



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA DEFENSA
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
DE LA FUERZA ARMADA BOLIVARIANA
UNEFA. NÚCLEO GUÁRICO – EXTENSIÓN TUCUPIDO
ING. CIVIL. 4S-D-01
ASIGNATURA**

**ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LA ZONA EN DESLIZAMIENTO DE LA
CANTERA CANTIL SUR DE LA PLANTA PERTIGALETE, KM 6
CARRETERA NACIONAL GUANTA-CUMANÁ, ESTADO ANZOÁTEGUI**

PROFESORA:

BACHILLERES:

MIRABAL LUIS, A. C.I 20.955.000

Enero, 2014

INDICE

INTRODUCCIÓN	6
ESTABILIDAD DE TALUDES	7
TALUDES.....	7
ESTABILIDAD DE TALUDES	7
DEFINICIÓN DE ESTABILIDAD	8
IMPORTANCIA DEL MONITOREO DE TALUDES	8
USO DE LAS PROYECCIONES HEMISFÉRICAS PARA EL ESTUDIO	10
DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN ROCAS.....	10
FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA INESTABILIDAD DE TALUDES.....	10
10	
Efecto de la resistencia del suelo:.....	10
Pluviosidad:	10
Influencia de los diferentes factores en las condiciones de los materiales y de las laderas (Modificado de González de Vallejo, 2002)	11
CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE FALLAS DE TALUDES	11
DERRUMBES.....	11
DESPRENDIMIENTOS.....	12
DESLIZAMIENTO	12
REPTEO.....	12

ANÁLISIS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES.....	12
ESTABILIDAD DE TALUDES INFINITOS SIN INFILTRACIÓN	12
ESTABILIDAD DE TALUDES FINITOS	13
CARACTERIZACIÓN DEL TALUD MEDIANTE ENSAYOS	13
MÉTODOS PARA ESTABILIZAR TALUDES.....	14
CAMBIO DE LA GEOMETRÍA	14
DRENAJE	15
TRAZAS DE LOS AFLORAMIENTOS	15
TUNELES EN LA ROCAS.....	15
TIPOS DE ROCAS.....	16
EXCAVACIÓN EN ROCA.....	16
FUNCIONES DE UN TÚNEL SEGÚN SU REQUERIMIENTO.....	17
MÉTODOS DE EXCAVACIÓN DE TÚNELES EN ROCA.....	18
1.- Excavaciones mecánicas con máquina	18
2.- Excavación mecánica con máquinas integrales no presurizadas.....	18
3.- Excavación mecánica con máquinas integrales presurizadas.....	18
4. Excavación por perforación y voladura	19
CICLO DE TRABAJO DEL SISTEMA DE EXCAVACIÓN DE TÚNELES MEDIANTE EL MÉTODO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA	19
ZONAS DE LA VOLADURA DE UN TÚNEL.....	19
CONCLUSIONES	21
BIBLIOGRAFIA	22
ANEXO	23

**RESUMEN DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LA ZONA EN
DESLIZAMIENTO DE LA CANTERA CANTIL SUR DE LA PLANTA
PERTIGALETE, KM 6 CARRETERA NACIONAL GUANTA-CUMANÁ,
ESTADO ANZOÁTEGUI 23**

INTRODUCCIÓN

La inestabilidad del terreno se presenta mediante grandes desplazamientos que implica ruina total o parcial de la obra. En el presente trabajo se recogen aspectos y principios generales asociadas al estudio de estabilidad de taludes, afloramientos y túneles en la roca. Desde cómo identificarlos, clasificarlos y los métodos para corregirlos.

El modo de entender estos fenómenos naturales es mediante el estudio de los

movimientos de masas, sus características, tipos, mecanismos de inestabilidad, de los

factores que los controlan y de sus causas; lo cual incide en el análisis del

deslizamiento presente en la cantera Cantil Sur de la planta Pertigalete, estimando las

reservas de materia prima afectadas, generando métodos y procedimientos aplicables

para su recuperación y corrección; logrando el objetivo de la Coordinación de

Cantera de cumplir con el plan de explotación y producción ya establecido.

