

ANÁLISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS – AMFE – EN TALUDES

MODAL ANALYSIS OF FAILURES AND EFFECTS - FMEA - ON SLOPES

Autores

Aldo Almanza, Carlos González, Eneida Fuentes,
Kelsy Rojas, Milagros Sáenz y Yurianis Mitre.

Área

Licenciatura en Ingeniería Civil
Centro Regional de Veraguas
Universidad Tecnológica de Panamá

19

RESUMEN

Este documento presenta el análisis modal de fallos y efectos de un talud de 10m de altura; ubicado en Santiago, provincia de Veraguas. Primero, se hizo el reconocimiento del lugar a estudiar, estableciéndolo como objeto de nuestro trabajo y se procedió a hacer el muestreo. Se recolectaron cinco muestras de diferentes niveles como resultado de barrenar verticalmente la corona del talud y se perforaron hoyos de 3.30m con barreno manual en el pie del talud para encontrar el nivel freático. Además, se tomaron también cuatro muestras en cilindros. Seguidamente, se llevaron las muestras al Laboratorio de Suelos y Materiales de nuestra universidad, en donde se realizaron ensayos de granulometría, límites de Atterberg, clasificación del suelo y Proctor. Con dichas pruebas se pudieron conocer las propiedades índice e ingenieriles del suelo. Adicionalmente, se realizó un levantamiento topográfico para la comprobación de las variables funcionales y estructurales consideradas en el presente estudio.

PALABRA CLAVE

Propiedades índice, variables funcionales.

ABSTRACT

This paper presents a modal analysis of failure and effects of a talus of 10 meters in height, located in Santiago district, province of Veraguas. First, an inspection of the study location was made and soil samples were taken. The samples were collected at five different levels by vertical drilling of the talus crown and 3.30 meter holes were drilled at the talus foot with a manual borehole to determine the phreatic level. In addition, four samples were taken in cylinders. The samples were taken to the soils and materials laboratory of our university, where grading's trials, Atterberg's limit, soil and Proctor's classification tests were made. These tests were made to determine the index and engineering properties of the soil. Additionally, a topographic study was conducted to verify the functional and structural variables considered in this study.

KEY WORDS

Properties index, functional variables.

1. Introducción

Las exigencias profesionales que la actualidad plantea a los ingenieros civiles llevan a que su función no sea sólo de creador y constructor de obras, sino también de organizador y administrador de proyectos de infraestructura. En el desempeño de dichas funciones, se hace necesario escoger los métodos adecuados de análisis e interpretación para así evaluar resultados y proponer soluciones y para esto se requiere, a su vez, del conocimiento de métodos y disciplinas que permitan resolver aspectos específicos del problema.

El análisis modal de fallos y efectos (AMFE) ofrece un enfoque analítico, al gestionar los modos de fallos potenciales y sus causas asociadas. Con este método un ingeniero puede obtener gran cantidad de información sobre cómo alterar los procesos para evitar los fallos. Este proyecto muestra la aplicación del método AMFE en taludes, detallando el procedimiento a seguir para que los resultados, al final del proceso de análisis, brinden la posibilidad de corregir o prevenir los fallos.

1.1. Análisis de modos y efectos de falla (AMFE)

1.1.1. Definición

AMFE es una metodología de análisis de fallos potenciales, la cual utiliza un sistema de clasificación determinado por la gravedad o por el efecto de los posibles fallos en el sistema. [1]

1.1.2. Variables

Antes de realizar el análisis modal de fallos y efectos es necesario que se tenga conocimiento de las variables que pueden intervenir. Un fallo se presenta cuando los resultados no cumplen satisfactoriamente con los esperados en el diseño:

- a) Modo de fallo: formas o manera posibles en la que puede fallar un proceso.
- b) Efecto de Fallo: consecuencias que acarrear los modos de fallos, tomando en cuenta la manera en la que sería experimentado en el futuro.
- c) Causa de Fallo: se define como algo que puede corregirse o controlarse, ya sean causas directas o indirectas. Son considerados errores en el diseño. [4]

1.1.3. Procedimiento

Enumerar todos los posibles modos de fallos

Una vez reunido el grupo de trabajo se procede a enumerar los posibles modos de fallos del diseño, es decir, los fallos que podría tener el producto acabado, los cuales pueden ser defectos estéticos, funcionales, de seguridad, problemas relacionados con el mal uso, entre otros. Para esto es recomendable descomponer el producto en partes o piezas y ver en qué manera puede fallar cada una de ellas.

