



ANEXO 1

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CON EL FINANCIAMIENTO DEL FEDU

1. Título del proyecto

**ESTABILIDAD FISICA DE TALUD EN GRAVAS AURÍFERAS DEL
YACIMIENTO LIMATA - ANANEA**

2. Área de Investigación

Área de investigación	Línea de Investigación	Disciplina OCDE
	GEOLOGÍA, MINAS Y METALURGIA	

3. Duración del proyecto (meses)

12 MESES

4. Tipo de proyecto

Individual	<input checked="" type="checkbox"/>
Multidisciplinario	<input type="checkbox"/>
Director de tesis pregrado	<input type="checkbox"/>

4. Datos de los integrantes del proyecto

Apellidos y Nombres	AQUINO ALANOCA ESTEBAN
Escuela Profesional	INGENIERÍA DE MINAS
Celular	951970346
Correo Electrónico	eaquino@unap.edu.pe; eaquino2019@gmail.com

- I.** Título (El proyecto de tesis debe llevar un título que exprese en forma sintética su contenido, haciendo referencia en lo posible, al resultado final que se pretende lograr. Máx. palabras 25)

**ESTABILIDAD FISICA DE TALUD EN GRAVAS AURÍFERAS DEL YACIMIENTO
LIMATA ANANEA**

- II.** Resumen del Proyecto de Tesis (Debe ser suficientemente informativo, presentando -igual que un trabajo científico- una descripción de los principales puntos que se abordarán, objetivos, metodología y resultados que se esperan)

[Empty box for summary]

El presente proyecto de investigación titulado estabilidad física de talud en gravas auríferas



del yacimiento Limata Ananea, corresponde al trabajo de investigación referido al análisis de estabilidad física de talud utilizando un modelo de variables aleatorias para caracterizar los parámetros resistentes. Para la generación de valores de las variables aleatorias se utilizará la simulación la cual además permite la evaluación simultánea de la estabilidad del talud en términos de factor de seguridad, probabilidad de falla e índice de confiabilidad. Los resultados esperados de esta metodología tienden a ser más conservadores, considerándose bastante riesgoso la utilización de factores de seguridad medios para evaluar la estabilidad cuando se considera la variabilidad de las propiedades de la grava. Basándose en datos de investigaciones geotécnicas de campo y de laboratorio este estudio busca demostrar la aplicación de técnicas simulación para evaluar la estabilidad y potencial falla de taludes en gravas auríferas fluvioglaciares del yacimiento Limata, ubicada en el distrito minero de Ananea. Usando un método de equilibrio límite e incorporando explícitamente la variabilidad de las propiedades de resistencia al corte de la grava a través del uso de datos generados por la simulación, los resultados esperados consisten en determinar la estabilidad física de talud en términos de factor de seguridad, probabilidad de falla y el índice de confiabilidad.

III. Palabras claves (Keywords) (Colocadas en orden de importancia. Máx. palabras: cinco)

Grava aurífera, caracterización geotécnica, estabilidad de taludes, factor de seguridad, probabilidad de falla.

IV. Justificación del proyecto (Describa el problema y su relevancia como objeto de investigación. Es importante una clara definición y delimitación del problema que abordará la investigación, ya que temas cuya definición es difusa o amplísima son difíciles de evaluar y desarrollar)

En muchas obras de ingeniería civil y operaciones mineras se necesita ejecutar taludes temporales y permanentes, por ejemplo, en excavaciones para edificios, cortes abiertos para carreteras, excavaciones mineras a tajo abierto, explotaciones de grava aurífera, etc. Por lo tanto, es de interés evaluar la estabilidad de taludes para detectar posibles fallas por deslizamiento. El método de diseño determinístico comúnmente utilizado en ingeniería geotécnica se caracteriza por tener una gran incertidumbre de las variables consideradas. Las propiedades del suelo o grava varían de una ubicación a otra y también pueden cambiar con el tiempo, de modo que la información obtenida para una ubicación no asegura la información en ningún otro lugar. La incertidumbre también surge de la estimación de la propiedad de resistencia al corte del suelo in-situ (cohesión y ángulo de fricción interna) basada en los resultados de ensayos de laboratorio. En tales ensayos, las