La investigación realizada se estructuró en cinco capítulos. El primero plantea

en profundidad el problema representándolo como una necesidad de estudio. El

segundo Capítulo que contempla términos generales relacionados a este estudio. El

tercer Capítulo hace referencia al marco teórico que sustenta la investigación. El

cuarto Capítulo describe el marco metodológico, el cual contiene el tipo y esquema

de investigación, al igual que la metodología y población objeto de estudio; el quinto

Capítulo esboza los análisis e interpretación de los resultados, seguido de las

conclusiones y recomendaciones generadas. Como medio de estudio e investigación en la elaboración del presente trabajo, se utilizaron diversas obras, páginas Web y estudios en tan importante materia, como es el Estudio de Estabilidad de Taludes. Usando como metodología el proceso inductivo- deductivo que consiste en recopilar la mayor cantidad de información y luego clasificarla, ordenarla e interpretarla.

CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los movimientos de masa son procesos gravitatorios, por los cuales una parte

de la masa del terreno se desplaza a una cota inferior de la original. La clasificación de estos procesos se basa en el mecanismo del movimiento, por lo que se dividen en desprendimientos, vuelcos, deslizamientos, expansiones laterales, flujos y movimientos complejos.

En el caso de los deslizamientos, estos consisten en un descenso masivo y relativamente rápido de materiales a lo largo de una pendiente. Efectuándose a lo largo de una superficie de deslizamiento, o plano de cizalla, que facilita la acción de la gravedad, afectando a tierras poco compactas como a rocas. El movimiento ocurre debido a dos causas fundamentales, de tipo externo y de tipo interno, las causas externas son aquellas que producen un incremento en la tensión o esfuerzos, pero no en la resistencia de los materiales; en tanto que las causas internas son las que disminuyen la resistencia de los materiales sin cambiar la tensión o esfuerzos.

En la Planta Pertigalete, la presencia de desastres naturales asociados a deslizamientos han demostrado la necesidad de identificar estos procesos, reconociendo los riesgos y situaciones ligados a ellos.

Por lo cual, la Gerencia de Producción en conjunto con la Coordinación de Canteras, propuso la realización del estudio geotécnico del área en deslizamiento de la cantera Cantil Sur, interpretando los factores que inciden a este fenómeno, analizando la repercusión de este en el desarrollo de la cantera, y así generar los

procedimientos aplicables para la recuperación y estabilidad de la zona afectada.

Todo esto implementando metodologías, técnicas y herramientas para la caracterización de los movimientos de masas, cumpliendo de esta manera con la planificación y explotación de la cantera.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Estudiar geotécnicamente el área en deslizamiento presente en la cantera Cantil Sur de la planta Pertigalete ubicada en el km 6 carretera nacional Guanta-Cumaná estado Anzoátegui.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Realizar el levantamiento geológico y topográfico de la zona en deslizamiento.
2. Determinar los parámetros morfológicos del deslizamiento.
3. Determinar las características químicas del material deslizante apto para la producción de cemento y agregados.
4. Elaborar perfiles geológicos de la zona en deslizamiento.
5. Estimar la cantidad de material de Caliza y Estéril aprovechable para la producción de cemento y agregados.
6. Analizar la repercusión del deslizamiento en la evolución y desarrollo de la cantera Cantil Sur.
7. Realizar un análisis de estabilidad retrospectivo, para así determinar el tipo y causas del deslizamiento presente.
8. Generar métodos y procedimientos aplicables para la recuperación del material y estabilidad de los bancos afectados por el deslizamiento hasta los límites permitidos en la explotación.

1.3 Justificación de la investigación

Los trabajos de explotación dentro de la Planta Pertigalete se llevan a cabo cumpliendo objetivos de calidad establecidos, suministrando las materias primas requeridas a las plantas de cemento para la producción de Clinker y agregados. La explotación de la materia prima en las canteras se realiza sobre la base de una planificación cuya directriz principal es el uso racional y selectivo de las reservas minerales, con la mínima generación posible de pérdidas en tiempo, operaciones e impactos ambientales. En la cantera Cantil Sur de la Planta Pertigalete esta planificación se ha visto afectada por la presencia de riesgos geológicos como deslizamientos en sus niveles superiores.