Establecer el índice de prioridad

Teniendo la lista de los posibles modos de fallo del producto, es momento de clasificarlos según su importancia, para ello a cada modo de fallo se le asignan tres valores:

a) Nivel de severidad (S): mide la gravedad del fallo, requiere determinar todos los modos de fallos basados en los requerimientos funcionales y sus efectos. Se evalúa de acuerdo con una escala de 1 a 10, en base a una tabla de criterio de severidad, la cual es función de la percepción del dueño o encargado del proyecto y que se origina de la degradación de la función o de las prestaciones. Esta evaluación ayudará al ingeniero a priorizar los modos de fallos y sus efectos. Si la severidad tiene un grado 9 o 10 se debe considerar cambiar el diseño, eliminando así el modo de fallo y sus efectos.

b) Nivel de incidencia (O): mide la probabilidad de que ocurra el fallo. Es necesario observar la causa del fallo y determinar con qué frecuencia ocurre. La causa de un fallo está vista como un punto de debilidad desde la etapa de diseño donde todas las causas potenciales de fallos deben ser identificadas y documentadas utilizando terminología técnica. La incidencia puede ser definida como un porcentaje y recibe una puntuación de 1 a 10 según su probabilidad.

c) Nivel de detección (D): es la probabilidad de que el error no se detecte antes de que el producto inicie su función. Cuando las acciones adecuadas se han determinado, es necesario comprobar su eficacia y realizar una verificación del diseño mediante un método adecuado de inspección. Un ingeniero debe observar los controles actuales del sistema que evitan los modos de fallos o que permitan detectarlos antes de que alcance a los consumidores. A

partir de estos controles se puede determinar qué posibilidad hay de que ocurran los fallos y cómo detectarlos.

d) Número de prioridad del riesgo (NPR): cuando se hayan establecido los valores para las variables mencionadas se multiplican para obtener el NPR. [1-2] [4]

Efecto	Criterio de severidad	Calificación
Ninguno	Sin efecto	1
Ninguno	Interrupción menor de la línea de producción. Una porción (menos del 100%) del producto tuvo que ser reusado en línea pero dentro de la estación. Ajuste y Terminación Rechazado y Vibración con inconsistencia. Defecto notado por clientes exigentes.	2
Menor	Interrupción menor de la línea de producción. Una porción (menos del 100%) del producto tuvo que ser reusado en línea pero dentro de la estación. Ajuste y Terminación Rechazado y Vibración con inconsistencia. Defecto notado por clientes promedio.	3
Muy Bajo	Interrupción menor de la línea de producción. El producto tuvo que ser clasificado y una porción (menos del 100%) reusado. Terminado y Ajustado Rechazo y vibra más allá de lo que se condona el producto. Defecto notado por la mayoría de los clientes.	4
Bajo	Interrupción menor de la línea de producción. 100% del producto tuvo que ser reusado. Velocidad Unidad operable, pero su nivel de confort/convivencia operan a un nivel reducido de desempeño. Clientes experimentan algo de insatisfacción.	5
Moderado	Interrupción menor de la línea de producción. Una porción (menos del 100%) del producto tuvo que ser desechado (no clasificado). Velocidad unidad operable, pero con elemento(s) de confort/convivencia inoperables. Clientes experimentan incomodidad.	6
Alto	Interrupción menor de la línea de producción. El producto tuvo que ser clasificado y una porción (menos del 100%) desechada. Velocidad unidad operable, pero con un reducido nivel de desempeño. Clientes insatisfechos.	7
Muy Alto	Interrupción mayor de la línea de producción. 100% del producto tuvo que haber sido desechado. Velocidad unidad inoperable, con pérdida de funciones primarias. Clientes muy insatisfechos.	8
Peligroso con aviso	Puede poner en peligro maquinaria u operador de ensamble. Clasificación de muy alta severidad cuando un potencial modo de falla afecta a la seguridad de operación del vehículo y/o involucra inconsistencias con su requerimiento de funcionalidad con aviso de falla.	9
Peligroso sin aviso	Puede poner en peligro maquinaria u operador de ensamble. Clasificación de muy alta severidad cuando un potencial modo de falla afecta a la seguridad de operación del vehículo y/o involucra inconsistencias con su requerimiento de funcionalidad sin aviso de falla.	10