condiciones reales del terreno no siempre pueden ser reproducidas perfectamente, por ejemplo, por los cambios en el sistema de carga, perturbaciones durante el muestreo, anisotropía, presión de poros, etc. Luego, el método determinístico, para hacer frente a esta gama de incertidumbres aplica factores de seguridad de diseño, los que dependiendo del caso pueden ser parciales o globales. Desde 1975 en adelante se han desarrollado métodos probabilísticos complementarios al método determinístico para evaluar la estabilidad de taludes. El método determinístico se basa en minimizar el factor de seguridad en un rango de potenciales superficies de falla, determinando así la superficie del factor de seguridad mínimo, conocida como la superficie de deslizamiento crítica. Por otro lado, un método probabilístico comúnmente usado determina la confiabilidad de un talud basándose en el cálculo de la probabilidad de falla e índice de confiabilidad, correspondientes a la superficie de deslizamiento crítica. El análisis probabilístico también puede ser realizado para superficies de deslizamiento arbitrarias, es decir, considerando diferentes superficies específicas de deslizamiento no asociadas con el factor de seguridad o índice de confiabilidad mínimos.

V. Antecedentes del proyecto (Incluya el estado actual del conocimiento en el ámbito nacional e internacional. La revisión bibliográfica debe incluir en lo posible artículos científicos actuales, para evidenciar el conocimiento existente y el aporte de la Tesis propuesta. Esto es importante para el futuro artículo que resultará como producto de este trabajo)

Cho, S. (2007), en su artículo de investigación establece que el análisis de estabilidad de taludes es un problema de ingeniería geotécnica caracterizado por muchas fuentes de incertidumbre. Algunas de las incertidumbres están relacionadas con la variabilidad de las propiedades del suelo involucradas en el análisis. En este artículo, se presenta un procedimiento numérico para un análisis probabilístico de estabilidad de taludes basado en una simulación de Monte Carlo que considera la variabilidad espacial de las propiedades del suelo. El enfoque adopta el método de confiabilidad de primer orden para determinar la superficie de falla crítica y realizar análisis preliminares de sensibilidad. La función de rendimiento fue formulada por el método de equilibrio límite de Spencer para calcular el índice de confiabilidad definido por Hasofer y Lind. Como ejemplos, se realizaron evaluaciones probabilísticas de estabilidad para estudiar los efectos de la incertidumbre debido a la variabilidad de las propiedades del suelo en la estabilidad de taludes en pendientes en capas. Los ejemplos proporcionan información sobre la aplicación del tratamiento de la incertidumbre a la estabilidad del talud y muestran la importancia de la variabilidad espacial de las propiedades del suelo con respecto al resultado de una evaluación probabilística.



El-Ramly et al (2002), en su artículo de investigación concluye, el impacto de la incertidumbre sobre la confiabilidad del diseño de la pendiente y la evaluación del desempeño es a menudo significativo. La práctica convencional de la pendiente basada en el factor de seguridad no puede abordar explícitamente la incertidumbre, comprometiendo así la adecuación de las proyecciones. Las técnicas probabilísticas son medios racionales para cuantificar e incorporar la incertidumbre en talud. En el análisis y diseño se desarrolla un enfoque de hoja de cálculo para el análisis probabilístico de estabilidad de taludes. La metodología es basado en la simulación de Monte Carlo utilizando el software familiar y fácilmente disponible, Microsoft® Excel 97 y @Risk. El análisis explica la variabilidad espacial de las variables de entrada, la incertidumbre estadística debida a datos limitados, y sesgos en los factores empíricos y las correlaciones utilizadas. El enfoque es simple y se puede aplicar en la práctica con poco esfuerzo más allá de lo necesario en un análisis convencional. La metodología se ilustra mediante una pendiente probabilística. Análisis de los diques del proyecto hidroeléctrico James Bay. Los resultados se comparan con los obtenidos usando método de primer orden de segundo momento, y se destacan los conocimientos prácticos obtenidos a través del análisis.

Fernández W. et al (2018), en su artículo de investigación concluye los resultados obtenidos mediante la evaluación probabilística corroboran la relación existente entre la altura y la inclinación de un talud con la inestabilidad global de un talud. Mientras más inclinado sea el talud, existirá una mayor inestabilidad y a la vez mayor probabilidad de falla. Esta misma analogía es aplicable respecto a la altura del talud.

En Chile, el valor del factor de seguridad mínimo utilizado para el diseño de taludes está en un rango de 1,40 y 1,50. Dentro de los casos analizados, para las configuraciones que cumplían con este requisito, se observa que su probabilidad de falla era inferior al 3%, cumpliendo con la probabilidad de falla aceptable propuestos por Dell Avanci y Sayao (1998). De la curva de probabilidad e índice de confiabilidad, se observa que la relación entre ambos parámetros sigue perfectamente una distribución normal estándar hasta un índice de confiabilidad cercano a 2,0. Por lo tanto, para casos de estudio en que la probabilidad de falla máxima sea inferior a 5% se debe tener en consideración que, para valores bajos de probabilidad de falla, la variación del índice de confiabilidad será pequeña.

El análisis probabilístico es una buena herramienta aplicable en la actualidad gracias al avance de la tecnología, y con la ventaja de incluir la incertidumbre de la naturaleza en problemas determinísticos. El uso de ambas metodologías será beneficioso para la



ingeniería geológica y geotécnica no solo para la elección de un adecuado factor de seguridad, sino que también se ampliará la visión para abordar estos problemas, aumentando la cantidad de factores implicados en el análisis, mejorando la toma de decisiones. Sin embargo, se debe tener cuidado con las simplificaciones utilizadas en el análisis probabilístico, que puede llegar a subestimar la probabilidad de falla de un talud. El nuevo desafío en esta materia radica en la determinación del riesgo aceptable; es decir, definir cuál es la probabilidad de falla aceptable para evaluar la estabilidad de un talud o estructura, y qué criterios se deben usar para definirla.

Suchomel R. & Masi D. (2016), En el trabajo de investigación se evalúan tres métodos probabilísticos de diferente complejidad para los cálculos de estabilidad de taludes con respecto a un estudio de caso bien documentado de falla de taludes en Lodalen, Noruega. Un método de elementos finitos que considera campos espaciales aleatorios de parámetros no correlacionados c (cohesión) y (ϕ) (ángulo de fricción) se toma como referencia para la comparación con dos métodos más simples basados en la expansión de la serie Taylor, conocidos como métodos de primer orden de segundo momento (FOSM). Se muestra que el método FOSM mejorado por una reducción de la varianza de los parámetros de entrada debido al promedio espacial a lo largo de la superficie de falla potencial (método FOSM extendido) conduce a una mejora significativa en las predicciones en comparación con el método FOSM básico. Este método es computacionalmente económico y puede usarse en combinación con cualquier código de elementos finitos existente, por lo tanto, es un método probabilístico aproximado útil para la práctica geotécnica. Se identifican varias limitaciones del método FOSM extendido para calcular la probabilidad de una falla de talud.

Yu Wang et al (2016), en su artículo de investigación establece el método de simulación Monte Carlo (MCS) se ha utilizado ampliamente en el análisis probabilístico de la estabilidad de taludes, y proporciona una forma sólida y simple de evaluar la probabilidad de falla. Sin embargo, el método MCS no ofrece información sobre las contribuciones relativas de varias incertidumbres (por ejemplo, la variabilidad espacial inherente de las propiedades del suelo y la estratigrafía subsuperficial) a la probabilidad de falla y adolece de una falta de resolución y eficiencia en niveles de probabilidad pequeños. Este artículo desarrolla un enfoque de análisis probabilístico de fallas que hace uso de las muestras de fallas generadas en el MCS y analiza estas muestras de fallas para evaluar los efectos de varias incertidumbres sobre la probabilidad de fallas en pendientes. El enfoque contiene dos componentes principales: pruebas de hipótesis para priorizar los efectos de diversas incertidumbres y análisis bayesiano para cuantificar aún más sus efectos. Las ecuaciones se derivan para las pruebas de hipótesis y el análisis bayesiano. El análisis probabilístico de



fallas requiere una gran cantidad de muestras de fallas en MCS, y se emplea una simulación avanzada de Monte Carlo llamada Subset Simulation para mejorar la eficiencia de generar muestras de fallas en MCS. Como ilustración, el enfoque de análisis de falla probabilístico propuesto se aplica para estudiar un escenario de diseño de James Bay Dyke. Las pruebas de hipótesis muestran que la incertidumbre de la resistencia al cizallamiento no drenada de la arcilla lacustre tiene el efecto más significativo sobre la probabilidad de falla de la pendiente, mientras que la incertidumbre del espesor de la corteza de arcilla es la que menos contribuye. El efecto del primero se cuantifica aún más mediante un análisis bayesiano. Tanto los resultados de las pruebas de hipótesis como los resultados del análisis bayesiano se validan contra estudios de sensibilidad independientes. Se muestra que el análisis de fallas probabilísticas proporciona resultados equivalentes a los de estudios de sensibilidad adicionales, pero tiene la ventaja de evitar tiempos y esfuerzos computacionales adicionales para corridas repetidas de MCS en estudios de sensibilidad.

VI. Hipótesis del trabajo (Es el aporte proyectado de la investigación en la solución del problema)

El análisis de estabilidad física de taludes en gravas auríferas del yacimiento Limata - Ananea, permitirá determinar un factor de seguridad y probabilidad de falla aceptable.

VII. Objetivo general

Analizar la estabilidad física de taludes en gravas auríferas del yacimiento Limata – Ananea, mediante caracterización geotécnica de la grava

VIII. Objetivos específicos

- a) Realizar la caracterización geotécnica de los parámetros resistentes de la grava aurífera
- b) Evaluar la estabilidad física de talud en términos de factor de seguridad.
- c) Determinar la probabilidad de falla.

IX. Metodología de investigación (Describir el(los) método(s) científico(s) que se empleará(n) para alcanzar los objetivos específicos, en forma coherente a la hipótesis de la investigación. Sustentar, con base bibliográfica, la pertinencia del(los) método(s) en términos de la representatividad de la muestra y de los resultados que se esperan alcanzar. Incluir los análisis estadísticos a utilizar)

Se realizará un estudio de tipo descriptivo y de corte transversal.

Método de investigación



Recopilación y procesamiento de la información bibliográfica



Sistematización de la información sobre caracterización geotécnica de gravas aurífera



Selección de los parámetros geotécnicos y métodos de análisis



Levantamiento geológico y geotécnico y toma de muestras representativas en el campo.



Construcción de modelo geológico, geotécnico y matemático correspondientes.



Análisis de parámetros resistentes de la grava aurífera junto con la posición simulada del talud.



Análisis de estabilidad física del talud por método de equilibrio límite, numérico y cálculo de los factores de seguridad.



Evaluación de la eficacia y eficiencia del método de evaluación.

Conclusiones y recomendaciones.

X. Referencias (Listar las citas bibliográficas con el estilo adecuado a su especialidad)

Alonso, E. (1976), Risk analysis of slopes and its application to slopes in Canadian sensitive clays. *Geotechnique*, 26: 453-472.

Baecher, G. Christian, J. (2003), Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. John Wiley and Sons Ltd. England. 605 p.

Brady, N., Weil, R. (1996), The nature and properties of soils. Upper Saddle River. Prentice Hall, NJ.

Cabrera, T. (2007), Características Geotécnicas de los suelos residuales del batolito de la costa de la cordillera de la Costa. Tesis de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

Cho, S. (2007), Effects of spatial variability of soil properties on slope stability. *Engineering Geology Journal* 92: 97-109.

Christian, J., Ladd, C., Baecher, G. (1994), Reliability applied to slope stability analysis. *Journal of Geotechnical Engineering* 120 (12): 2180-2207.



Elkateeb, T., Chalaturnyk, R., Robertson, P. (2003), An overview of soil heterogeneity: quantification and implications on geotechnical field problems. Canadian Geotechnical Journal 40 (1): 1-15.

El-Ramly, H., Morgenstern, N., Cruden, D. (2005), Probabilistic assessment of stability of a cut slope in residual soil. Geotechnique 55, No. 1: 77-84.

Flandes, N. (2017), Estudio de la relación entre meteorización y características geomecánicas de la roca granítica de Concepción. Tesis de Ingeniería Civil Geológica y Magíster en Ingeniería Geotécnica, Departamento de Ingeniería Civil Universidad Católica de la Santísima Concepción.

Griffiths, D., Fenton, G. (2004), Probabilistic slope stability analysis by finite elements. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 130 (5): 507-518.

Hidalgo, C., Pacheco, A. (2011), Herramientas para el análisis por confiabilidad en geotecnia: Aplicación. Revista Ingenierías, Universidad de Medellín 10, 8: 79-86.

Lacasse, S., Nadim, F. (1998), Risk and Reliability in Geotechnical Engineering. 4th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. Paper No. SOA-5: 1172 -1192.

Reale, C., Xue, J., Pan, Z., Gavin, K. (2015), Deterministic and probabilistic multi-modal analysis of slope stability. Comp and Geotech Journal 66: 172-179.

Suchomel, R., Masín, D. (2010), Comparison of different probabilistic methods for predicting stability of a slope in spatially variable $c-\phi$ soil. Comp and Geotech Journal 37: 132-140.

Wang, Y., Cao, Z., Au, S. (2010), Efficient Monte Carlo Simulation of parameter sensitivity in probabilistic slope stability analysis. Comp and Geotech Journal 37: 1015-1022.

Zhai, Q., Rahardjo, H., Satyanaga, A. (2016), Variability in unsaturated hydraulic properties of residual soil in Singapore. Engineering Geology Journal 209: 21-29.

Zhang, L., Zhang, L.M., Tang, W. (2005), Rainfall-induced slope failure considering variability of soil properties. Geotechnique 55, No. 2: 183-188.

XI. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto (Señalar el posible uso de los resultados y la contribución de los mismos)

La presente investigación proporcionará dos aportes de carácter metodológico. El primer aporte corresponde al método analítico, aproximado y simplificado que se desarrolla en la evaluación física de la estabilidad de taludes en gravas auríferas. El segundo aporte corresponde al método que se aplicará en el desarrollo del presente trabajo el cual puede ser utilizado para otras investigaciones similares.



XII. Impactos esperados

i. Impactos en Ciencia y Tecnología

Tendrá un impacto positivo ya que proporcionará aportes de carácter metodológico en el análisis de estabilidad física de taludes en gravas auríferas considerando la variabilidad geotécnica

ii. Impactos económicos

Generación de mayor beneficio económico y seguridad para los trabajadores a través de la extracción de grava aurífera para la pequeña y minería artesanal, el estado y el consiguiente desarrollo de las comunidades adyacentes al proyecto minero mediante aportes de canon minero

iii. Impactos sociales

Las operaciones mineras auríferas suelen involucrar a todas las especialidades en las distintas etapas del proceso productivo, la geometría del talud final de tajo se mantendrá estable y prestara seguridad a los trabajadores

iv. Impactos ambientales

En el caso de operaciones mineras a tajo abierto con diseño de taludes estables en gravas auríferas, los impactos no serán significativos. Sin embargo, se puede incurrir en los impactos que son controlables y se generan en: alteraciones del paisaje, acumulación de desmonte.

XIII. Recursos necesarios (Infraestructura, equipos y principales tecnologías en uso relacionadas con la temática del proyecto, señale medios y recursos para realizar el proyecto)

Laboratorio de geotecnia y mecánica de rocas
GPS y brújula
Estación Total
Software especializado Slide 6.0.
Laptop
Camara fotográfica

XIV. Localización del proyecto (indicar donde se llevará a cabo el proyecto)

El proyecto de investigación se desarrollará en el Yacimiento aurífero Limata Proyecto minero AFC-12, distrito de Ananea, Provincia de San Antonio de Putina y región Puno.

XV. Cronograma de actividades

Actividad	Trimestres											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Recolección y procesamiento de la información	X											
Sistematización de la información sobre caracterización geotécnica de grava aurífera y estabilidad física de taludes		X	X									
Mapeo geotécnico, toma de muestras, ensayos laboratorio			X	X	X							
Análisis de estabilidad física de taludes					X	X	X					



Evaluación de la eficacia del método							X	X	X	
Redacción de informe final										X

XVI. Presupuesto

Descripción	Unidad de medida	Costo Unitario (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
Material de Esc	GB	500.00	Gbl	700.00
Material de Imp	GB	400.00	Gbl	800.00
Ensayes	GB	5000.00	Gbl	7000.00
Costo Software	GB	3000.00	Gbl	8000.00
TOTAL COSTO			Gbl	16500.00