La necesidad de un estudio geotécnico del área en deslizamiento (cantera Cantil Sur), incidirá en las soluciones para este fenómeno, ya que mediante su análisis e interpretación se podrán establecer los procedimientos a seguir para la recuperación de las reservas de materia prima ubicadas tanto en su interior como en sus adyacencias, logrando los objetivos y el beneficio de la Coordinación de Canteras.

1.4 Limitaciones de la investigación

La inexistencia de antecedentes de este tipo de investigación enfocados a los movimientos de masa con proyección geotécnica en la zona, factores ambientales y climáticos que dificultaron el progreso de las actividades en campo, el difícil acceso a ciertas áreas de interés en la zona de estudio y en mayor relevancia la falta de sondeos exploratorios con extracción de núcleos necesarios para análisis geotécnicos mas confiables, fueron factores limitantes para este trabajo de investigación.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

ESTABILIDAD DE TALUDES

TALUDES

Se llaman taludes a las superficies inclinadas respecto a la horizontal y cuando son naturales se llaman simplemente laderas o laderas naturales.

Talud, o "Pedrero" es el término que se utiliza para designar a la acumulación de fragmentos de roca partida en la base de paredes de roca, acantilados de montañas, o cuencas de valles. Estos depósitos típicamente poseen una forma cóncava hacia arriba, mientras que la máxima inclinación de tales depósitos corresponde al ángulo de reposo correspondiente al tamaño promedio de las rocas que lo componen.

En Geomorfología, a la pendiente que forman los derrubios acumulados por la erosión al pie de un acantilado o de una vertiente abruptiva.

En general se llaman taludes a las superficies inclinadas respecto a la horizontal y cuando son naturales se llaman simplemente laderas o laderas naturales, entonces tenemos:

- Taludes Naturales
- Cortes o Desmontes
- Talud de terraplene o presas artificiales

Según Varnes (1978) tenemos los siguientes tipos de fallas comunes en los taludes:

- Caídas ("Falls")
- Vuelco ("Topple")
- Deslizamiento ("Slides")
- Escurrimiento ("Spread")

- Flujo (“Flow”)

ESTABILIDAD DE TALUDES

La estabilidad de taludes es la teoría que estudia la [estabilidad](#) o posible inestabilidad de un [talud](#) a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de [ingeniería civil](#), siendo un aspecto directamente relacionado con la [geotecnia](#).

La figura muestra una serie de casos en los que hay que analizar la estabilidad de taludes.

El objetivo principal de un estudio de estabilidad de taludes o laderas es el de establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo. Generalmente, los beneficios más importantes desde el punto de vista de reducción de amenazas y riesgos es la prevención. Schuster y Kockelman (1996) proponen una serie de principios generales y metodologías para la reducción de amenazas de deslizamiento utilizando sistemas de prevención, los cuales requieren de políticas del Estado y de colaboración y conciencia de las comunidades. Sin embargo, la eliminación total de los problemas no es posible mediante métodos preventivos en todos los casos y se requiere establecer medidas de control para la estabilización de taludes susceptibles a sufrir deslizamientos o deslizamientos activos. La estabilización de deslizamientos activos o potencialmente inestables es un trabajo relativamente complejo, el cual requiere de metodologías de diseño y construcción.

DEFINICIÓN DE ESTABILIDAD

Se entiende por estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. Como primera medida es necesario definir criterios de estabilidad de taludes, entendiéndose por tales algo tan simple como el poder decir en un instante dado cuál será la inclinación apropiada en

un corte o en un terraplén; casi siempre la más apropiada será la más escarpada que se sostenga el tiempo necesario sin caerse. Este es el centro del problema y la razón de estudio.

IMPORTANCIA DEL MONITOREO DE TALUDES

- **Indicar fallas inminentes**

- Estructuras geotécnicas pueden fallar con consecuencias catastróficas en cuanto a vida y propiedad. Este tipo de fallas
- puede ocurrir por sobrecarga, errores de diseño, construcción con deficiencias, deterioro, etc.
- El monitoreo puede servir para dar aviso y salvar vidas.

- **Entregar avisos**

- Sistemas de instrumentación pueden ser instalados para entregar aviso que algún indicador ha excedido límites aceptables.
- Estos instrumentos pueden ser parte de un sistema autónomo que automáticamente gatille la alarma.

