28.42%
LP	20.04%
IP	8.38%

Fuente: Elaborado por las autoras

3.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LA ARCILLA DE HUANUCO

LAB. DE MATERIALES Y MECÁNICA DE SUELOS						
 USMP SAN MARTÍN DE PORRES		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA				
LÍMITES DE CONSISTENCIA						
LÍMITE LÍQUIDO ASTM D 4318						
LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4319						
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN					
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette					
	Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel					
UBICACIÓN	LIMA					N° LAB: 01
MUESTRA	ARCILLA DE HUANUCO					
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		1	2	3		
	UND					
Tara	gr	29.29	28.82	28.93	28.72	28.15
Tara + Muestra húmeda	gr	31.02	31.79	35.2	29.78	29.28
Tara + Muestra seca	gr	30.36	30.79	33.22	29.41	29
Peso de agua	gr	0.66	1	1.98	0.37	0.28
Peso de muestra seca	gr	1.07	1.97	4.29	0.69	0.85
Contenido de humedad	%	61.68	50.76	46.15	53.62	32.94
Nro de golpes		19	24	33	Promedio	43.28

LÍMITE LÍQUIDO ARCILLA DE HUANUCO




Nro de golpes	Contenido de humedad
19	61.68
24	50.76
33	46.15
25	49.27

Límite de consistencia	
LL	49.27
LP	43.28
IP	5.99

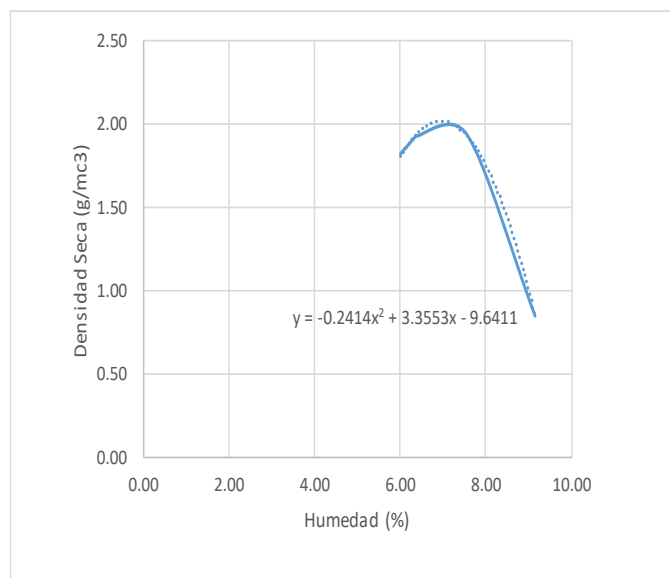
Fuente: Elaborado por las autoras

4. ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR ESTANDAR

4.1. ENSAYO DE PROCTOR DE LA ARENA

 USMP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS	
ENSAYO DE COMPACTACION			
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO		
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel		
UBICACIÓN	LIMA	N° LAB: 01	
MUESTRA	AGREGADO GRUESO		
TIPO DE PRUEBA	Proctor Estándar	Volumen de Molde	943.3 cm ³
N° DE CAPAS	3		
ALTURA DE CAIDA	30.48 cm		
N° DE GOLPES	25		

MOLDE		1	2	3	4	5
Peso molde	gr	3967.00	3967.00	3967.00	3967.00	3967.00
Volumen molde	cm ³	943.3	943.3	943.3	943.3	943.3
Peso molde + Suelo húmedo	gr	5789	5886	5902	5932	4837
Peso Suelo Húmedo	gr	1822.00	1919.00	1935.00	1965.00	870.00
Peso molde + Suelo seco	gr	5685.67	5771.87	5785.84	5793.84	4764.05
Peso Suelo Seco	gr	1718.67	1804.87	1818.84	1826.84	797.05
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.93	2.03	2.05	2.08	0.92
CÁPSULA		1-F	6-E	5-B	2	5-E
Peso cápsula	gr	28.26	29.23	28.35	28.71	27.8
Peso cápsula + Suelo húmedo	gr	60	60	60	60	60
Peso cápsula + Suelo seco	gr	58.2	58.17	58.1	57.8	57.3
Peso agua	gr	1.80	1.83	1.90	2.20	2.70
Peso suelo seco	gr	29.94	28.94	29.75	29.09	29.50
Humedad	%	6.01	6.32	6.39	7.56	9.15
Densidad seca	gr/cm ³	1.82	1.91	1.93	1.94	0.84



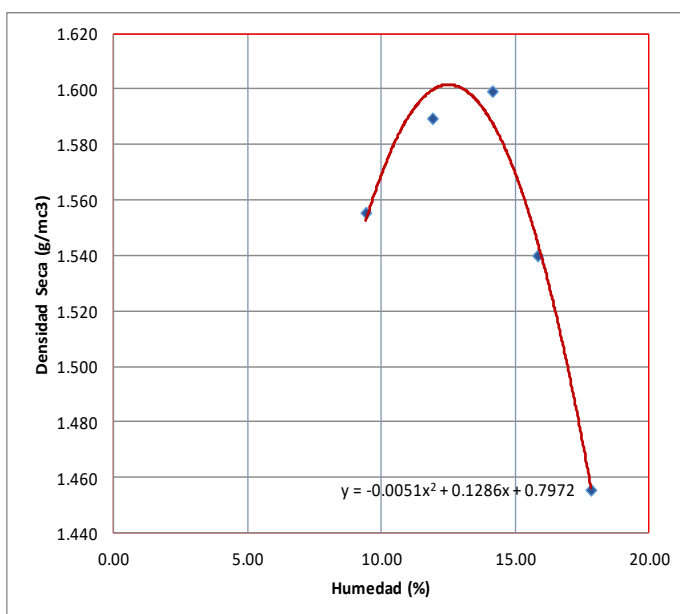
Resultados de la Compactación	
Humedad Óptima	6.95
Densidad Seca	2.00

Fuente: Elaborado por las autoras

4.2. ENSAYO DE PROCTOR STANDAR DE LA ARCILLA DE PASCO (RETENIDA DE LA MALLA N° 16)

	USMP <small>SAN MARTÍN DE PORRES</small> FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS
ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR ESTANDAR ASTM D-698		
TESIS ELABORADO UBICACIÓN MUESTRA TIPO DE PRUEBA N° DE CAPAS ALTURA DE CAIDA N° DE GOLPES	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO Bach. Flores Falcon Stephane Yvette Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel LIMA N° LAB: 01 ARCILLA ROJA RETENIDA Malla N° 16 Proctor Estándar Volumen de Molde 943.69 cm3 3 30.48 cm 25	


MOLDE	1	2	3	4	5
Peso molde (g)	3966.5				
Volumen molde (cm3)	943.69				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	5572.5	5645.5	5689	5650.5	5585
Peso molde + Suelo seco (g)	5093.0	5044.0	4983.9	4876.8	4739.9
Densidad húmeda (g/cm3)	1.70	1.78	1.83	1.78	1.72
CÁPSULA	2-A	5-B	2-E	6-F	1-C
Peso cápsula (g)	28.82	29.34	29.55	29.13	28.92
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	88.67	83.40	102.00	117.06	65.73
Peso cápsula + Suelo seco (g)	83.52	77.64	93.02	105.02	60.16
Peso agua (g)	5.15	5.76	8.98	12.04	5.57
Peso suelo seco (g)	54.7	48.30	63.47	75.89	31.24
Humedad (%)	9.41	11.93	14.15	15.87	17.83
Densidad seca (g/cm3)	1.555	1.590	1.599	1.540	1.456



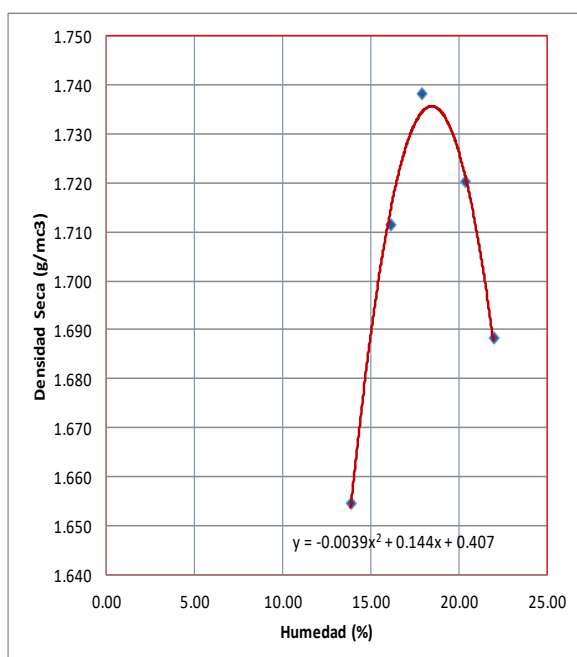
Resultados de la Compactación	
Humedad Óptima	12.53
Densidad Seca	1.60

Fuente: Elaborado por las autoras

4.3. ENSAYO DE PROCTOR STANDAR DE LA ARCILLA DE PASCO (PASANTE DE LA MALLA N° 16)

 USMP <small>UNIVERSIDAD SAN MARTÍN DE PORRES</small> FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS	
ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR ESTANDAR ASTM D-698			
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO		
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel		
UBICACIÓN	LIMA	N° LAB: 01	
MUESTRA	ARCILLA ROJA (PASANTE) Malla N°30		
TIPO DE PRUEBA	Proctor Estándar	Volumen de Molde 943.69 cm3	
N° DE CAPAS	3		
ALTURA DE CAIDA	30.48 cm		
N° DE GOLPES	25		


MOLDE	1	2	3	4	5
Peso molde (g)	3966.5				
Volumen molde (cm3)	943.7				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	5744.5	5842.5	5900.5	5920	5909.5
Peso molde + Suelo seco (g)	5044.7	5030.1	5004.9	4919.3	4845.6
Densidad húmeda (g/cm3)	1.88	1.99	2.05	2.07	2.06
CÁPSULA	3-C	5-A	1-B	3-F	4-C
Peso cápsula (g)	28.58	28.88	29.16	28.98	29.26
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	62.32	70.23	65.33	72.58	75.64
Peso cápsula + Suelo seco (g)	58.21	64.48	59.84	65.21	67.29
Peso agua (g)	4.11	5.75	5.49	7.37	8.35
Peso suelo seco (g)	29.63	35.6	30.68	36.23	38.03
Humedad (%)	13.87	16.15	17.89	20.34	21.96
Densidad seca (g/cm3)	1.655	1.711	1.738	1.720	1.688



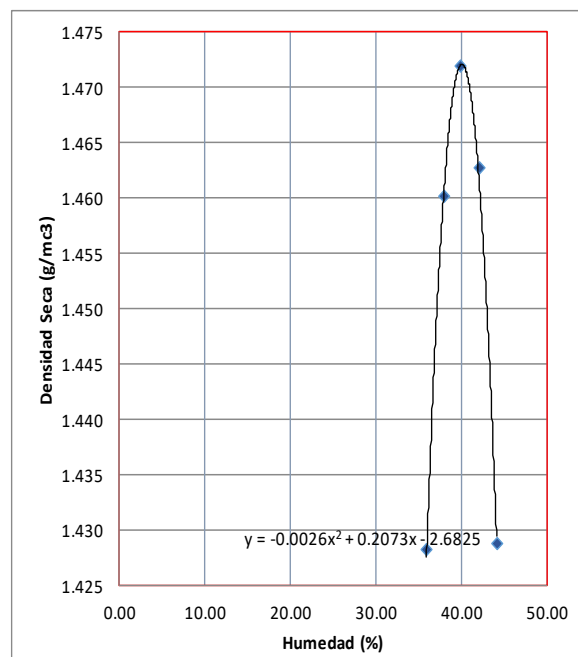
Resultados de la Compactación	
Humedad Óptima	18.46
Densidad Seca	1.74

Fuente: Elaborado por las autoras

4.4. ENSAYO DE PROCTOR STANDAR DE LA ARCILLA DE HUANUCO (RETENIDA DE LA MALLA N° 16)

 USMP UNIVERSIDAD SAN MARTÍN DE PORRES FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS	
ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR ESTANDAR ASTM D-698			
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO		
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel		
UBICACIÓN	LIMA	N° LAB: 01	
MUESTRA	ARCILLA NARANJA	Malla N°16	
TIPO DE PRUEBA	Proctor Estándar	Volumen de 943.69 cm ³	
N° DE CAPAS	3		
ALTURA DE CAIDA	30.48 cm		
N° DE GOLPES	25		


MOLDE	1	2	3	4	5
Peso molde (g)	3966.5				
Volumen molde (cm ³)	943.7				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	5798.5	5868.5	5910	5928	5910
Peso molde + Suelo seco (g)	4265.9	4251.5	4224.2	4171.7	4100.3
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.94	2.02	2.06	2.08	2.06
CÁPSULA	5-A	1-B	3-F	4-C	3-C
Peso cápsula (g)	28.88	29.16	28.98	29.26	28.58
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	70.61	68.72	75.29	78.27	69.27
Peso cápsula + Suelo seco (g)	59.58	57.82	62.08	63.75	56.81
Peso agua (g)	11.03	10.9	13.21	14.52	12.46
Peso suelo seco (g)	30.7	28.66	33.10	34.49	28.23
Humedad (%)	35.93	38.03	39.91	42.10	44.14
Densidad seca (g/cm ³)	1.428	1.460	1.472	1.463	1.429



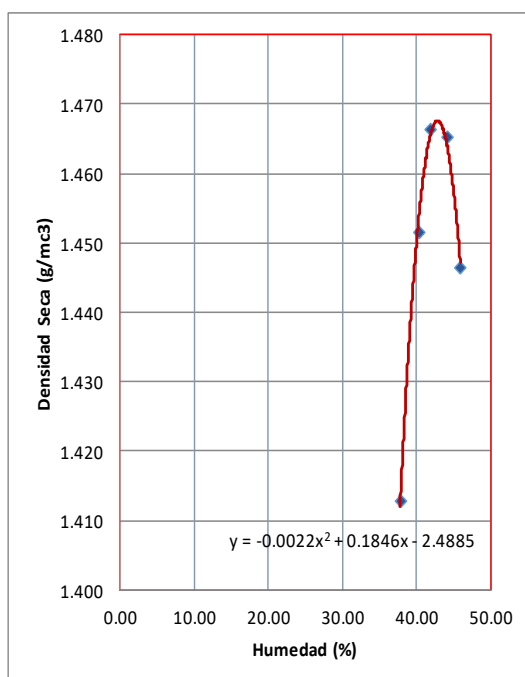
Resultados de la Compactación	
Humedad Óptima	39.87
Densidad Seca	1.48

Fuente: Elaborado por las autoras

4.5. ENSAYO DE PROCTOR STANDAR DE LA ARCILLA DE PASCO (PASANTE DE LA MALLA N° 16)

 USMP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS	
ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR ESTANDAR ASTM D-698			
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO		
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette		
	Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel		
UBICACIÓN	LIMA	N° LAB: 01	
	ARCILLA		
MUESTRA	NARANJA		
	(PASANTE) Malla N°30		
TIPO DE PRUEBA	Proctor Estándar	Volumen de M 943.69 cm ³	
N° DE CAPAS	3		
ALTURA DE CAIDA	30.48 cm		
N° DE GOLPES	25		


MOLDE	1	2	3	4	5
Peso molde (g)	3966.5				
Volumen molde (cm ³)	943.7				
Peso molde + Suelo húmedo (g)	5803.5	5888	5930.5	5960	5958.5
Peso molde + Suelo seco (g)	4212.0	4197.3	4178.5	4134.2	4083.0
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.95	2.04	2.08	2.11	2.11
CÁPSULA	5-B	6-F	2-E	2-B	2-A
Peso cápsula (g)	29.34	29.13	29.55	29.11	28.82
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	65.66	75.24	68.24	79.25	76.57
Peso cápsula + Suelo seco (g)	55.7	62.00	56.81	63.89	61.54
Peso agua (g)	9.96	13.24	11.43	15.36	15.03
Peso suelo seco (g)	26.36	32.87	27.26	34.78	32.72
Humedad (%)	37.78	40.28	41.93	44.16	45.94
Densidad seca (g/cm ³)	1.413	1.451	1.466	1.465	1.446



Resultados de la Compactación	
Humedad Óptima	41.95
Densidad Seca	1.47

Fuente: Elaborado por las autoras

5. ENSAYO DE PERMEABILIDAD
5.1. ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA ARCILLA DE PASCO
(RETENIDA DE LA MALLA N° 16)

 USMP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS	
ENSAYO DE PERMEABILIDAD CARGA (CABEZA) VARIABLE - ASTM D2434	
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel
UBICACIÓN	LIMA N° LAB: 01
MUESTRA	ARCILLA ROJA (RETENIDA) Malla N°16
TIPO DE PRUEBA	Permeabilidad

Fórmula para determinar la Permeabilidad

$$k = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \times \ln\left(\frac{h_i}{h_f}\right)$$

a : Área del tubo capilar (cm²)
L : Altura de la muestra (cm)
A : Área de la muestra (cm²)
t : Tiempo (s)
h_i : Altura inicial (cm)
h_f : Altura final (cm)


Diámetro de tubo capilar 0.67
 Diámetro de la muestra 7.75
 Altura de la muestra 14.35

ARCILLA ROJA RETENIDA

PRUEBA	TIEMPO (t)	h _i	h _f	Δh	ÁREA MENOR (a)	ALTURA (L)	ÁREA MAYOR (A)	k (cm/s)	Promedio k (cm/s)
1	624	123.5	103.5	20	0.353	14.35	46.566	3.07608E-05	3.04398E-05
2	647	121	101	20	0.353	14.35	46.566	3.0339E-05	
3	638	123	103	20	0.353	14.35	46.566	3.02196E-05	

Fuente: Elaborado por las autoras

5.2. ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA ARCILLA DE PASCO
(PASANTE DE LA MALLA N° 16)

 USMP UNIVERSIDAD SAN MARTÍN DE PORRES FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA LAB. DE MATERIALES Y MECÁNICA DE SUELOS	
ENSAYO DE PERMEABILIDAD CARGA (CABEZA) VARIABLE - ASTM D2434	
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FÍSICO
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephanie Yvette
UBICACIÓN	Bach. Quicaflo Chipana Mary Isabel LIMA N° LAB: 01
MUESTRA	ARCILLA ROJA (PASANTE) Malla N° 30
TIPO DE PRUEBA	Permeabilidad

Fórmula para determinar la Permeabilidad

$$k = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \times \ln\left(\frac{h_i}{h_f}\right)$$

a : Área del tubo capilar (cm^2)

L : Altura de la muestra (cm)

A : Área de la muestra (cm^2)

t : Tiempo (s)

h_i : Altura inicial (cm)

h_f : Altura final (cm)

Diámetro de tubo capilar 0.67
 Diámetro de la muestra 7.75
 Altura de la muestra 14.35

ARCILLA ROJA (MALLA N° 30)

PRUEBA	TIEMPO (t)	h _i	h _f	Δh	ÁREA MENOR (a)	AL TURA (L)	ÁREA MAYOR (A)	k (cm/s)	Promedio k (cm/s)
1	15534	123.5	103.5	20	0.353	14.35	47.173	1.2198E-06	1.2198E-06
2	16143	121	101	20	0.353	14.35	46.566	1.2160E-06	
3	15756	123	103	20	0.353	14.35	46.566	1.2237E-06	

Fuente: Elaborado por las autoras

 USMP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS	
ENSAYO DE PERMEABILIDAD CARGA (CABEZA) VARIABLE - ASTM D2434	
TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel
UBICACIÓN	LIMA N° LAB: 01 ARCILLA
MUESTRA	NARANJA (RETENIDA) Malla N°16
TIPO DE PRUEBA	Permeabilidad

Fórmula para determinar la Permeabilidad

$$k = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \times \ln\left(\frac{h_i}{h_f}\right)$$

<i>a</i> : Área del tubo capilar (cm ²)	Diámetro de tubo capilar	0.67
<i>L</i> : Altura de la muestra (cm)	Diámetro de la muestra	7.75
<i>A</i> : Área de la muestra (cm ²)	Altura de la muestra	14.35
<i>t</i> : Tiempo (s)		
<i>h_i</i> : Altura inicial (cm)		
<i>h_f</i> : Altura final (cm)		

ARCILLA NARANJA RETENIDA

PRUEBA	TIEMPO (t)	h _i	h _f	Δh	ÁREA MENOR (a)	ALTURA (L)	ÁREA MAYOR (A)	k (cm/s)	Promedio k (cm/s)
1	687	123.5	103.5	20	0.353	14.35	46.566	2.79399E-05	2.82355E-05
2	681	121	101	20	0.353	14.35	46.566	2.88243E-05	
3	690	123	103	20	0.353	14.35	46.566	2.79422E-05	

Fuente: Elaborado por las autoras



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

LAB. DE MATERIALES Y MECANICA DE SUELOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD CARGA (CABEZA) VARIABLE - ASTM D2434

TESIS	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FISICO		
ELABORADO	Bach. Flores Falcon Stephane Yvette Bach. Quicaño Chipana Mary Isabel		
UBICACIÓN	LIMA	N° LAB: 01	
MUESTRA	ARCILLA NARANJA (PASANTE)	Malla N°30	
TIPO DE PRUEBA	Permeabilidad		

Fórmula para determinar la Permeabilidad

$$k = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \times \ln\left(\frac{h_i}{h_f}\right)$$

a : Área del tubo capilar (cm²)

L : Altura de la muestra (cm)

A : Área de la muestra (cm²)

t : Tiempo (s)

h_i: Altura inicial (cm)

h_f: Altura final (cm)

Diámetro de tubo capilar

0.67

Diámetro de la muestra

7.75

Altura de la muestra

14.35

ARCILLA NARANJA (MALLA 30)

	TIEMPO (t)	h _i	h _f	Δh	ÁREA MENOR (a)	ALTURA (L)	ÁREA MAYOR (A)	k (cm/s)	Promedio k (cm/s)
1	19128	120	100	20	0.353	14.35	46.566	1.03559E-06	1.01654E-06
2	19202	123	103	20	0.353	14.35	46.566	1.00407E-06	
3	19175	122.5	102.5	20	0.353	14.35	46.566	1.0100E-06	

5.4. ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA ARCILLA DE HUANUCO (PASANTE DE LA MALLA N° 16)

Fuente: Elaborado por las autoras

ANEXO 3: PANEL FOTOGRÁFICO

I. EXTRACCIÓN DE MUESTRA DE ARCILLA



Proceso de extracción de la arcilla
Cerro de Pasco, Perú. 2018

II. PROCESO DE TRITURACIÓN DE LA ARCILLA



Proceso de trituración de la arcilla de Cerro de Pasco
(Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina.



Proceso de trituración de la arcilla de Huánuco
(Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina.

III. ENSAYOS DE LABORATORIO

A) ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD



Muestras de arcilla en el horno
(Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina.



Utilización de la balanza para pesar la muestra de arcilla de Cerro de Pasco
(Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina



Utilización de la balanza para pesar la muestra de arcilla de Huánuco
(Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina

B) ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMETRICO



Utilización del tamizador portátil para las muestras de arcilla
(Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina



Utilización de tamices
(Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina

C) ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA



Utilización de la Cuchara de Casa Grande para determinar el límite líquido de la arcilla de Cerro de Pasco. (Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina



Utilización de la Cuchara de Casa Grande para determinar el límite líquido de la arcilla de Huánuco. (Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina



Utilización de balanza para pesar la muestra del ensayo de límite plástico.
(Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina.

D) ENSAYO PROCTOR STANDARD



Colocación de la arena en el molde.
(Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina.



Uso de la regla metálica para enrasar la muestra.
(Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina.



Se obtuvo el peso de la muestra y el molde con ayuda de la balanza.
(Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina



Muestras sacadas del horno.
(Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina

IV. PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FÍSICO

A) CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA DE ACRÍLICO

1. Cortar el acrílico de 6mm según las medidas indicadas en el diseño



(Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina.

2. Pegar el acrílico con el pegamento



(Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina.

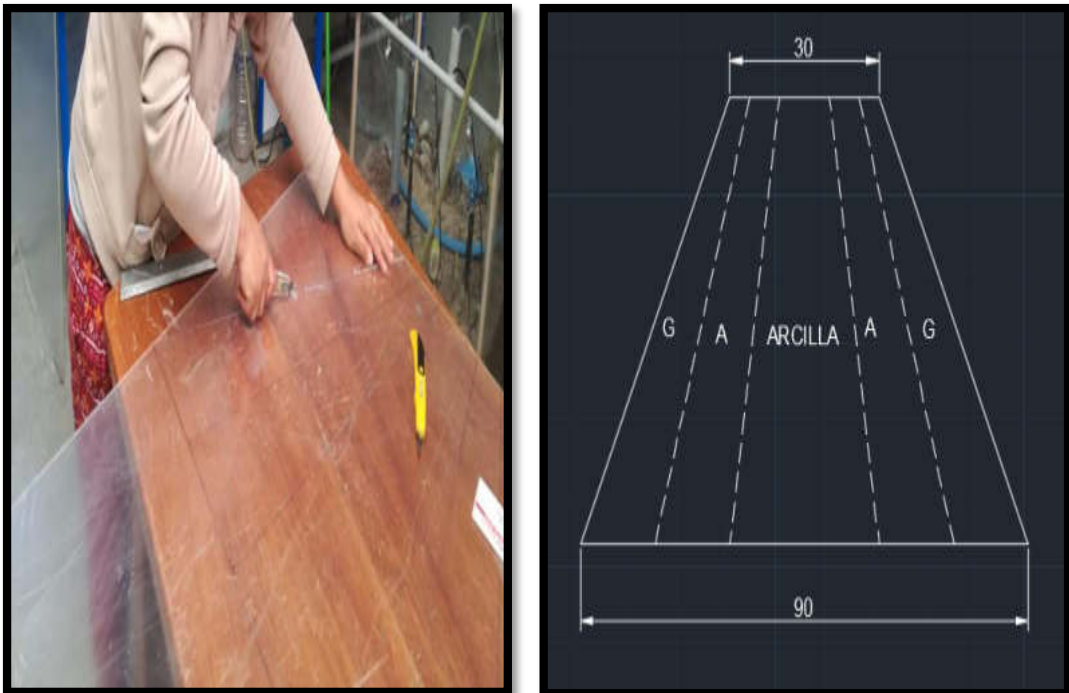
3. Dejar secar la caja de acrílico



(Laboratorio de Mecánica de suelos de la USMP 2018)
Lima, La Molina.

B) CONSTRUCCIÓN DE LA CAJAS INTERIORES DEL CUERPO DE LA PRESA

1. Cortar el acrílico para las divisiones interiores de la presa, según las medidas indicadas en el diseño.



(Laboratorio de Hidráulica de la USMP 2018)
Lima, La Molina.

2. Pegar las piezas cortadas



(Laboratorio de Hidráulica de la USMP 2018)
Lima, La Molina.

3. Dejar secar



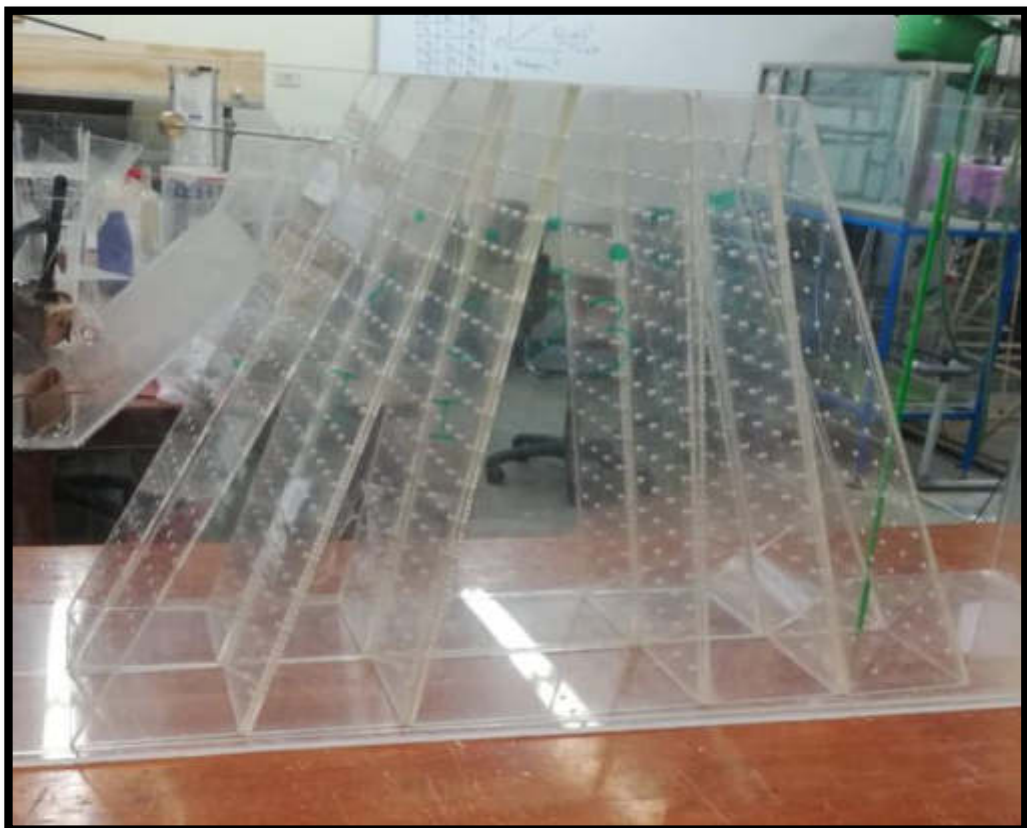
(Laboratorio de Hidráulica de la USMP 2018)
Lima, La Molina.

4. Realizar agujeros utilizando el taladro en las caras de las cajas



(Laboratorio de Hidráulica de la USMP 2018)
Lima, La Molina.

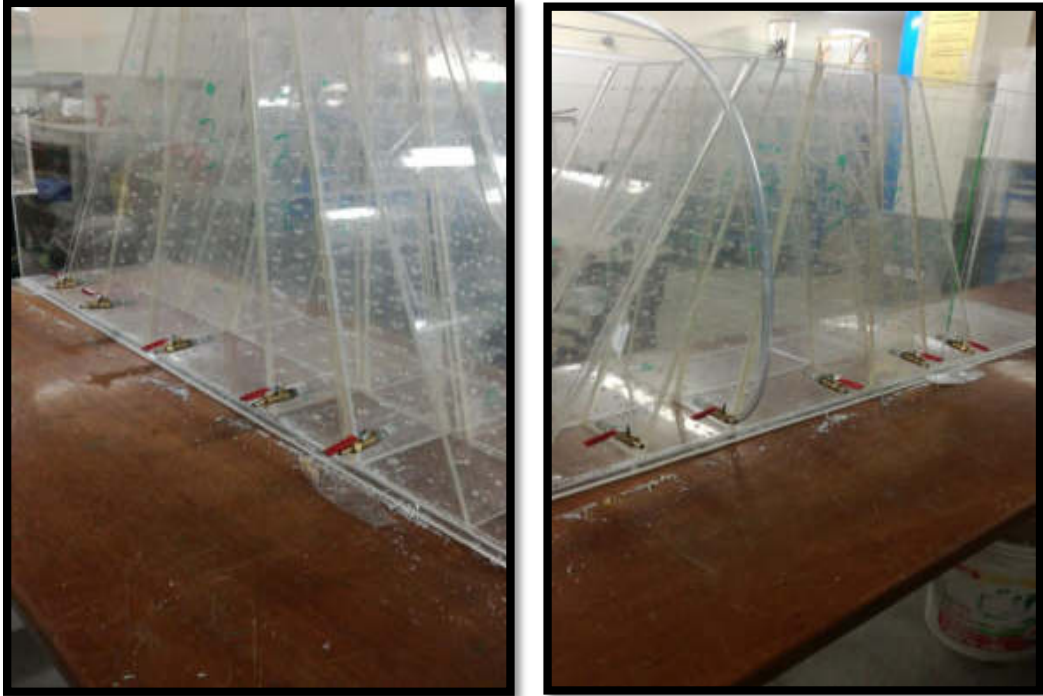
5. Repetir el mismo procedimiento con las demás cajas



(Laboratorio de Hidráulica de la USMP 2018)
Lima, La Molina.

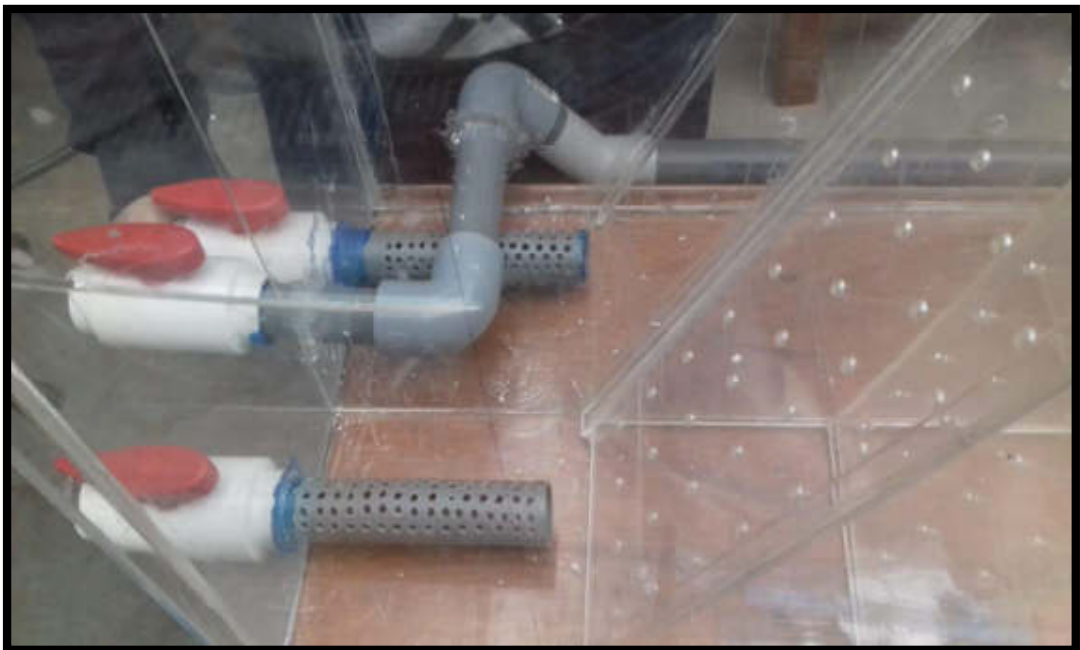
C) INSTALACIÓN DE TUBERIAS Y VALVULAS

1. Realizar agujeros en las cajitas para la instalación de llaves de pase, posteriormente colocarle la manguera de tubo transparente.



(Laboratorio de Hidráulica de la USMP 2018)
Lima, La Molina.

2. Instalación de la válvula bola PVC DE 1"



(Laboratorio de Hidráulica de la USMP 2018)
Lima, La Molina.

3. Instalación del tubo de PVC pesado de 1"



(Laboratorio de Hidráulica de la USMP 2018)
Lima, La Molina.

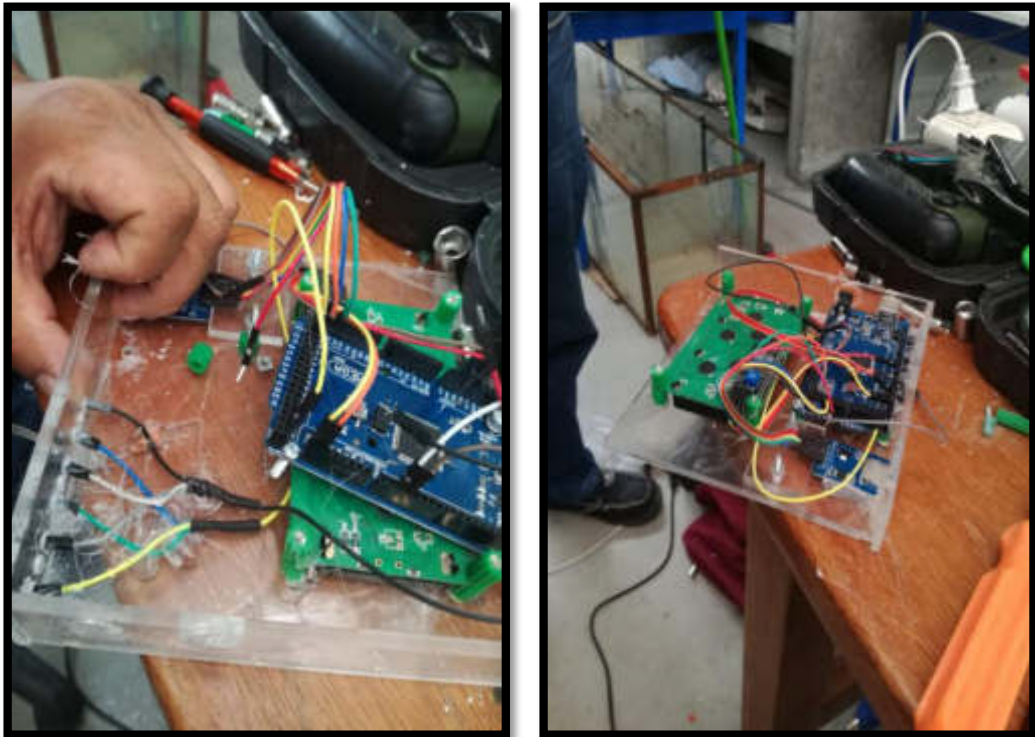
5. Finalmente se concluyó con la instalación de válvulas y tubos



(Laboratorio de Hidráulica de la USMP 2018)
Lima, La Molina.

D) INSTALACIÓN DE SENSORES DE FLUJO

1. Para la instalación de sensores previamente se instaló una placa para que pueda procesar los datos el sensor y una pantalla para observar los datos.



(Laboratorio de Hidráulica de la USMP 2018)
Lima, La Molina.

2. Posteriormente se procedió a la instalación de sensores de flujo en cada válvula bola de 1”.



(Laboratorio de Hidráulica de la USMP 2018)
Lima, La Molina

3. Finalmente se concluyó con la instalación de los sensores

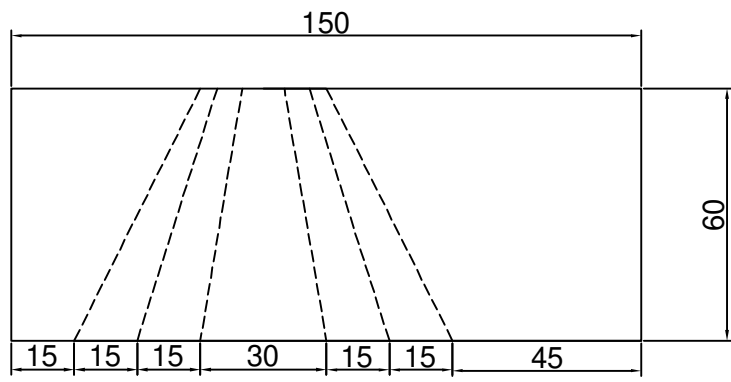


(Laboratorio de Hidráulica de la USMP 2018)
Lima, La Molina

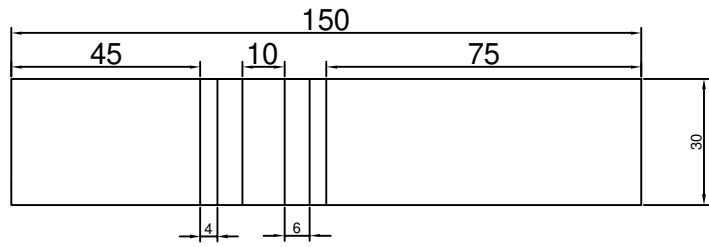


(Laboratorio de Hidráulica de la USMP 2018)
Lima, La Molina

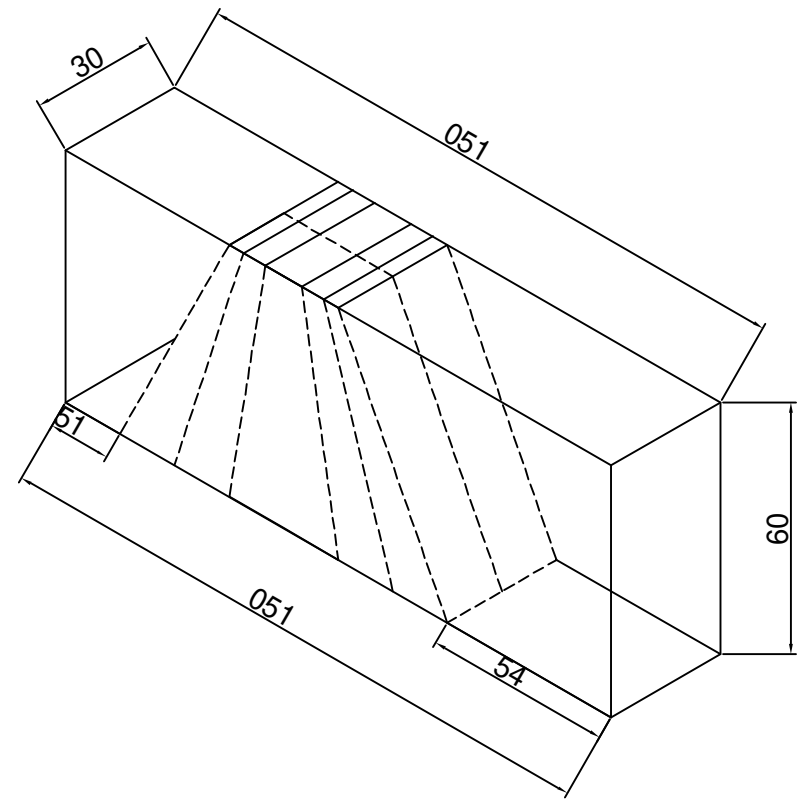
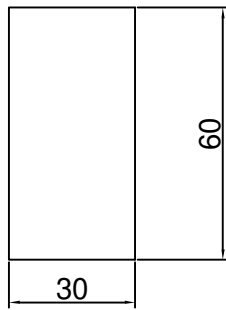
FRONTAL



PLANTA



LATERAL



INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA EN SUELOS ARCILLOSOS EN EL COMPORTAMIENTO DE NÚCLEO DE PRESAS DE TIERRA, MEDIANTE UN MODELO FÍSICO

SECCIONES DEL MODELO FÍSICO

TALLER DE TESIS Lamina: A3

INTEGRANTES: FLORES FALCON, STEPHANE
 QUICAÑO CHIPANA MARY Escala: 1/1000
 Fecha: 06/09/2018



MATRIZ DE CONSISTENCIA								
TEMA: MODELO FISICO DE UNA PRESA PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LA GRANULOMETRIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN EL NUCLEO DE PRESAS DE TIERRA								
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES		INDICADORES	MEDICION	DISEÑO METODOLÓGICO	
			VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE				TIPO DE INVESTIGACIÓN
¿En qué medida el modelo físico de una presa evalúa el comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos en el núcleo de presas de tierra?	Implementar un modelo físico de una presa para evaluar el comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos en el núcleo de presas de tierra.	El modelo físico de una presa permite evaluar el comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos en el núcleo de presas de tierra.	Modelo físico.	Comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos.	Límites de consistencia Permeabilidad Humedad óptima Filtraciones	Ordinal	Aplicada y cuantitativa	
PROBLEMA ESPECÍFICO N°1	OBJETIVO ESPECÍFICO N°1	HIPOTESIS ESPECÍFICA N°1	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	Humedad óptima		NIVEL DE INVESTIGACIÓN	Experimental
¿En qué medida el modelo físico de una presa evalúa el comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N° 16 y N° 30 de la humedad óptima en el núcleo de presas de tierra?	Caracterizar la humedad óptima de las muestras de suelos arcillosos para la implementación del modelo físico de una presa.	El modelo físico de una presa permite evaluar el comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N° 16 y N° 30 las cuales muestran distintas humedades óptimas en el núcleo de presas de tierra.	Modelo físico.	Comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos.	Límites de consistencia		DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	Prospectivo y longitudinal
PROBLEMA ESPECÍFICO N°2	OBJETIVO ESPECÍFICO N°2	HIPOTESIS ESPECÍFICA N°2	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	Permeabilidad		POBLACIÓN	Son 4 mallas proveniente de 2 muestras
¿En qué medida el modelo físico de una presa evalúa el comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N° 16 y N° 30 de los límites de consistencia en el núcleo de presas de tierra?	Caracterizar los límites de consistencia de las muestras de suelos arcillosos para la implementación del modelo físico de una presa.	El modelo físico de una presa permite evaluar el comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N° 16 y N° 30 las cuales presentan diferentes límites de consistencia en el núcleo de presas de tierra.	Modelo físico.	Comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos.	Filtraciones		MUESTRA	Son 4 mallas proveniente de 2 muestras
PROBLEMA ESPECÍFICO N°3	OBJETIVO ESPECÍFICO N°3	HIPOTESIS ESPECÍFICA N°3	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	Humedad óptima	RECOLECCIÓN DE DATOS	Mediante el uso de una ficha para anotar el resultado de los ensayos realizados	
¿En qué aspectos el modelo físico de una presa evalúa el comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N° 16 y N° 30 de la permeabilidad en el núcleo de presas de tierra?	Caracterizar la permeabilidad de las muestras de suelos arcillosos para la implementación del modelo físico de una presa.	El modelo físico de una presa permite evaluar el comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N° 16 y N° 30 las cuales muestran distintas permeabilidades en el núcleo de presas de tierra.	Modelo físico.	Comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos.	Caudal de drenado	TECNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS	Observación de los ensayos y uso del modelo físico.	
PROBLEMA ESPECÍFICO N°4	OBJETIVO ESPECÍFICO N°4	HIPOTESIS ESPECÍFICA N°4	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	Permeabilidad	INSTRUMENTOS	Registros y tablas.	
¿En qué aspectos el modelo físico de una presa evalúa el comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N° 16 y N° 30 en las filtraciones del núcleo de presas de tierra?	Implementar un modelo físico de una presa para evaluar el comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos frente a las filtraciones en el núcleo de presas de tierra.	El modelo físico de una presa permite evaluar el comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N° 16 y N° 30 las cuales presentan diferentes filtraciones en el núcleo de presas de tierra.	Modelo físico.	Comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos.				
PROBLEMA ESPECÍFICO N°5	OBJETIVO ESPECÍFICO N°5	HIPOTESIS ESPECÍFICA N°5	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE				
¿En qué aspectos la construcción del modelo físico de una presa evalúa el comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N° 16 y N° 30 en el núcleo de presas de tierra?	Construcción de la presa para cargar los suelos arcillosos a evaluar	La construcción del modelo físico de una presa permite obtener datos precisos para la evaluación del comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos en las mallas N° 16 y N° 30 en el núcleo de presas de tierra.	Modelo físico.	Comportamiento de la granulometría de suelos arcillosos.				