Figura 1. Índice de Severidad.

Efecto	Criterio de ocurrencia	Cpk	Calificación
Remoto: Falta poco probable.	≤ 1 de 1,500,00	≥ 1.67	1
Muy bajo: solamente fallas aisladas asociadas con procesos similares.	1 de 150,000	≥ 1.5	2
Bajo: fallas aisladas con procesos similares.	1 de 15,000	≥ 1.33	3
Moderado: generalmente asociados con procesos similares previos que han experimentado fallas ocasionales, pero no en grandes proporciones.	1 de 2,000 1 de 400 1 de 80	≥ 1.17 ≥ 1.00 ≥ 0.83	4 5 6
Alto: generalmente asociados con procesos similares previos que han fallado a menudo	1 de 20 1 de 8	≥ 0.67 ≥ 0.51	7 8
Muy alto: falla es casi inevitable	1 de 3 ≥ 1 de 2	≥ 0.33 ≤ 0.33	9 10

Figura 2. Índice de Incidencia.

Efecto	Criterio de detección	Calificación
Casi seguro	Es casi seguro que los controles actuales detectaran el modo de falla. Controles de detección confiables se conocen para procesos similares.	1
Muy alto	Muy alta probabilidad de que los controles actuales detecten el modo de falla.	2
Alto	Alta probabilidad de que los controles actuales detecten el modo de falla.	3
Alto moderado	Moderadamente alta probabilidad de que los controles actuales detecten el modo de falla.	4
Moderado	Moderadamente probabilidad de que los controles actuales detecten el modo de falla.	5
Bajo	Baja probabilidad de que los controles actuales detecten el modo de falla.	6
Muy bajo	Muy baja probabilidad de que los controles actuales detecten el modo de falla.	7
Remoto	Remota probabilidad de que los controles actuales detecten el modo de falla.	8
Muy remoto	Muy remota probabilidad de que los controles actuales detecten el modo de falla.	9
Casi imposible	Casi imposible probabilidad de que los controles actuales detecten el modo de falla.	10

Figura 2. Índice de Incidencia.

Priorizar los modos de fallos y buscarles solución
Los modos de fallos que tengan un número

de prioridad de riesgo mayor deben ser los que reciban la mayor prioridad al momento de desarrollar acciones correctivas. Una vez aplicadas las correcciones se debe comprobar el NPR para confirmar las mejoras.

1.1.4. Ventajas

El AMFE mejora la calidad, fiabilidad y seguridad de los productos o procesos así como la imagen y competitividad de la organización encargada de los mismos.

Recopila información para reducir los fallos y brinda conocimiento en el ámbito de la ingeniería.

Hace énfasis en la prevención de problemas evitando los cambios repentinos a última hora y los sobre costos asociados a dichos problemas, mediante la identificación y eliminación temprana de las fuentes de fallos.

1.1.5. Desventajas o limitaciones

El AMFE está limitado por la experiencia previa de los miembros del grupo encargado de la aplicación del método. En el caso de que no se logre detectar un fallo se necesita de la colaboración de consultores externos con vastos conocimientos sobre fallos y problemas.

1.2. Talud

1.2.1. Definición

Es cualquier superficie inclinada con respecto a la horizontal adoptando esa posición de forma temporal o permanente y con estructura de suelo o de roca. [3]

1.2.2. Partes

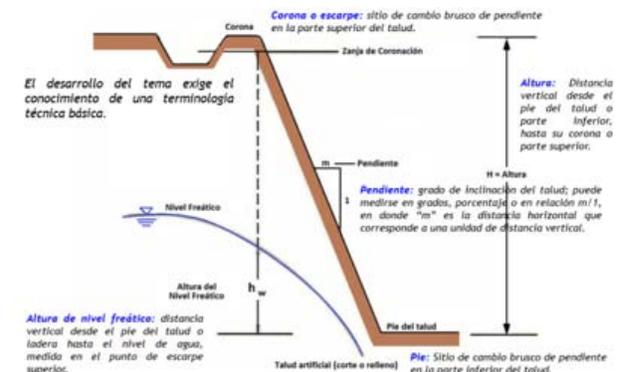


Figura 4. Partes del talud.

1.2.3. Tipos de talud

- a) Naturales: formados por la naturaleza, a través de la historia geológica.
- b) Artificiales: necesitan de la intervención del hombre y pueden ser de cortes o terraplenes. [3]

1.2.4. Tipos de fallas en un talud

- a) Deslizamiento superficial: ocurre al deslizarse el material próximo a los taludes por la acción del agua y el aire, debido a la falta de confinamiento en la zona. Esta falla es de tipo local, pero puede llegar al colapso total por debilitamiento de la capacidad de carga del talud, al disminuir la resistencia al esfuerzo cortante del material.
- b) Movimiento del talud: Se presenta sobre todo en laderas y colinas, consiste en un desplazamiento de la totalidad de la masa del talud por disminución de la resistencia al esfuerzo cortante, debido a la presencia de agua.
- c) Licuación: Es frecuente en taludes naturales y se debe a la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante por aumento del contenido de agua o pérdida de la resistencia por deformación o cualquier otro tipo de degradación estructural que pueda tener lugar, aun sin cambio en el contenido de agua.
- d) Falta de capacidad de carga del terreno de cimentación: Este tipo de falla es de importancia sobre todo en taludes artificiales, y puede manifestarse de varias formas, ya sea por asentamientos diferenciales, pérdida de la resistencia por aparición de la presión de poro, hundimientos repentinos por la existencia de grietas y cavernas, desplazamiento del terreno de la cimentación, licuación del suelo, tubificación del suelo o traslación de la masa de suelo.

2. Materiales y métodos

Nuestro proyecto se basa en la aplicación de la metodología de análisis de modos y efectos de falla a un talud, nuestro objeto de estudio ha sido creado por la intervención humana (talud artificial). Para el estudio de la estabilidad del mismo realizamos una serie de pruebas in situ y ensayos de laboratorios.

Las pruebas se seleccionaron de forma tal que nos permitieran determinar qué tan apropiada es la estructura de terreno para la construcción de un talud y brindar las recomendaciones

necesarias para lograr resultados óptimos según el tipo de suelo. Otra consideración importante es que los taludes se diseñan para ser construidos con la pendiente más elevada que permita la resistencia del terreno y en busca de la estabilidad de los mismos a corto mediano y largo plazo. Además, en el caso particular del talud estudiado se ha considerado que el mismo cuenta con un sistema de estabilización temporal a base de geotextil biodegradable, en el que no se ha previsto la utilización de hidrosiembra y que en uno de sus extremos baja una corriente de agua que proviene de nueve pequeños ojos de agua.

2.1 Metodología

2.1.1. Definición teórica de los aspectos del proyecto

Para la aplicación del AMFE es importante definir y estudiar el procedimiento a seguir, así como de los elementos implicados en el estudio. En nuestro caso, se debe definir qué es un talud y los fallos potenciales más comunes, de mayor y menor incidencia, e identificar los efectos considerables que acarrea cada tipo de fallo.

2.1.2. Visita y reconocimiento del lugar

Una vez definidos los aspectos teóricos del proyecto, visitamos varios lugares para determinar el sitio que reuniera las características adecuadas. Establecido el lugar realizamos visitas para recolectar información sobre los aspectos geológicos y métodos constructivos aplicados en el lugar, que pudieran influir de manera relevante en el talud estudiado (ver la Figura 5).



Figura 5. Talud a evaluar.

2.1.3. Toma de muestras

Se tomaron cinco muestras, cada una de niveles diferentes como resultado de barrenar verticalmente desde la corona del talud (ver la Figura 6).

La profundidad del barreno fue de 6m, distancia que se obtuvo por trigonometría luego de haber determinado la pendiente o grado de inclinación del talud estudiado, con la ayuda de la tecnología Smartphone. Esta profundidad es la correspondiente a la distancia vertical existente entre la corona y la base del talud superior. Es importante señalar que, al observar que a pesar de ir barrenando, cada vez a mayor profundidad, las muestras de suelo no cambiaban sus características visibles, llegamos a la determinación de no barrenar el talud inferior.

Tomamos una muestra también en la parte superior del talud para realizar la prueba de Proctor en el laboratorio como se muestra en la Figura 7.

Las muestras fueron depositadas en recipientes plásticos de 18.75lt y cubiertas con bolsas plásticas para luego ser transportadas al Laboratorio de Suelos de nuestra universidad.

Mediante la utilización de cilindros de 10cm de diámetro por 10cm de altura recolectamos cuatro muestras en lugares diferentes del talud para luego obtener en el Laboratorio, la humedad del suelo (ver la Figura 8).



Figura 6. Barreno vertical en la corona del talud.

2.1.4. Levantamiento topográfico

En la siguiente etapa procedimos a hacer un levantamiento topográfico que luego se procesó con un software de computadora



Figura 7. Recolección de muestra para ensayo de Proctor.



Figura 8. Muestreo con cilindros para determinar la densidad de campo.

para verificar pendientes, longitudes, alturas, inclinación de corona, así como también para modelar la superficie del terreno y comprobar la existencia de puntos en donde pudieran ocurrir deslizamientos debido a las corrientes de aguas superficiales que encontramos en el lugar.

2.1.5. Análisis

Cada uno de los ensayos que realizamos en el laboratorio de suelos cuenta con un procedimiento establecido por la American Society of Testing Materials (ASTM) el cual es un organismo de normalización de Estados Unidos de América. Estas normas son utilizadas en investigaciones y proyectos de desarrollo, en sistemas de calidad, comprobación y aceptación de productos, y en transacciones comerciales

por todo el mundo. La utilización de estas normas es un componente integral de las estrategias competitivas de hoy en día [5]. El haber realizado la prueba según los procedimientos establecidos por la ASTM nos brinda seguridad en los resultados.



Figura 9. Levantamiento topográfico.

2.1.6. Granulometría

Con esta prueba se determina el tipo de suelo mediante el tamizado de las muestras recolectadas en campo. Para esta clasificación utilizamos el tamiz ASTM N°200 (0.075mm) y dichos resultados se comparan con el sistema de clasificación de suelo unificado (SUCS).

Mediante la tabla de clasificación de la ASTM D 2487 podemos determinar si el tipo de suelo del talud estudiado es grueso (si pasa menos de 50% por el tamiz N°200) o si es fino si pasa más del 50% por dicho tamiz.

2.1.7. Límite de Atterberg

Tomando en cuenta que cuando se trata de limos y arcillas no es suficiente con el estudio granulométrico, resulta ser necesaria la determinación de la plasticidad del suelo, puesto que algunos suelos cambian su consistencia en función del contenido de humedad.

Es posible determinar tres límites de consistencia: Límite de contracción, límite líquido y límite plástico. Solo determinaremos los límites plástico y líquido debido a que el ensayo para el límite de contracción es complicado y puede ser tóxico puesto que involucra la utilización de mercurio.

Límite Líquido (LL): Cuando el suelo pasa del estado plástico al líquido. Para esto se utiliza la cuchara de Casagrande.



Figura 10. Tamizado.

Límite Plástico (LP): Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a plástico.

La finalidad de este ensayo es determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo. La importancia de este contenido de agua junto a la cantidad de aire, representa una de las características más importantes para explicar el comportamiento del suelo, como por ejemplo cambios de volumen, cohesión y estabilidad mecánica.



Figura 11. Muestra húmeda en la estufa.

2.1.9. Proctor

Es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación del terreno, a través de este ensayo es posible determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad. Determina también la máxima densidad que puede alcanzar el suelo.

Porcentaje de compactación representa el porcentaje que se alcanza de la máxima densidad posible para el terreno y se realiza bajo la norma técnica: ASTM D698.

3. Resultados

3.1. Modelado por Computadora

El modelado con programas de computadora nos corroboró los datos de campo, los cuales se usaron para determinar la pendiente del talud estudiado con la utilización de la tecnología Smartphone. Nuestro talud tiene una pendiente de 38° sobre la horizontal y altura de 10m (ver la Figura 12).

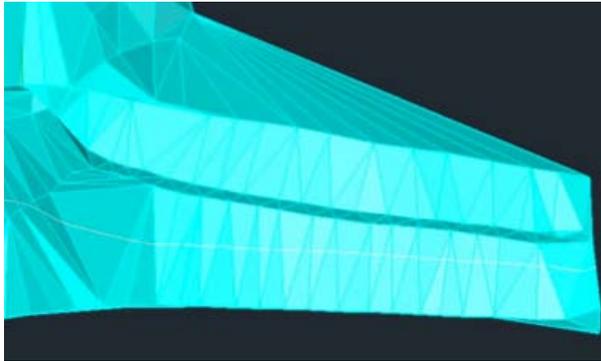


Figura 12. Modelado del talud estudiado.

La representación de la estructura de terreno estudiada nos permitió hacer una comparación con imágenes aéreas del lugar un año antes de la realización de nuestro proyecto (ver las Figuras 13 y 14). En esta comparación se puede apreciar el movimiento de las masas de suelo producto de las corrientes superficiales, de la precipitación pluvial y de estrategias aplicadas para drenar dichas corrientes.

3.2. Resultados de Laboratorio

Los datos mostrados son el resultado de promediar los cálculos y valores obtenidos en el laboratorio para cada uno de los ensayos realizados a muestras de diferentes niveles y diferentes zonas del talud.

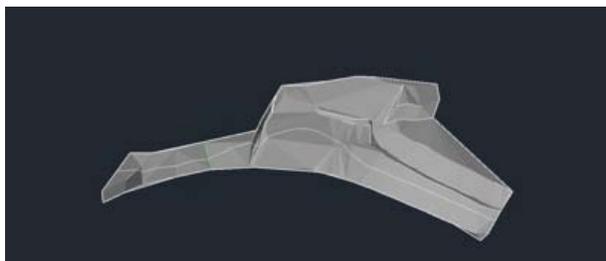


Figura 13. Representación del talud estudiado y el terreno circundante.



Figura 14. Vista aérea del lugar, imágenes del 23 Dic 2013.

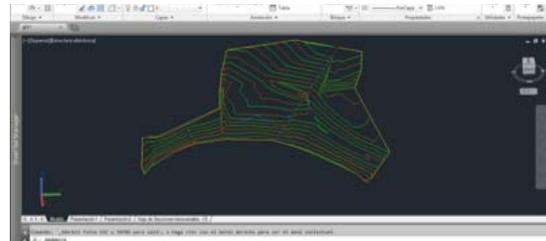


Figura 15. Curvas de nivel.

3.2.1. Granulometría

El terreno tratado corresponde a un suelo con granulometría fina, ya que pasa 77,17% por el tamiz N°200.

3.2.2. Límite de Atterberg

Límite líquido: $LL=84.91$
 Límite plástico: $LP=52.96$
 Índice de plasticidad: $IP=31.95$

3.2.3. Contenido o porcentaje de humedad

En promedio, el porcentaje de la humedad del suelo es: $\%W=59.28$.

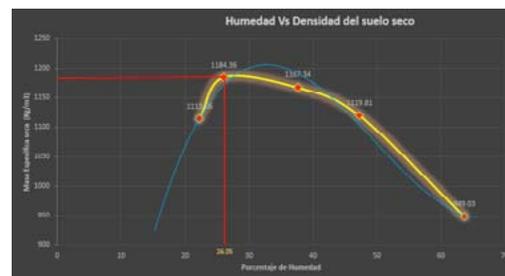


Figura 16. Humedad vs densidad de suelo seco.

3.2.4. Densidad de campo

Densidad húmeda: 1760.5kg/m^3
 Densidad seca: 62.58kg/m^3

3.2.5. Proctor

Porcentaje de humedad: 26.05
 Densidad de suelo seco: 1184.36kg/m^3
 Porcentaje de Compactación: 5.28 %
 Lluvia Promedio: 11.3 mm en el mes de febrero.
 Lluvia Máxima: 1865.8 mm en el mes de octubre.

3.2.6. Nivel Freático

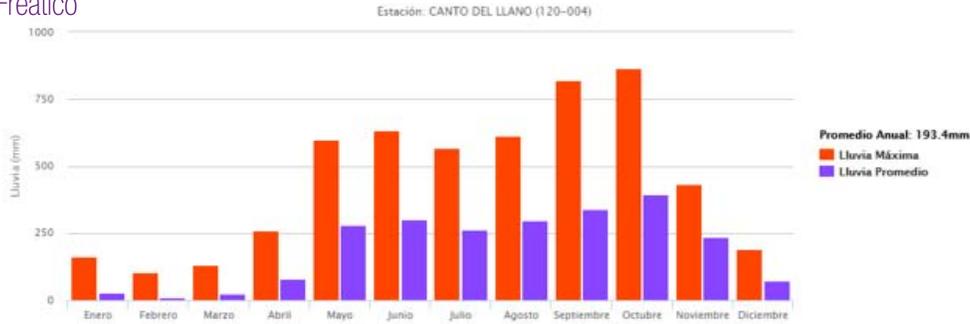


Figura 17. Gráfico de precipitación pluvial mensual según ETESA.

4. Aplicación del Método

Contando con los resultados y datos requeridos es posible la aplicación de la metodología AMFE, las siguientes tablas muestran el cálculo

del número de prioridad del riesgo, y las posibles soluciones para cada modo de fallo. Estas soluciones se dan tomando como referencia las altas propiedades índices del suelo tratado.

Análisis Modal de Fallos y Efectos									
Función	Modo de fallo	Efecto	Severidad	Causa(s)	Incidencia	Controles actuales	Detección	RPN	Acciones recomendadas
Resistir la presión causada por el flujo líquido	Pluviosidad	Deslizamiento	8	Alta precipitación pluvial durante la estación lluviosa lo que eleva el nivel freático y aumenta la saturación del suelo.	8	Sistema de estabilización a base de geotextil biodegradable.	30	640	Sistema de conducción y drenaje de aguas superficiales.

Figura 18. Aplicación de AMFE – Pluviosidad.

Análisis Modal de Fallos y Efectos									
Función	Modo de fallo	Efecto	Severidad	Causa(s)	Incidencia	Controles actuales	Detección	RPN	Acciones recomendadas
Garantizar la estabilidad de la estructura del talud.	Falta de compactación de terreno.	Poca filtración de agua a través de sus poros lo que lleva a la acumulación de agua en la superficie del talud.	8	Suelo casi impermeable.	5	Ninguno.	10	400	Sistema de conducción y drenaje de corrientes de aguas superficiales.
		Colapso.	4	Capacidad de soporte deficiente.	3		10	120	Aplicación de drenes mechas para drenaje.

Figura 19. Aplicación de AMFE – Compactación.

Análisis Modal de Fallos y Efectos									
Función	Modo de fallo	Efecto	Severidad	Causa(s)	Incidencia	Controles actuales	Detección	RPN	Acciones recomendadas
Proporcionar un nivel de compactación eficaz.	Cambios de humedad del suelo	Cambios de volumen de la estructura lo que puede provocar grietas.	7	Lluvias, corrientes naturales de agua existentes, límite plástico elevado.	8	Ninguno.	7	392	Sistema de conducción y drenaje de corrientes de aguas superficiales.

Figura 20. Aplicación de AMFE – Contenido de humedad.

Análisis Modal de Fallos y Efectos									
Función	Modo de fallo	Efecto	Severidad	Causa(s)	Incidencia	Controles actuales	Detección	RPN	Acciones recomendadas
Resistir la presión causada por el peso del suelo.	Tipo de suelo	Deslizamiento	6	Tipo de suelo arcilla limosa con propiedades índices bastante altas.	8	Sistema de estabilización a base de geotextil biodegradable	5	240	Aplicación de hidrosiembra o revestimiento vegetal del talud.

Figura 18. Aplicación de AMFE – Pluviosidad.

5. Conclusiones

La metodología de Análisis Modal de Fallos y Efectos al estar ligada con los más altos estándares de control de calidad de productos, procesos y servicios, resulta ser una herramienta muy útil y eficiente en el campo de la ingeniería para la prevención, detección y solución de los potenciales modos de fallos. Ciertamente el AMFE está limitado por la experiencia de quienes la realizan pero, los responsables del análisis pueden contar con la ayuda de consultores externos especializados y de mayor experiencia para ser orientados.

Luego de haber realizado nuestros estudios, aplicado la metodología y obtenido el índice de prioridad de los problemas encontrados es fácil percibir que el agua es la principal causa de problemas de deterioro y colapso en las estructuras de suelo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Ing. Yovanys Batista por autorizar nuestro acceso al proyecto.

A la Universidad Tecnológica de Panamá por la utilización del Laboratorio de Suelos y Materiales.

Ing. Adán Cogley e Ing. Lwonel Agudo por su colaboración en las diversas pruebas realizadas.

Ing. Ariel Urieta por su colaboración y asesoría en la realización del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] “Wikipedia.” Análisis Modal de Fallos y Efectos. 8 Abr 2014 Web. 23 Sept 2014. <http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_modal_de_fallos_y_efectos>
- [2] Bernal, Jorge. “pdcaHome.” AMFE: Análisis Modal de Fallos y Efectos - Guía y Ejemplos. Grupo PDCA Home, 12 Feb 2013. Web. 23 Sept 2014. <<http://www.pdcahome.com/3891/amfe-guia-de-uso-del-analisis-modal-de-fallos-y-efectos/>>.
- [3] Pinto, Alberto. “IngenieriaReal.com Diseño y Construcción” AMFE: Tipos y diseños de taludes, en estabilidad. Tu revista Digital de Ingeniería, Arquitectura, Ciencia y Tecnología. Web. 28 Oct 2014. <<http://ingenieriareal.com/tipos-y-disenos-de-taludes/>>
- [4] Moreno, Luis. “Monografías.” Análisis del Modo y Efecto de Fallas. 11 Sept 2005. Web. 28 Oct 2014. <<http://www.monografias.com/trabajos27/modo-falla/modo-falla.shtml>>.
- [5] Moreno, Luis. “Astm.org” ¿Qué es ASTM Internacional?. ASTM International Standards Worldwide, Oct 2011. Web. 19 Nov 2014. <http://www.astm.org/GLOBAL/images/What_is_ASTM_Spanish.pdf>