- **Revelar incertidumbres**

- Como ingenieros geotécnicos se trabaja constantemente con incertidumbres, las cuales pueden llevar a fallas catastróficas.
- Siempre existirán incertidumbres en los proyectos geotécnicos; se instrumenta para observar el comportamiento real de la obra.

- **Evaluar hipótesis de diseño**

- **Minimizar daños a estructuras adyacentes**

Por ejemplo, monitoreando el desplazamiento lateral de una excavación.

- **Control de la construcción**

Instrumentación puede ser usada para monitorear el progreso de cierto desempeño geotécnico para controlar así la actividad constructiva.

- **Mejorar el estado del conocimiento**

Mucho de los avances en la ingeniería geotécnica tienen sus raíces en datos obtenidos de instrumentación de proyectos a escala real.

USO DE LAS PROYECCIONES HEMISFÉRICAS PARA EL ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN ROCAS

En ingeniería civil, y más concretamente en geotecnia, resulta interesante analizar la estabilidad o la posible inestabilidad de un talud, a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción. La estabilidad de taludes es la teoría que lo estudia.

La inestabilidad de un talud, se puede producir por un desnivel, que tiene lugar por diversas razones:

- **Razones geológicas:** Laderas posiblemente inestables, orografía acusada, estratificación, meteorización.
- **Variación del nivel freático:** Situaciones estacionales, u obras realizadas por el hombre.
- **Obras de ingeniería:** Rellenos o excavaciones tanto de obra civil, como de minería.

Los taludes además serán estables dependiendo de la resistencia del material del que estén compuestos, los empujes a los que son sometidos o las discontinuidades que presenten. Los taludes pueden ser de roca o de tierras. Ambos tienden a estudiarse de forma distinta.

FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA INESTABILIDAD DE TALUDES

Efecto de la resistencia del suelo:

El suelo tiene dos comportamientos básicos ante la aplicación del esfuerzo cortante. Uno, a través de la fricción intergranular de las partículas que lo conforman y la otra por medio de fuerzas que unen a las partículas

entre sí. La primera se llama también condición drenada o a largo plazo y la segunda, condición no drenada o a corto plazo.

Pluviosidad:

La pluviosidad tiene un efecto primordial en la estabilidad de taludes ya que influencia la forma, incidencia y magnitud de los deslizamientos. En los suelos residuales, generalmente saturados, el efecto acumulativo puede llegar a saturar el terreno y activar un deslizamiento. Con respecto a la pluviosidad hay tres aspectos importantes:

- a) El ciclo climático en un periodo de años, por ejemplo, alta precipitación anual versus baja precipitación anual;
- b) La acumulación de pluviosidad en un año determinado en relación con la acumulación normal;
- c) Intensidad de una tormenta específica.

Entre los agentes naturales se pueden incluir el agua de escorrentía, en aguas subterráneas, olas, corrientes y viento. La erosión por agentes humanos incluye cualquier actividad que permita un incremento de la velocidad del agua, especialmente en taludes sin protección, como la tala de árboles u otro tipo de vegetación que ayuda a fijar el suelo y mejorar la estabilidad del talud. La erosión puede causar la pérdida de fundación de estructuras, pavimentos, rellenos y otras obras de ingeniería. En terrenos montañosos, incrementa la incidencia de taludes inestables y puede resultar en la pérdida de vías u otras estructuras. Licuefacción debido a acciones sísmicas

La mayoría de las fallas de los taludes durante sismos se debe al fenómeno de licuefacción en suelos no cohesivos, sin embargo también se han observado fallas en suelos cohesivos durante algunos eventos sísmicos de gran magnitud. La licuefacción es un fenómeno que consiste en una caída brusca de resistencia al corte de un suelo granular en condiciones no drenadas, la cual puede ser activada por la repetida aplicación de pequeños

incrementos o decrementos de esfuerzos de corte incluidos por vibraciones del terreno asociadas con terremotos o explosiones. Los fenómenos de licuefacción se han observado generalmente en depósitos aluviales recientes compuestos por granulares, como los que se encuentran típicamente en los deltas o zonas de inundación de ríos y lagos.

Los parámetros más relevantes en la evaluación del potencial de licuefacción son:

1. la granulometría (tamaño, gradación y forma de granos).
2. la densidad relativa del depósito.

Estas características son determinadas por el método de deposición, la edad geológica y la historia de esfuerzos del depósito.

Influencia de los diferentes factores en las condiciones de los materiales y de las laderas (Modificado de González de Vallejo, 2002)

CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE FALLAS DE TALUDES

Esta clasificación se basa en el reconocimiento de los factores geológicos que condicionan la falla. Los deslizamientos de taludes ocurren de muchas maneras y aún persiste cierto grado de incertidumbre en su predictibilidad, rapidez de ocurrencia y área afectada. Sin embargo, existen ciertos patrones que te ayudan a identificar y reconocer áreas potenciales de falla, lo cual permite el tratamiento del talud para eliminar o reducir a un mínimo el riesgo de falla.

A.- Falla Circular; B.-Falla Planar; C.- Falla en Cuña; D.- Falla por volcamiento; E.- Falla por flexión y Falla por pateo. Según Hoek and Bray, Rock Slope Engineering.

Según Hunt (1984), entre las fallas de taludes tenemos: desprendimientos, derrumbes, avalanchas, flujo y repteo. - En suelos

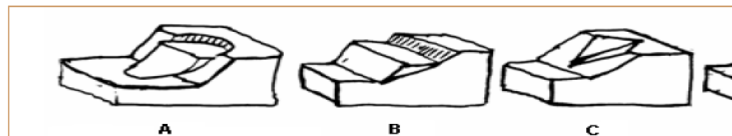


Figura 68. Fallas de un talud de roca: A. Falla circular. B. Falla en cuña, D. Falla por volcamiento, E. Fallas por flexión y F. Falla por pateo. Según Hoek and Bray, Rock Slope Engineering.

con grava el medio más confiable de obtener muestras son las calicatas y en suelos finos es recomendable el método de sondeos o perforación. - Una vez analizado el tipo de problema que presenta el talud se elige entre tres grandes grupos de soluciones: aumento de la resistencia del suelo, disminución de los esfuerzos o refuerzos estructurales. - Cuando el nivel freático sube hay que tener cuenta que el agua por la presión que genera en el suelo tiende a separar las partículas sólidas del suelo, produciendo grietas.

DERRUMBES

- a) **Planar:** Movimiento lento o rápido de un bloque de suelo o roca a lo largo de una superficie de área plana.
- b) **Rotacional:** Movimiento relativamente lento de una masa de suelo, roca o combinación de los dos a lo largo de una superficie curva de falla bien definida.
- c) **Desparramamiento lateral:** Movimiento de diferentes bloques de suelo Deslizamientos de con desplazamientos distintos.
- d) **Escombros:** Mezcla de suelo y pedazos de roca moviéndose a lo largo de una superficie de roca planar.
- e) **Avalanchas de roca o escombros:** Movimiento rápido de una masa incoherente de escombros de roca o suelo- roca donde no se distingue la estructura original del material.
- f) **Flujo de escombros Suelo** o suelo-roca moviéndose como un flujo viscoso, desplazándose usualmente hasta distancias mucho mayores de la falla. Usualmente originado por exceso de presión.

DESPRENDIMIENTOS

Son fallas repentinas de taludes verticales o casi verticales que producen el desprendimiento de un bloque o múltiples bloques que descienden en caída libre. La volcadura de los bloques generalmente desencadena un desprendimiento. En suelos, los desprendimientos son causados por socavación de taludes debido a la acción del hombre o erosión de quebradas. En macizos rocosos son causados por socavación debido a la erosión.

En algunos casos los desprendimientos son el resultado de meteorización diferencial. Los desprendimientos o caídas son relevantes desde el punto de vista de la ingeniería porque la caída de uno o varios bloques puede ocasionar daños a estructuras o a otros taludes que se encuentran en la parte inferior y podría originar una destrucción masiva. Los desprendimientos se producen comúnmente en taludes verticales o casi verticales en suelos débiles o moderadamente fuertes y masivos rocosos fracturados. Generalmente, antes de la falla ocurre un desplazamiento, el cual puede ser identificado por la presencia de grietas de tensión.

DESLIZAMIENTO

Los deslizamientos planares pueden ocurrir en rocas sedimentarias que tengan un buzamiento similar o menor a la inclinación de la cara del talud. Discontinuidades, tales como fallas, foliaciones o diaclasas que forman largos y continuos planos de debilidad que interceptan la superficie del talud. Intersección de diaclasas o discontinuidades que dan como resultado la falla de un bloque en forma de cuña. En general durante los periodos iniciales de falla se generan grietas de tracción con un pequeño desplazamiento, luego se pueden observar escarpes frescos que dejan los bloques con posterioridad al movimiento. En algunos casos este movimiento deja sin vegetación a la zona deslizada y los escombros quedan expuestos al pie del talud.-

Deslizamientos rotacionales en suelo y roca (Modificado de González de Vallejo, 2002).

REPTEO

El repteo consiste en un lento e imperceptible movimiento o deformación del material de un talud frente a bajos niveles de esfuerzos que generalmente afectan a las porciones más superficiales del talud, aunque también puede afectar a porciones profundas cuando existe un estrato poco resistente. El repteo es el resultado de la acción de fuerzas de filtración o gravitacionales y es un indicador de condiciones favorables para el deslizamiento. El repteo es característico en materiales cohesivos y rocas blandas como lutitas y sales, en taludes moderadamente empinados. Los rasgos característicos de repteo son la presencia de crestas paralelas y transversales a la máxima pendiente del talud y postes de cerca inclinados.

ANÁLISIS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES

La tarea del ingeniero encargado de analizar la estabilidad de un talud es determinar el factor de seguridad. En general, el factor de seguridad se define como dónde: $FS = \frac{\text{resistencia cortante promedio del suelo}}{\text{esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla}}$. La resistencia cortante de un suelo consta de dos componentes, la cohesión y la fricción.

ESTABILIDAD DE TALUDES INFINITOS SIN INFILTRACIÓN

La resistencia al cortante del suelo se da por: el factor de seguridad contra una posible falla del talud a lo largo de un plano AB a una profundidad H por debajo de la superficie del terreno. La falla del talud ocurre por el movimiento del suelo arriba del plano AB de derecha a izquierda.

Se utilizan las siguientes formulas: Para suelos granulares, $C = 0$, y el factor de seguridad, FSs, resulta igual a $(\tan \phi) / (\tan \alpha)$. Esto indica que, en un talud infinito de arena, el valor de FSs es independiente de la altura H y que el talud es estable siempre que $\alpha < \phi$ para suelos sin cohesión se llama ángulo de reposo. Si un suelo posee cohesión y fricción, la profundidad del plano a lo largo del cual ocurre e equilibrio crítico se determina sustituyendo $FSs = 1$ Y $H = H_{cr}$ en la ecuación.

ESTABILIDAD DE TALUDES FINITOS

Aunque existe una evidencia considerable de que las fallas de taludes ocurren sobre superficies de falla curvas, Culmann (1875) aproximación la superficie potencial de falla por un plano. El factor de seguridad, FSs, calculado usando la aproximación de Culmann, da resultados bastante buenos solamente para taludes casi verticales.

Desde entonces, la mayoría de los análisis convencionales por estabilidad de taludes se han hecho suponiendo que la curva de deslizamiento potencial es el arco de un círculo. Sin embargo, en muchas circunstancias (por ejemplo, presas y cimentaciones sobre estratos débiles), el análisis de estabilidad usando fallas planas de deslizamiento es más apropiado y conduce a resultados excelentes. Análisis de estabilidad por el método de Culmann. Este análisis se basa en la hipótesis de que la falla de un talud ocurre a lo largo de un plano cuando el esfuerzo cortante promedio que tiende a causar el deslizamiento es mayor que la resistencia cortante del suelo. Además, el plano más crítico es aquel que tiene una razón mínima entre el esfuerzo cortante promedio que tiende a causar la falla y la resistencia cortante del suelo.

CARACTERIZACIÓN DEL TALUD MEDIANTE ENSAYOS

En aquellos lugares identificados como más propensos a la inestabilidad, según lo descrito anteriormente, deberá obtenerse información adicional para caracterizar mejor el subsuelo y conocer los parámetros que sirvan de base para el análisis y solución del problema. La obtención de información consta de tres fases:

- a) En la primera fase se debe recopilar la información disponible (oral y escrita) acerca del sitio de estudio, desde relatos de eventos pasados por parte de los lugareños, hasta estudios geológicos y geotécnicos previos, incluidos los planos topográficos, pluviosidad y sismicidad de la zona.
- b) La segunda fase es el trabajo de campo en el cual se ejecutan ensayos en el sitio y se obtienen muestras de suelo.
- c) La tercera fase consiste en el trabajo de laboratorio para determinar las propiedades y características del material mediante ensayos de caracterización y resistencia.

Los objetivos principales de las perforaciones son definir la litología del área de estudio y tomar muestras para su posterior análisis en el laboratorio. El número y ubicación de las perforaciones a realizar en un estudio dependen del tamaño y forma del área considerada. Los criterios para determinar estas dos características básicas varían considerablemente, sobre todo en áreas planas. En el caso de taludes es recomendable hacer un mínimo de tres perforaciones; este número se puede incrementar dependiendo del tamaño del talud. Se puede hacer una perforación en la cresta con una profundidad aproximada de 1,5 veces la altura del talud, otra hacia la mitad del talud con una profundidad comparable con la altura de ese talud y una última al pie del mismo con una profundidad aproximada de 1/3 de la altura.

CALICATAS: Mediante las calicatas, método de exploración más superficial que el anterior, es posible tomar muestras más voluminosas de material para tener una vista “interna” del suelo y detectar posibles planos de

falla (sobre todo en materiales arcillosos). Estas calicatas generalmente se excavan a mano y miden 1,5 x 1,5 x 2,0 metros de profundidad, aunque también puede utilizarse procedimientos mecánicos.

ENSAYOS DE CAMPO: En el campo se busca obtener la mayor cantidad de información posible. Para lograr este objetivo es necesario realizar los ensayos que mejor se relacionen con el suelo en cuestión, ya que a partir de ellos y mediante correlaciones desarrolladas a lo largo del tiempo se pueden inferir ciertas propiedades de los materiales en estudio. Algunos de los ensayos para la caracterización de suelos son:

- **Prueba de penetración estándar – SPT (ASTM-1586):** La información que provee este ensayo permite determinar la densidad relativa de los suelos granulares y la consistencia de los suelos cohesivos.
- **Prueba de penetración de cono - CPT (ASTM D-3441):** Este ensayo permite medir la resistencia a la penetración en el subsuelo, tanto de la parte inferior del cono como en las paredes de una extensión cilíndrica al mismo.
- **Ensayos de laboratorio:** Establecer los parámetros del suelo (resistencia) requeridos para los análisis posteriores).
- **Ensayos de clasificación:** Lo primero que se debe realizar en el laboratorio es identificar visualmente las muestras de suelo de las perforaciones y calicatas para prever el tipo y número de ensayos posteriores.

A continuación se identifican los ensayos más frecuentes para clasificar suelos: Granulometría por tamizado: para determinar la proporción del tamaño de la partículas que componen dicha muestra.

- **Hidrómetro:** tiene el objetivo determinar la distribución del agua dentro de la muestra.

- **Límites de Atterberg:** se definen arbitrariamente y determinan el contenido de humedad del suelo en diferentes estados.
- **Peso unitario:** para medir el peso del suelo en un determinado volumen.
- **Gravedad específica:** para medir la densidad de las partículas que componen el suelo.
- **Ensayos de resistencia:** Los ensayos de resistencia tienen por finalidad estimar la resistencia del suelo. Para estimar la resistencia no drenada del suelo se utilizan ensayos como el penetrómetro y la veleta de bolsillo (también pueden ser realizados en campo) y los ensayos no drenados con y sin confinamiento en la cámara triaxial (más costosos). En el caso de la resistencia drenada del suelo también se puede utilizar la cámara triaxial con velocidades más bajas de aplicación de las cargas y el ensayo de corte directo. Este último generalmente se reserva para los materiales granulares.
- **Muestreo:** El muestreo en las perforaciones depende del material que se consiga y del grado de precisión de los datos geotécnicos. Los tres métodos de muestreo más usados en la investigación geotécnica son los siguientes:
 - **Muestreadores de penetración percusiva:** tales como la cuchara partida utilizada en el ensayo de SPT. Con estos muestreadores se pueden tomar muestras de la gran mayoría de los suelos.
 - **Muestreadores de penetración por presión aplicada:** tales como el muestreador de pistón y el tubo Shelby (perturbación reducida), usado para recuperar materiales cohesivos de baja consistencia a medianamente alta.
 - **Muestreadores de penetración rotacional:** tales como el tubo doble de Dennison (diseñado especialmente para arcillas duras) y los que usan brocas de lata resistencia para perforar suelo y roca con cierto grado de litificación.

En el estudio de taludes, la inestabilidad puede detectarse mediante instrumentos que se colocan en el subsuelo. Estos instrumentos, con el tiempo, revelarán ciertas características del talud que complementarán la información de los ensayos de campo y de laboratorio. Estos instrumentos son: Inclinómetros: establecen la posición de la superficie de falla de un deslizamiento Piezómetros: miden la presión de agua intersticial que hay en un determinado nivel del subsuelo. El piezómetro de boca abierta es el más sencillo de todos y es el que se usa de preferencia en suelos granulares de alta permeabilidad. Existen piezómetros más complicados como los de hilo vibratorio y los neumáticos, recomendables para suelos cohesivos de baja permeabilidad.

MÉTODOS PARA ESTABILIZAR TALUDES

Tan pronto como se comprueba que hay un riesgo de inestabilidad en un determinado talud, se debe buscar la mejor solución y considerar aspectos de costo, naturaleza de las obras afectadas (tanto en la cresta como al pie del talud), tiempo estimado en el que se puede presentar el problema, disponibilidad de los materiales de construcción, Entre otros.

Existen tres grandes grupos de soluciones para lograr la estabilidad de un talud:

a.- **Aumentar la resistencia del suelo:** son las soluciones que aplican drenaje en el suelo para bajar el nivel freático o la inyección de sustancias que aumentan la resistencia del suelo, tales como el cemento u otro conglomerante.

b.- **Disminuir los actuales esfuerzos en el talud:** soluciones tales como el cambio de la geometría del talud mediante el corte parcial o total de éste a un ángulo menor o la remoción de la cresta para disminuir su altura.

c.- **Aumentar los esfuerzos de confinamiento del talud:** se puede lograr la estabilización de un talud mediante obras, como los muros de gravedad, las pantallas atirantadas o las bermas hechas del mismo suelo.

CAMBIO DE LA GEOMETRÍA

El cambio de la geometría de un determinado talud puede realizarse mediante soluciones tales como:

- La disminución de la pendiente a un ángulo menor.
- La disminución de la altura (especialmente en suelos con comportamiento cohesivo).
- Y la colocación de material en la base o pie del talud (construcción de una berma) en esta última solución es común utilizar material de la parte superior del talud.

La consecuencia directa de realizar un cambio favorable en la geometría de un talud es disminuir los esfuerzos que causan la inestabilidad y, en el caso de la implantación de una berma, el aumento de la fuerza resistente. Es importante destacar que la construcción de una berma al pie de un talud debe tener en cuenta la posibilidad de causar inestabilidad en los taludes que se encuentren debajo, además, se deben tomar las previsiones para drenar el agua que pueda almacenarse dentro de la berma, ya que es probable que pueda haber un aumento de la presión de los poros en los sectores inferiores de la superficie de falla, lo que acrecienta la inestabilidad.

DRENAJE

La presencia de agua es el principal factor de inestabilidad en la gran mayoría de las pendientes de suelo o de roca con mediano o alto grado de meteorización. Por lo tanto se han establecido diversos tipos de drenaje con diferentes objetivos. Los tipos de drenaje más utilizados son:

- **Drenajes sub horizontales:** son métodos efectivos para mejorar la estabilidad de taludes inestables o fallados. Consiste en tubos de 5cm o más de diámetro, perforados o cubiertos por un filtro que impide su taponamiento por arrastre de finos. