

MODELAMIENTO FÍSICO BIDIMENSIONAL DE UNA PRESA DE TIERRA CON FILTRO TIPO CHIMENEA Y SU INFLUENCIA EN EL DRENAJE INTERNO

BIDIMENSIONAL PHYSICAL MODELING OF AN EARTH DAM WITH CHIMNEY TYPE FILTER AND ITS INFLUENCE ON INTERNAL DRAINAGE

 Josue Eliazar Perales Asmat ^{1a}
 Robert Henry Saboya Guerrero ^{1b}
 Guillermo Gustavo Arriola Carrasco ^{2d}



Fecha de recepción : 15/12/2020

Fecha de aprobación : 15/01/2021

Resumen

Actualmente surge la necesidad de estudiar el funcionamiento de una presa de tierra con material homogéneo pues el uso de este tipo de presas es muy común a nivel mundial debido a los menores costos que genera su construcción y por el aprovechamiento del material en la zona donde se va a construir, entonces para proyectar una estructura de tales características es necesario considerar un sistema de filtración y drenaje que permita transportar un determinado caudal de infiltración hacia aguas abajo de la presa; sin embargo, no se sabe los cambios originados por la alteración de sus principales criterios de diseño tales como la composición granulométrica y los grados de compactación. En las diferentes investigaciones relacionadas que se han realizado se ha demostrado que un mejor estudio se logra a través de un modelamiento físico bidimensional y por esta razón se evaluó la influencia del filtro tipo chimenea en el drenaje interno del cuerpo de la presa de tierra. Los ensayos se realizaron con el equipo tanque – filtración en una sección transversal de presa previamente dimensionado, el cual permitió obtener la línea de saturación, los caudales de infiltración y las lecturas piezométricas. Finalmente la estabilidad de taludes, el comportamiento del drenaje, los porcentajes de compactación y los valores de densificación de la presa nos indican resultados muy satisfactorios para este tipo de filtro cumpliendo los parámetros requeridos en todas las condiciones de funcionamiento.

Palabras clave: Estabilidad, filtro, drenaje, modelamiento, presa de tierra.

Abstract

Currently there is a need to study the operation of an earth dam with homogeneous material since the use of this type of dams is very common worldwide due to the lower costs generated by its construction and because of the use of the material in the area where it is located. going to build, then to project a structure of such characteristics it is necessary to consider a filtration and drainage system that allows transporting a certain infiltration flow downstream of the dam; However, the changes caused by the alteration of its main design criteria such as the granulometric composition and the degrees of compaction are not known. In the different related investigations that have been carried out, it has been shown that a better study is achieved through a bidimensional physical modeling and for this reason the influence of the chimney-type filter on the internal drainage of the body of the earth dam was evaluated. The tests were carried out with the tank - filtration equipment in a previously dimensioned cross section of the dam, which allowed obtaining the saturation line, the infiltration flow rates and the piezometric readings. Finally, slope stability, drainage behavior, compaction percentages and dam densification values indicate very satisfactory results for this type of filter, fulfilling the required parameters in all operating conditions.

Key words: Stability, filter, drainage, modeling, earth dam.

1. Introducción

¹ Universidad César Vallejo, Filial Chiclayo – Chiclayo, Perú

² Universidad Señor de Sipán, Pimentel – Chiclayo, Perú

^a Ingeniero Civil, joos_007@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6951-1023>

^{2b} Ingeniero Civil, henry3_27@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8467-1105>

^c Ingeniero Civil, garriola@crece.uss.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0002-2861-1415>

Una presa puede denominarse de tierra si los suelos compactados representan más de 50% del volumen colocado de material y se construye principalmente con suelos seleccionados, de compactación uniforme e intensiva en varias capas y con un contenido de humedad controlado. Estos tipos de presa son muy comunes porque en su construcción intervienen materiales en su estado natural que requieren el mínimo de tratamiento, se emplean materiales de la zona donde se va a construir y además los requisitos para sus cimentaciones son menos exigentes que para los otros tipos como por ejemplo las que llevan un núcleo interno o las que llevan pantalla de concreto, además en ese sentido Gonzales, E., & Peláez, R. (2018) señalan respecto a las presas de tierra que en la actualidad es usual su uso debido al bajo impacto ambiental y menores costos durante la etapa constructiva.

Respecto a la filtración el agua es perjudicial en las presas con material homogéneo sin filtro, es decir la filtración llega a producir fuerzas que se desarrolla dentro y por debajo de la presa atentando contra su estabilidad, esto puede llegar a erosionar y socavar los terraplenes de la presa o sus fundaciones, ocasionando asentamientos y/o desprendimientos; todas las presas de tierra con presencia de flujo, poseerán línea de corriente superior, la red de flujo se define al determinar la línea de corriente superior. Existen teorías que facilitan la obtención de las líneas restantes y tomando como referencia a Gonzales, E., & Peláez, R. (2018) indican que Dupuit, Casagrande y Kozeny orientan mejor el estudio de flujo de agua dentro del cuerpo de la presa.

El tipo de presa estudiada en la presente investigación está compuesto de un solo material, el cual debe ser suficientemente impermeable para formar una barrera efectiva para el agua y para la estabilidad los taludes deben de ser relativamente tendidos facilitando su proceso constructivo. Para evitar la licuación el talud de aguas arriba debe ser relativamente tendido, si se prevén rápidos desembalses después de un largo almacenamiento. El talud de aguas abajo debe ser suficientemente estable para resistir la licuación cuando se sature al nivel máximo. Además, la sección propuesta debe ser capaz de que las filtraciones emerjan en el talud de aguas abajo considerando siempre las características propias del suelo en condiciones lo más reales posibles.

Una vez definidas las características importantes de la sección de la presa de tierra e evaluar, se planteó como problema: ¿En qué medida el modelamiento físico bidimensional de una presa de tierra con filtro tipo chimenea influye en el drenaje interno? Para lograr tal fin se planteó como objetivo principal evaluar el modelamiento físico bidimensional de una presa de tierra con filtro tipo chimenea que influye en el drenaje interno y como objetivos específicos en primer lugar determinar las características físicas y mecánicas del material que conforman el cuerpo, la cimentación y el tipo de filtro por medio de ensayos de laboratorio, luego analizar la influencia del filtro tipo chimenea en el modelamiento físico bidimensional de la presa de tierra bajo condiciones de borde y por último comparar los resultados obtenidos para evaluar la influencia del tipo de filtro mediante el método del gradiente hidráulico y el programa GeoStudio con respecto al modelo físico.

La justificación de esta investigación principalmente se basa en que las presas de tierra no cuentan con un adecuado sistema de drenaje y/o tipo de drenaje puesto que al realizar un mal diseño esto representaría un peligro latente que puede ocasionar no solo en su fundación sino también en el propio cuerpo de la presa de tierra y por ende una falla parcial ó rotura de la presa. Otro aspecto importante radica en el costo de su construcción ya que es muy bajo en comparación con otros tipos y también por los materiales que se pueden emplear pues por lo general son de la misma zona.

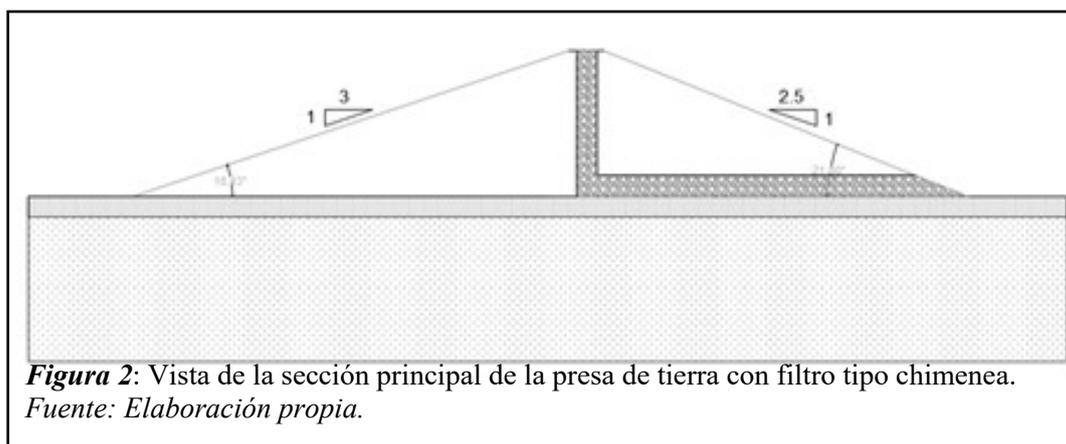
2. Materiales y Métodos

Las características de la muestra corresponden a una presa del tipo homogénea con un filtro del tipo chimenea que fueron ensayados en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad César Vallejo de la filial Chiclayo empleando un equipo denominado tanque – filtración. Las dimensiones establecidas se consideraron en función a los criterios de la ICOLD, Bureau of Reclamation, y el

Reglamento de Arizona, Las particularidades y detalles de la presa se muestran en la figura 1 y figura 2.

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA	VALOR	UND
CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO			
Ancho	Ae	: 30.00	m
Longitud	Le	: 150.00	m
CARACTERÍSTICAS DE LA CIMENTACIÓN			
Profundidad Total de Cimentación	Hc	: 24.00	m
Prof. Estrato Superior - Cimentación	Hcs	: 3.00	m
Prof. Estrato Inferior - Cimentación	Hci	: 21.00	m
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA PRESA			
Talud Aguas Arriba	m1	: 1/3.00	
Talud Aguas Abajo	m2	: 1/2.50	
Ángulo Aguas Arriba	Θ	: 18.43	deg
Ángulo Aguas Abajo	α	: 21.80	deg
Ancho de Corona	Bc	: 5.00	m
Altura de la Presa	Hp	: 21.00	m
Borde Libre(H-hs)	B1	: 4.00	m
Ancho de la Presa	Bp	: 120.5	m
Tirante Aguas Arriba (NAN)	Hs	: 17.00	m
Tirante Aguas Abajo (NAA)	Hi	: 1.70	m
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL			
Coefficiente de Permeabilidad (Arena Lavada)	kc	: 2.44E-06	m/s
Coefficiente de Permeabilidad (Arena Sin Lavar)	kb	: 6.95E-07	m/s
Coefficiente de Permeabilidad (Confitillo)	kf	: 3.61E-04	m/s

Figura 1: Características de la presa de tierra con filtro tipo chimenea.
Fuente: Elaboración propia.



Respecto a los aspectos éticos de la investigación se consideró la aplicación de los formatos para los estudios de mecánica de suelos que conformaran el cuerpo de la presa de tierra homogénea y del filtro tipo chimenea correspondientes a las normas técnicas peruanas vigentes y al ASTM. Además, se contó con base teórica actualizada y confidencial, la cual nos sirvió como guía para recopilar la información hidrogeotécnica válida para el buen desarrollo de este trabajo. En cuanto al lugar de desarrollo de los ensayos se desarrollaron en el distrito de Pimentel, provincia de Chiclayo, Región Lambayeque, Perú, durante un período de 1 año (desde enero del 2018 hasta diciembre del 2018). La investigación fue de tipo Cuantitativa – Tecnológica y el diseño correspondió de acuerdo al periodo

que se capta la investigación es prospectiva, de acuerdo a la evolución del fenómeno estudiado es longitudinal, de acuerdo a la comparación de los factores es comparativo de relación causa y efecto, de acuerdo a la interferencia del investigador es experimental, por el propósito o la finalidad perseguidos es aplicada y por el nivel o alcance con que se ha logrado los resultados es exploratorio.

En cuanto a los materiales de investigación se emplearon materiales propios de la zona de la Región Lambayeque, específicamente de la cantera Tres Tomas ubicada en la provincia de Ferreñafe, distrito de Mesones Muro, cuyos requerimientos técnicos y de diseño se ajustan a las condiciones del modelamiento físico de la presa de tierra con filtro tipo chimenea. Para las técnicas e instrumentos de recolección de la información se empleó la observación pues por medio de esta técnica se adquirieron los datos experimentales necesarios para desarrollar la investigación, así mismo se usó el análisis de documentos relacionada principalmente a artículos científicos y normas vigentes y la recopilación de datos a fin de registrar los resultados de laboratorio que incluye los ensayos de los materiales (ver figura 3), el uso del equipo tanque - filtración (ver figura 4) bajo los estándares y especificaciones técnicas de las normas del Perú y las ASTM.



3. Resultados

Las muestras de suelo se obtuvieron de la cantera Tres Tomas tal y como se muestra en la tabla 1, luego se procedió a recolectar el material que será utilizado como material para el filtro tipo chimenea de igual manera para el cuerpo de la presa homogénea y para la cimentación. En cuanto a los demás ensayos se procedió a realizarlos en primer lugar para el material que llevará el filtro (ver tabla 2).

Tabla 1

Tipo de muestras obtenidas de la cantera Tres Tomas.

Muestra de suelo	Cantera natural	Cantidad adquirida
Afirmado seleccionado	“Tres Tomas” - Ferreñafe	0.29 m ³
Confitillo	“Tres Tomas” - Ferreñafe	0.036 m ³

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2

Resultados obtenidos para el material confitillo.

Ensayo	Normativa	Parámetro	Unidad	Valores		
Análisis granulométrico	MTC E-204, AASHTO T-27, AASHTO T-88	Diámetros de las partículas	Pulgadas	3/8"	1/4"	Nº4
			%	39.60	34.70	25.70
Contenido de humedad	ASTM D 2216, MTC E 108-2000	% h.	%	0.545		
Peso unitario suelto y compactado	AASHTO T-19, ASTM C-29	Peso unitario suelto húmedo	g/cm ³	1.347		
		Peso unitario compactado húmedo	g/cm ³	1.451		
Gravedad específica y absorción	MTC E-205, E-206, AASHTO T-84, T-85	Peso específico.	g/cm ³	2.605		
		Peso específico de la masa S.S.S.	g/cm ³	2.675		
		Porcentaje de absorción	%	2.681		
Permeabilidad de suelos granulares	ASTM D-2434, NTP 339.147	Coefficiente de permeabilidad a una T° de agua de 20°C	m / s	3.601 x 10 ⁻⁴		
Corte directo	ASTM D - 3080	Ángulo de fricción	°	45.00		
		Cohesión interna	Kg/cm ²	0.00		

Fuente: Elaboración propia.

Luego de haber realizado estos ensayos para el material del filtro, éste debe cumplir ciertas condiciones ya que el agua circula a través del cuerpo de la presa ocasionando un arrastre incontrolado produciendo una posible erosión interna, es por ello que se deben verificar algunas condiciones dadas por la Bureau of Reclamation; la primera es que el filtro debe ser permeable más que el suelo que protege, en segundo lugar el filtro debe ser estable pues debe impedir el tránsito a través de él las partículas del suelo que protege y como tercera condición debe ser autoestable que se traduce en que sus propias partículas no puedan emigrar hacia afuera de él. Una vez verificada dichas condiciones se

procede a continuar con los ensayos de los demás materiales, si en caso los resultados parciales para este material hubieran sido desfavorables se escoge otro material que cumpla dichas condiciones ó en todo caso se puede hacer una combinación de materiales que cumplan con los requisitos mencionados. Ahora para caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales a emplear se continuó con los ensayos cuyos resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Resultados obtenidos para el material que conforma el cuerpo y la cimentación de la presa.

Ensayo	Normativa	Parámetro	Unidad	Cuerpo de la presa			Cimentación de la presa		
				Valores			Valores		
Análisis granulométrico	MTC E-204, AASHTO T-27,	Diámetros de las	Pulgadas %	Nº20 58.50	Nº40 31.20	Nº60 10.30	Nº10 12.20	Nº20 39.90	Nº40 28.80
Contenido de humedad	ASTM D 2216, MTC E 108-2000	% h.	%	0.705			1.802		
Peso unitario suelto y compactado	AASHTO T-19, ASTM C-29	Peso unitario suelto húmedo	g/cm3	1.478			1.471		
		Peso unitario compactado húmedo	g/cm3	1.609			1.635		
Gravedad específica y absorción	MTC E-205, E-206, AASHTO T-84, T-85	Peso específico.	g/cm3	2.582			2.585		
		Peso específico de la masa S.S.S.	g/cm3	2.643			2.648		
		Porcentaje de absorción	%	2.344			2.417		
Peso específico relativo de las partículas sólidas	ASTMD-854	Peso específico relativo de sólidos a 20°C (Gs)	g/cm3	1.530			1.88		
Proctor modificado	NTP 399.141:1999	Máxima densidad seca	g/cm3	1.935			1.576		
		Óptimo contenido de humedad	%	6.570			7.91		
Permeabilidad de suelos granulares	ASTM D-2434, NTP 339.147	Coficiente de permeabilidad a una T° de agua de 20°C	m / s	2.442 x 10 ⁻⁶			6.498 x 10 ⁻⁷		
Corte directo	ASTM D - 3080	Ángulo de fricción	°	29.90			23.90		
		Cohesión interna	Kg/cm2	0.010			0.020		

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a las características del modelo físico se consideró realizar el proceso constructivo por capas tratando de representar un proceso que sea real, además se tuvo que adicionar en la parte inferior una capa de suelo que forma parte del estrato de arena sin lavar y que tuvo por función soportar las cargas que son transmitidas por la cimentación. Esta zona, se creyó conveniente colocar un espesor de 21 centímetros. La cimentación de la parte superior de la presa que corresponde a un estrato de arena con lavado continuo se encarga de transmitir el peso del cuerpo de la presa hacia el suelo; asimismo, posee un espesor de 3.00 centímetros, dicha parte tiene por finalidad mejorar la calidad del suelo, garantizar una capacidad de soporte suficiente, aumentar la estabilidad y los asentamientos en rangos aceptables, tal y como se muestra en la figura 5, que a la vez se detalla el proceso constructivo por etapas de la presa de tierra homogénea en el equipo tanque – filtración.



Figura 5: Colocación de capas y filtro tipo chimenea para la presa de tierra homogénea.
Fuente: Elaboración propia.

La siguiente etapa del modelo físico de la presa consistió en las mediciones del flujo para lo cual fue necesario previamente tener habilitado el equipo tanque – filtración, calibrar el caudal de entrada, salida, niveles piezométricos y para lograr tal fin se fijaron puntos de control en la parte posterior del equipo (ver figura 6) y se midieron en forma consecutiva durante el llenado de agua del equipo.

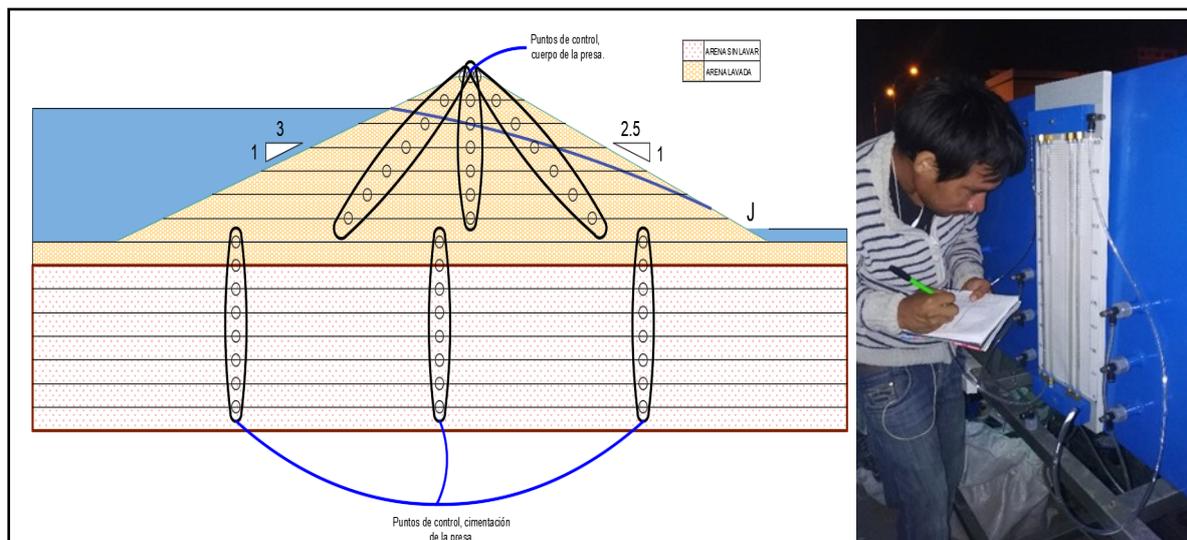
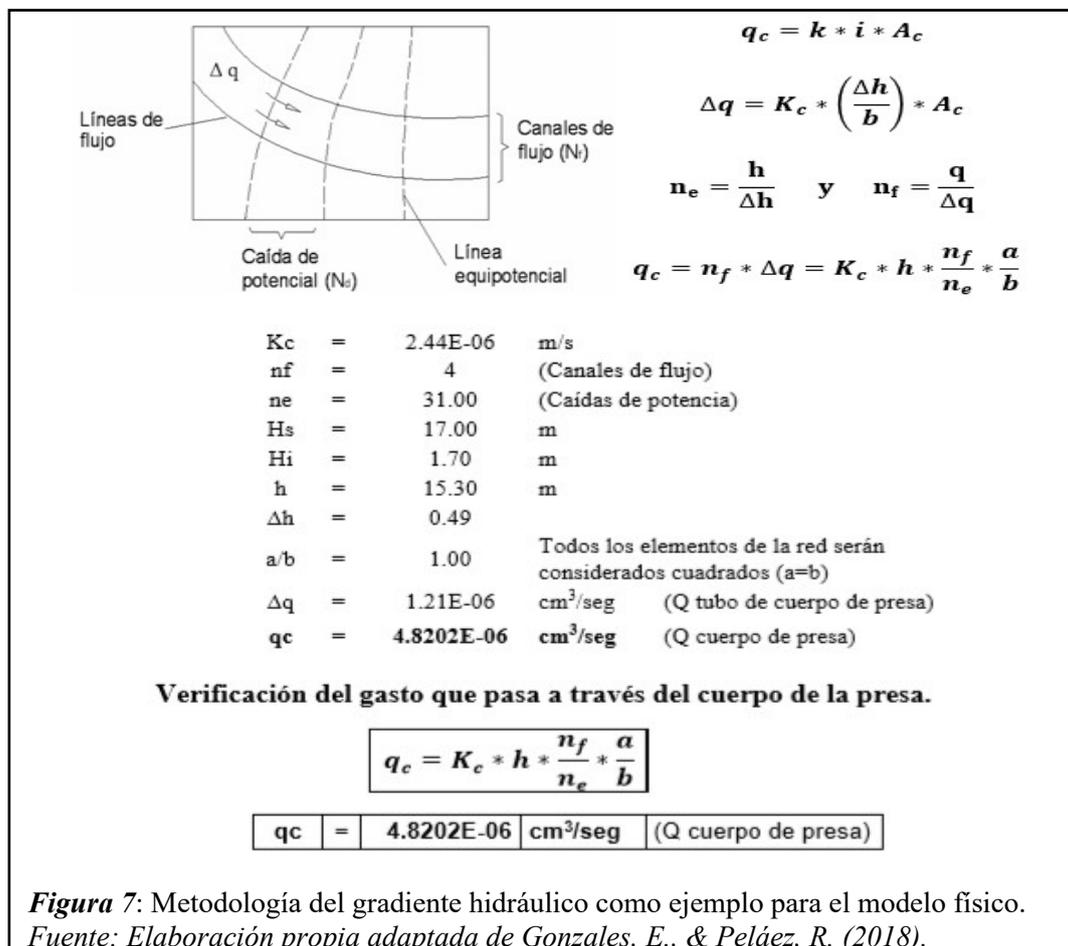


Figura 6: Puntos de control para las mediciones del flujo y niveles piezométricos.

Fuente: Elaboración propia.
Esta etapa importante consistió en conocer previamente el comportamiento hidráulico del flujo interno de la presa aplicando los conceptos del gradiente hidráulico, para ello se consideró pertinente

aplicar el procedimiento de la investigación de Gonzales, E., & Peláez, R. (2018) debido a dos criterios; el primero es debido a que el modelo propuesto por ellos fue realizado en la Región Lambayeque, Perú y el segundo criterio es que los materiales empleados fueron de similares características a los empleados por nuestra investigación. La citada investigación propone el estudio de tres teorías para la estimación del flujo interno: Dupuit, Kozeny y Casagrande; a partir de las cuales se debe estudiar el comportamiento de la línea de filtración y el caudal unitario interno desde el ingreso al cuerpo de la presa de material homogéneo hasta su salida por el filtro tipo chimenea. No se creyó conveniente lo que indica Nicu, A., Cercel, P., & Florea, N. (2016) que emplea el criterio de Numerov, pues en la citada investigación la infiltración está asociada a un comportamiento sólo horizontal.

Según Gonzales, E., & Peláez, R. (2018) indican que: “Esta metodología parte del principio que Henri Philibert Gaspar Darcy (1856) propuso para calcular el caudal pasante a través de un suelo, para ello incluye parámetros como: la permeabilidad hidráulica del suelo (k), el gradiente hidráulico (i) y la región de estudio (A). Si a dicho postulado se lo adecua lo establecido en la teoría de Laplace (flujo bidimensional en un medio isotrópico compuesto por dos familias ortogonales de curvas); se encontrará en función a los canales de flujo (Nf) y las caídas de potencia (Ne) que en combinación reciben el nombre de “Red de flujo”, lo cual permite calcular el gasto que pasa a través de un canal de flujo”. El esquema que se plantea se resume en lo indicado en la figura 7, que incluye los cálculos teóricos para la presente investigación.



De esta manera se van graficando los resultados de los cálculos para la línea de filtración ó saturación del caudal de ingreso al cuerpo de la presa y se tabulan las coordenadas de dicha línea (ver figura 8), obteniéndose un valor de $1.719 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ que corresponde a la suma del caudal que ingresó al cuerpo de la presa y a la cimentación.

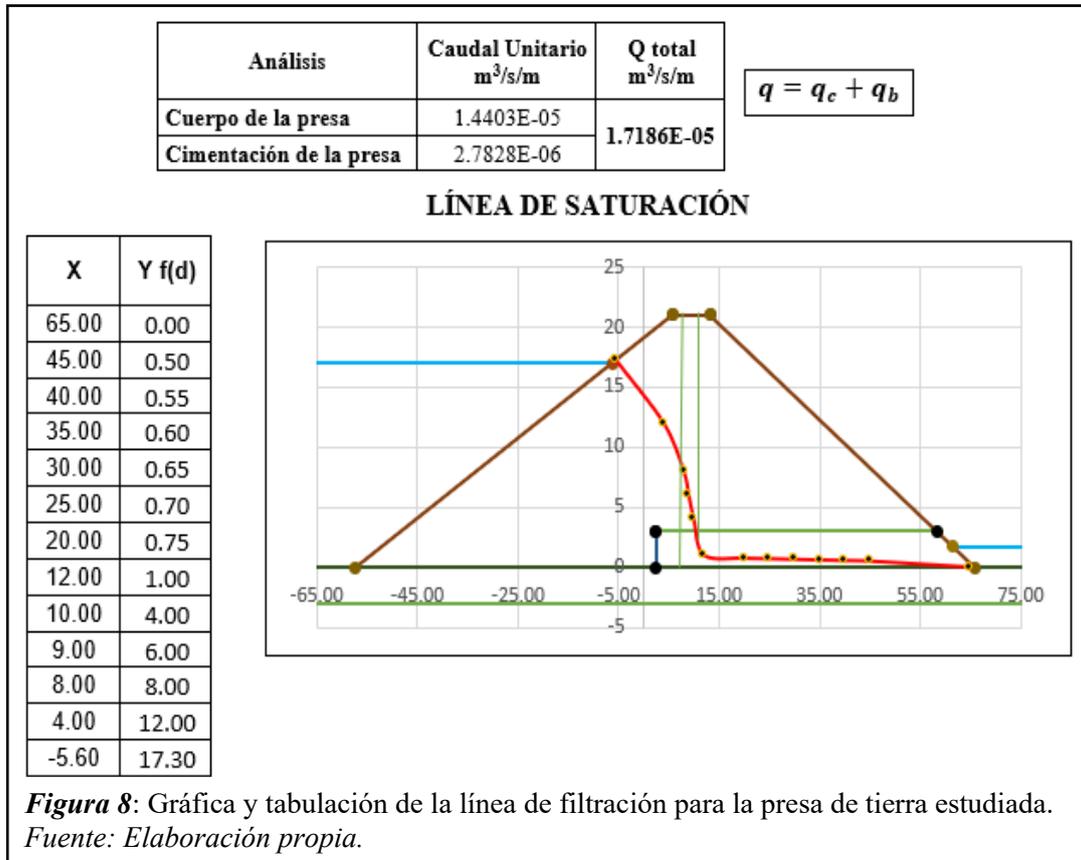


Figura 8: Gráfica y tabulación de la línea de filtración para la presa de tierra estudiada.
Fuente: Elaboración propia.

La siguiente etapa correspondió a la realización del modelamiento numérico para analizar la influencia del filtro tipo chimenea en la presa de tierra homogénea. Este proceso nos llevó a determinar tres características importantes; la primera que consiste en el análisis de estabilidad de taludes tanto aguas arriba como aguas abajo, la segunda en determinar el caudal de filtración a partir de la generación de líneas equipotenciales y flujo y como tercer aspecto fue el de establecer líneas de flujo para las condiciones geométricas, geotécnicas e hidráulicas del modelo. En cuanto a la primera característica del modelamiento numérico se empleó el software GeoStudio v.2016 que permitió emplear los métodos de Morgenstern & Price, Spencer y Janbu simplificado, todos ellos aplicables para el análisis de estabilidad de taludes. Este análisis comprendió tanto aguas arriba como aguas abajo, así como también en condición vacía (ver figura 9 y 10) y condición llena (ver figura 11 y 12).

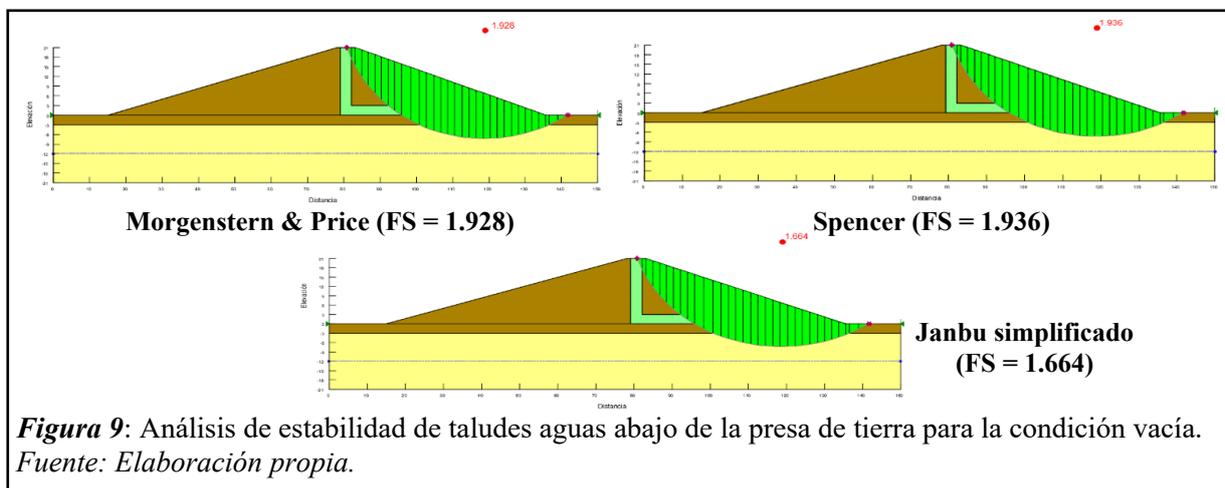
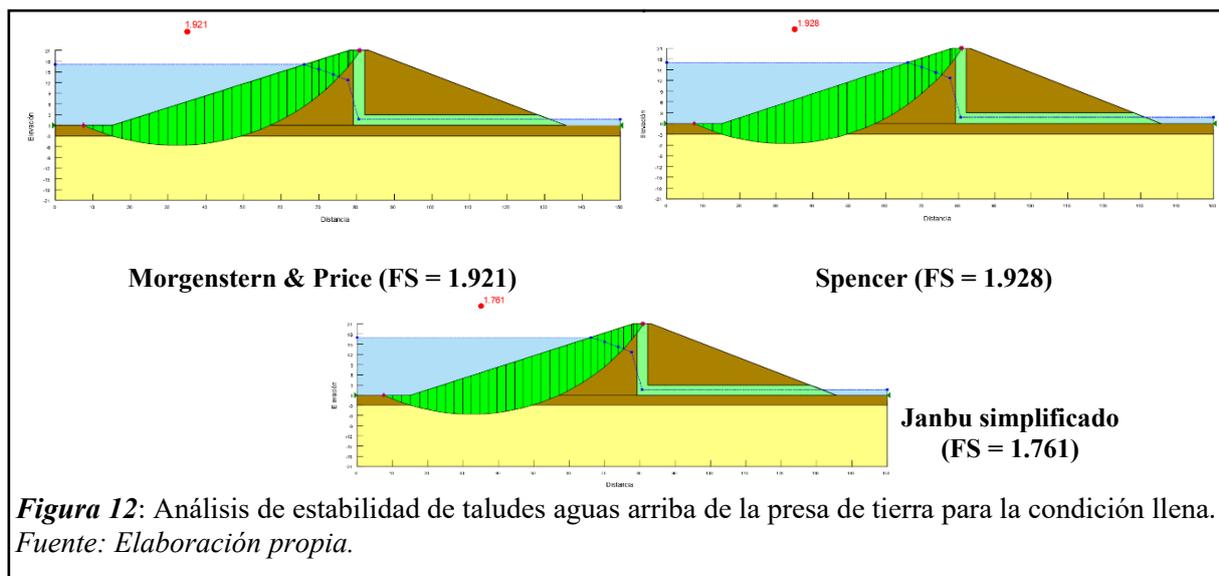
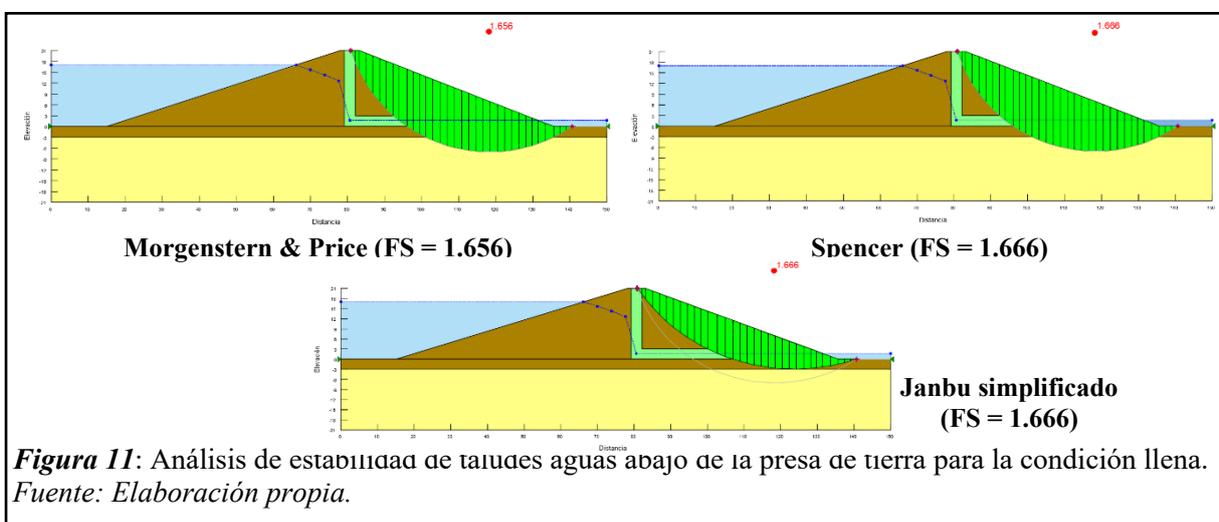
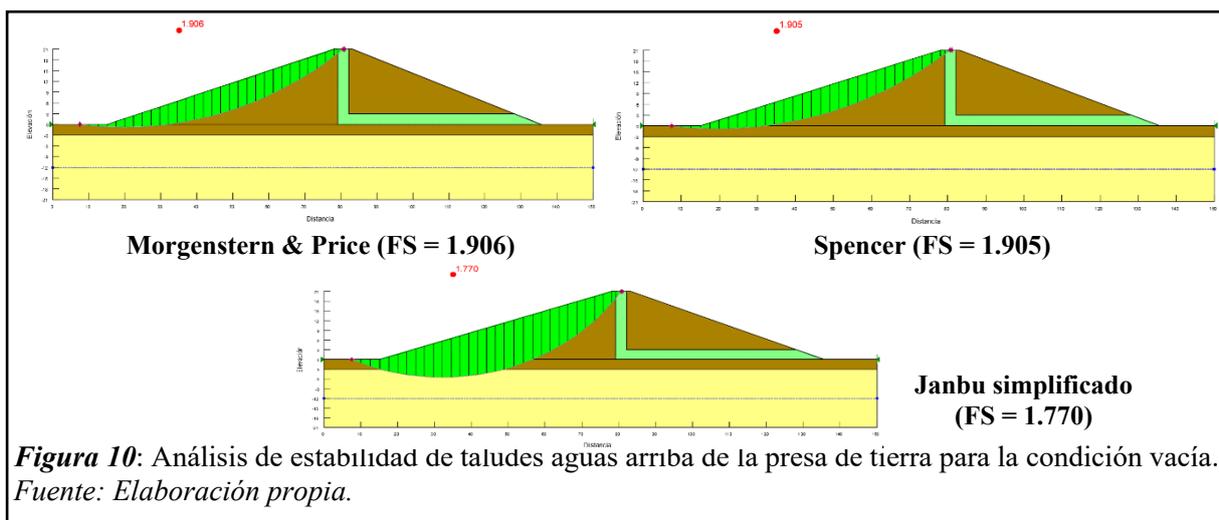


Figura 9: Análisis de estabilidad de taludes aguas abajo de la presa de tierra para la condición vacía.
Fuente: Elaboración propia.



De los resultados obtenidos de los factores de seguridad para el programa GeoStudio v.2016 se puede deducir que los factores de seguridad más cercanos entre si son los métodos de Morgenstern & Price y Spencer, los cuales en todos los casos nos da valores por encima de 1.50 lo cual estaría cumpliendo la presa de tierra con todas las posibles condiciones de funcionamiento. De la misma

manera se realizó el análisis de estabilidad de taludes con el programa Slide v.5.0, que permitió emplear los métodos de Fellenius, Bishop simplificado, Janbu simplificado y Spencer. Este análisis comprendió tanto aguas arriba como aguas abajo, así como también en condición vacía (ver figura 13 y 14) y condición llena (ver figura 15 y 16).

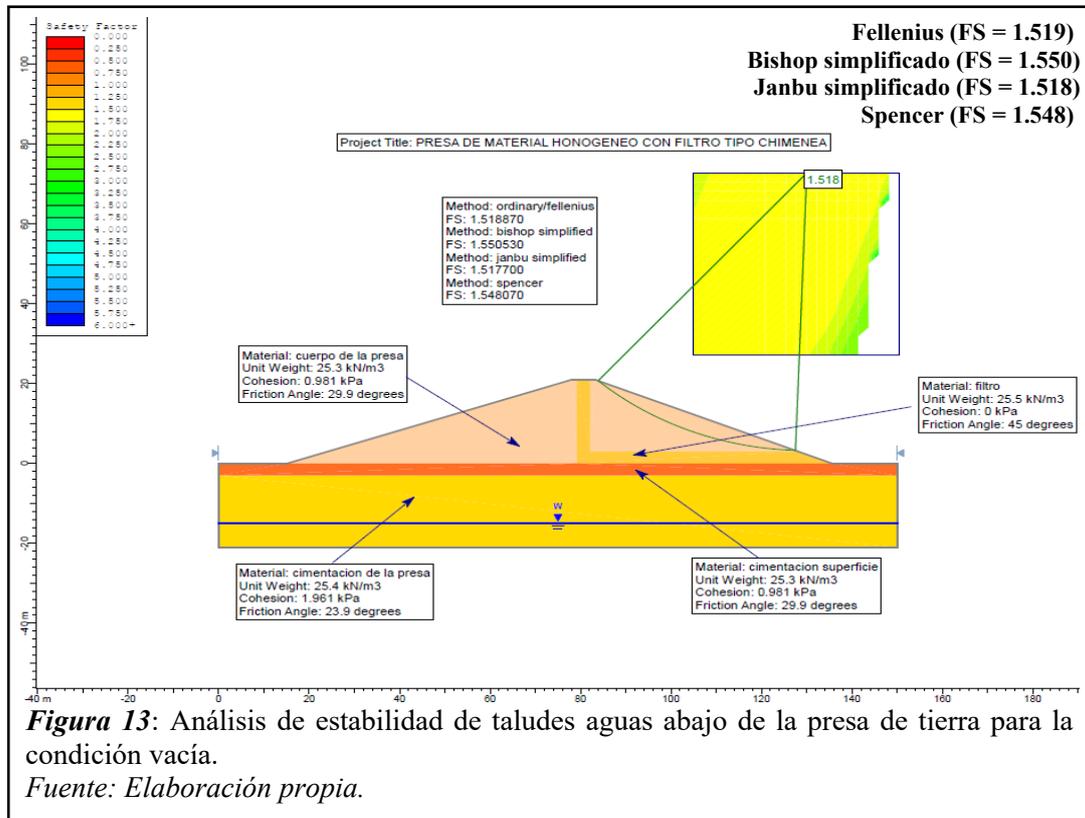


Figura 13: Análisis de estabilidad de taludes aguas abajo de la presa de tierra para la condición vacía.

Fuente: Elaboración propia.

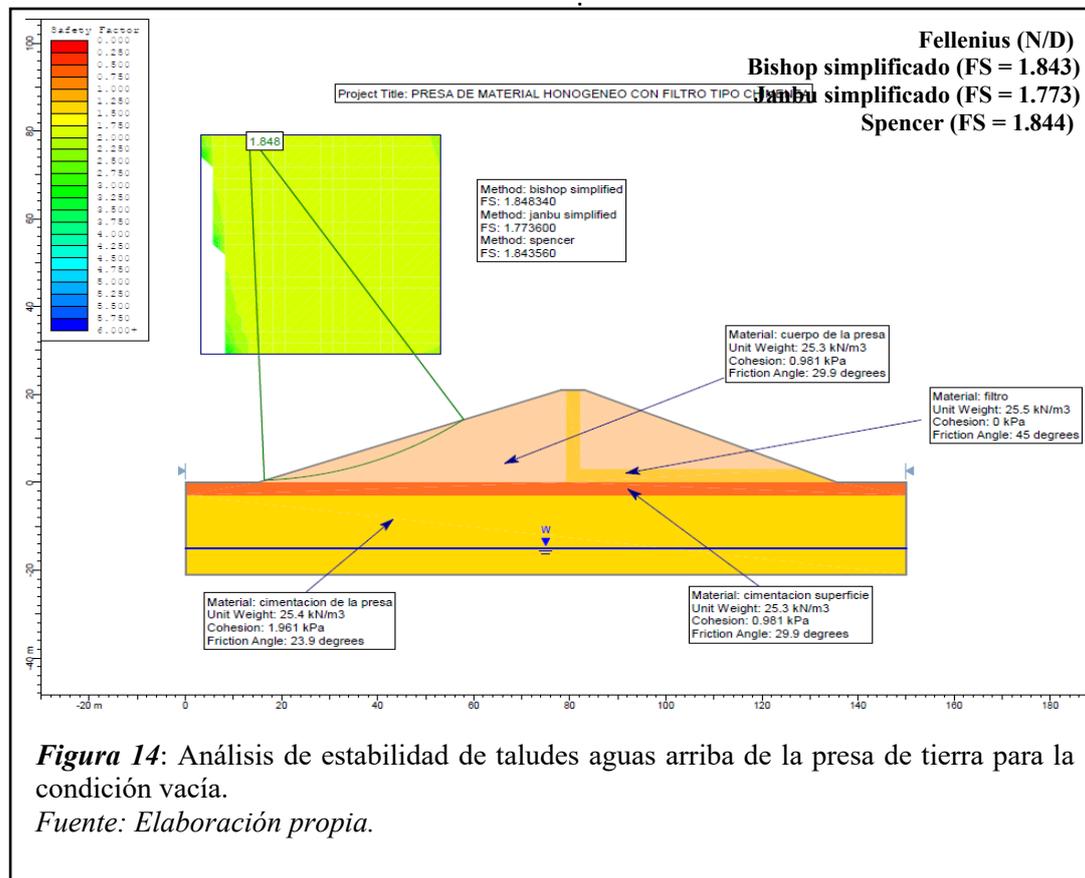


Figura 14: Análisis de estabilidad de taludes aguas arriba de la presa de tierra para la condición vacía.

Fuente: Elaboración propia.

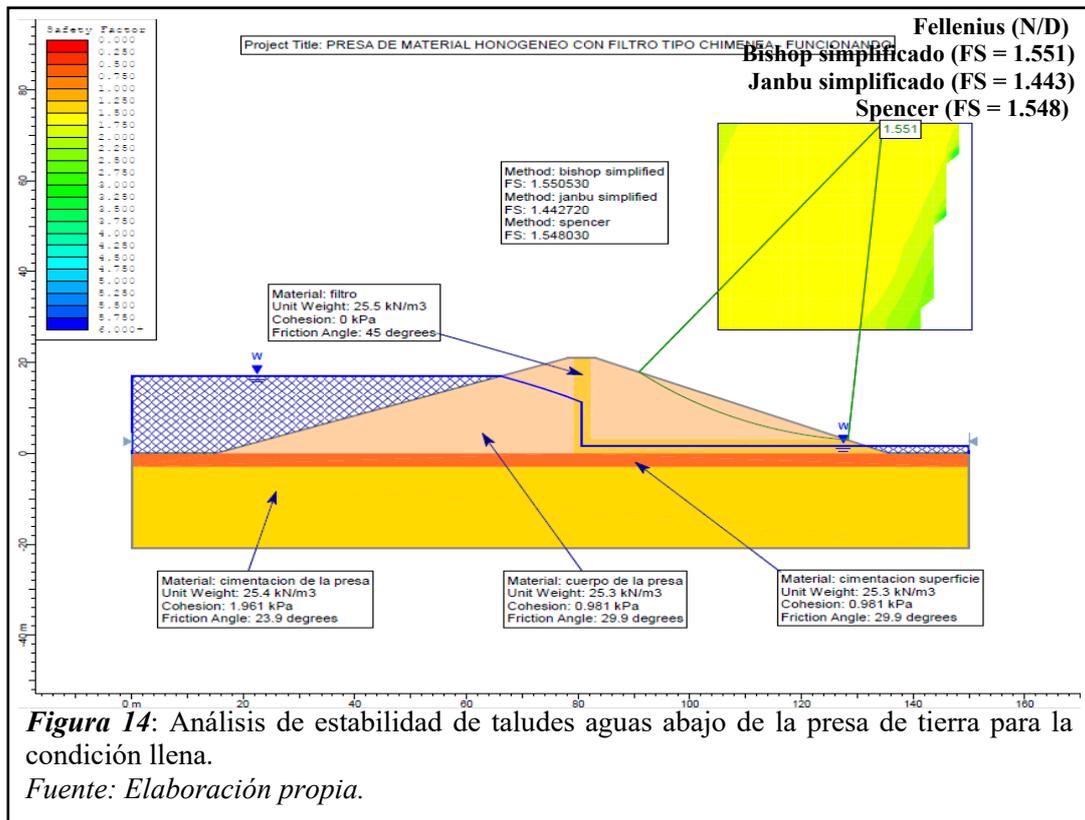


Figura 14: Análisis de estabilidad de taludes aguas abajo de la presa de tierra para la condición llena.

Fuente: Elaboración propia.

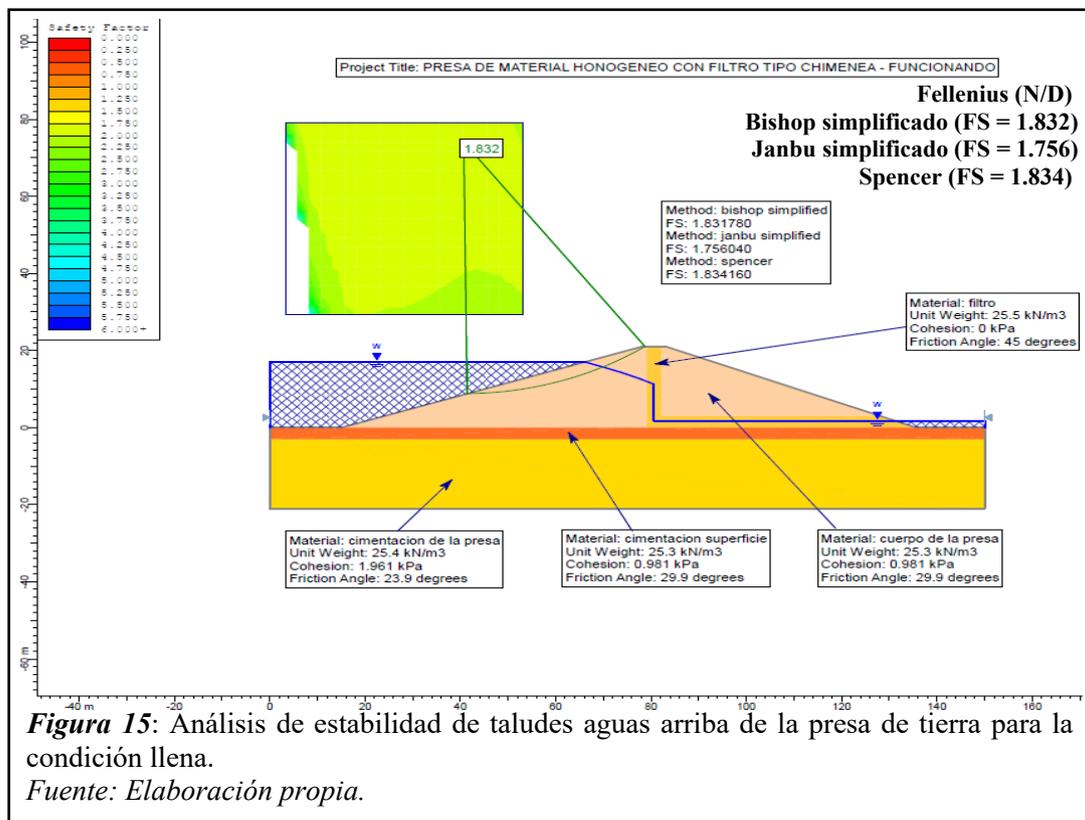
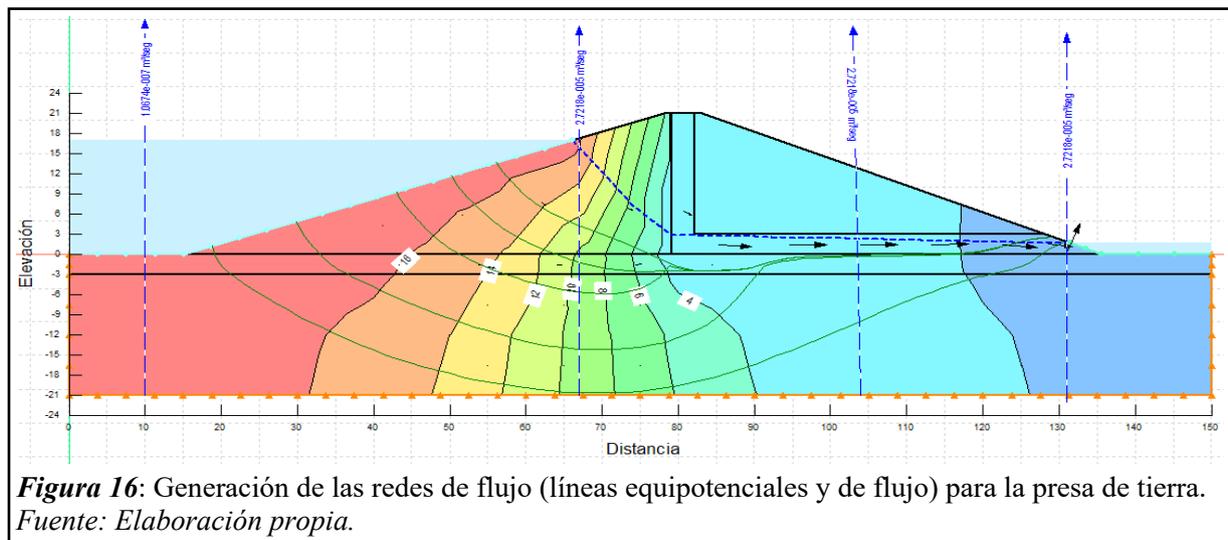


Figura 15: Análisis de estabilidad de taludes aguas arriba de la presa de tierra para la condición llena.

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos de los factores de seguridad para el programa Slide v.5.0 se puede deducir que los factores de seguridad más cercanos entre sí son los métodos de Bishop modificado y Spencer, los cuales en todos los casos nos da valores por encima de 1.50 lo cual estaría cumpliendo la presa de tierra con todas las posibles condiciones de funcionamiento.

Para la segunda y tercera característica en determinar el caudal de filtración a partir de la generación de líneas equipotenciales y de flujo (denominadas en conjunto como redes de flujo) y la caracterización geotécnica e hidráulica, se establecieron ciertas condiciones de borde en este caso se condicionaron los contornos de la presa de tierra homogénea que están sometidos a la presión del agua y los límites según la geometría de la presa de tierra homogénea con filtro tipo chimenea (ver figura 16) obteniéndose luego el caudal de infiltración de salida. Cabe señalar que también se obtuvieron los caudales de filtración a lo largo del trayecto de la línea de saturación, los cuales confirman que, a mayor longitud de avance del caudal de infiltración mayor será el valor de descarga; es decir comienza con un caudal de $1.064 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ y llega hasta un valor de $2.712 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.



Realizado finalmente este análisis se determinaron las condiciones óptimas del material que se usó en el modelo físico para validar con cierto porcentaje de correlación los resultados finales que se muestran en la tabla 4 y 5. Para la validación de los porcentajes de compactación tanto de laboratorio como de los medidos con el equipo tanque – filtración se obtuvo un coeficiente de correlación y/o certeza de $R^2 = 0.7258$ y para las máximas densidades secas se obtuvo un $R^2 = 0.7825$; este análisis se basó en considerar los valores promedio en cada capa tomando como criterio de exclusión al valor más alto y el valor más bajo.

Tabla 4

Comparación por cada capa de los porcentajes de compactación y máximas densidades secas.

Nº de capa	% de compactación promedio por capa obtenida en laboratorio	% de compactación promedio por capa promedio en el equipo tanque - filtración	Máxima densidad promedio seca obtenida en laboratorio (g/cm^3)	Máxima densidad promedio seca obtenida en equipo tanque - filtración (g/cm^3)
1	99.85	99.56	2.015	2.007
2	99.80	99.54	2.005	1.997
3	99.83	99.45	2.055	2.012
4	99.81	99.56	2.041	2.008
5	99.95	99.89	2.001	1.995
6	99.75	99.45	1.998	2.000

7	99.82	99.67	2.020	2.005
---	-------	-------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5

Comparación de los caudales de infiltración a la salida del filtro tipo chimenea.

Método de obtención del resultado	Métodos de análisis	Caudal unitario promedio (m ³ /s/m)	Caudal unitario (cm ³ /s/m)	Factor de conversión de escala 1/100	Caudal unitario escalado (cm ³ /s/m)	Caudal de infiltración total escalado (cm ³ /s/m)
Gradiente hidráulico	Kozeny ($\alpha=180^\circ$)	1.719 x 10 ⁻⁵	17.19	10 ⁻²	0.17	5.16
Programa GeoStudio	Modelo numérico	2.712 x 10 ⁻⁵	27.12	10 ⁻²	0.27	8.14
Equipo tanque - filtración	Modelo físico	----	----	----	0.32	8.68

Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión

A pesar de que se tengan muy pocas investigaciones y sobre todo poco actuales respecto al uso de filtros tipo chimenea en presas de tierra homogéneas tanto a nivel de laboratorio y en construcciones existentes excepto la investigación de Gonzales, E., & Peláez, R. (2018) que sustenta la mayor parte de nuestros métodos, materiales y resultados; se ha tratado de contrastar algunas investigaciones similares que han empleado algunos de los ensayos de laboratorio y programas que se han utilizado en la presente investigación. Así pues para Fattah, M. Y., Omran, H. A., and Hassan, M. A. (2017), Llanque Ayala, G. R., da Silva Filho, F. C., Ferreira Leme, R., Reis Cavalcanti, M. do C., & Fernando Mahler, and C. (2020) y Ye, W., Ma, F., Hu, J., & Li, Z. (2018) indican que además de evaluarse las condiciones de diseño de una presa de tierra y el sistema de drenaje; debe conocerse las condiciones del vaciado rápido para determinar en gran medida las propiedades del suelo cuando éste va perdiendo saturación, cambio volumétrico y variación de la permeabilidad y conductividad hidráulica, así mismo la disposición de la forma del drenaje y el espesor del filtro dentro del cuerpo de la presa son factores influyentes en el comportamiento geotécnico e hidráulico a corto y mediano plazo.

Para Flores Berenguer, I., Castro Martínez, I., García Tristán, J., & González Haramboure, Y. (2019) señalan que son importantes dichas propiedades y que deben también considerarse si el cuerpo de la presa y la cimentación presenta cierta cantidad de finos, lo cual para la presente investigación no se estudió debido a que el laboratorio de mecánica de suelos no contaba con el equipo de consolidación unidimensional durante la ejecución de nuestra investigación. Finalmente, en cuanto a la estabilidad de taludes, según Llanque, G. R. A. (2018) indica que es muy importante la estabilidad de taludes bajo las diferentes condiciones del comportamiento de una presa de tierra, dicho aspecto fue muy relevante para el desarrollo de la presente investigación puesto que coincide en el análisis realizado para la presa de tierra con filtro tipo chimenea para un factor de seguridad aceptable en todos los casos de funcionamiento de 1.50.

5. Conclusiones

Se determinaron las características físicas y mecánicas de los materiales del cuerpo, cimentación y filtro realizando para ello los ensayos de laboratorio respectivos en la Universidad César Vallejo – Filial Chiclayo y los materiales han sido extraídos de la cantera Tres Tomas los cuales fueron sometidos a un proceso previo de tamizado por medio de un análisis granulométrico y luego por un lavado continuo con lo que se puede concluir que los materiales usados presentan muy buenas

condiciones para el diseño geotécnico e hidráulico, así como para la construcción de una presa de tierra con filtro tipo chimenea en la Región Lambayeque.

Se analizó la influencia del filtro tipo chimenea en el modelamiento físico bidimensional de la presa de tierra bajo condiciones de borde, esto nos condujo previamente a analizar la estabilidad de taludes que en todos los casos de funcionamiento cumple y luego a la estimación del caudal de filtración según el trayecto de la línea de infiltración los cuales son compatibles con el modelamiento numérico realizado permitiendo de esta manera optimizar los controles de compactación y máxima densidad seca.

Se compararon los resultados obtenidos para evaluar la influencia del tipo de filtro mediante el método del gradiente hidráulico y el programa GeoStudio con respecto al modelo físico obteniéndose valores muy cercanos a la realidad descartando según los resultados obtenidos el método del gradiente hidráulico para presas de tierra homogéneas con filtro tipo chimenea y del tipo vertical.

6. Referencias

- Fattah, M. Y., Omran, H. A., and Hassan, M. A. (2017). Flow and stability of AIWand earth dam during rapid drawdown of water in reservoir. *Acta Montanistica Slovaca*, 22(1), 4357.
- Flores Berenguer, I., Castro Martínez, I., García Tristán, J., & González Haramboure, Y. (2019). Influencia de la permeabilidad del suelo no saturado en los taludes de presas de tierra. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(3), 86–100. Obtenido de <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/494/397>
- García Tristán, J., Cobelo Cristiá, W. D., & Quevedo Sotolongo, G. J. (2016). Relación entre tiempo de consolidación y permeabilidad no saturada en presas de tierra. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(2), 94–107. Obtenido de <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/338/285>
- Gonzales, E., & Peláez, R. (2018). Influencia de la longitud de diseño del sistema de drenaje tipo horizontal para un modelamiento físico bidimensional en presas de material homogéneo no cohesivo y compactado. *Revista Científica Tzhoecoén*, 10(2), 335-349. <https://doi.org/10.26495/rtzh1810.226923>
- Llanque Ayala, G. R., da Silva Filho, F. C., Ferreira Leme, R., Reis Cavalcanti, M. do C., & Fernando Mahler, and C. (2020). Rapid drawdown in homogeneous earth dam considering transient flow and suction. *Revista Ingeniería e Investigación*, 40(1), 17–26. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v40n1.80002>
- Llanque, G. R. A. (2018). Verificação da estabilidade do talude de montante em barragem de terra submetida a rebaixamento rápido realizada com ensaios em solos não saturados e modelagem numérica. (Master's thesis), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil. Obtenido de <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/31763>
- Nicu, A., Cercel, P., & Florea, N. (2016). Considerations regarding the level of infiltrations at an earth dam with a drainage mat case study: Mileanca dam. *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi - Construction & Architecture Section*, 66(4), 27–37.
- Ye, W., Ma, F., Hu, J., & Li, Z. (2018). Seepage Behavior of an Inclined Wall Earth Dam under Fluctuating Drought and Flood Conditions. *Geofluids*, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2018/4734138>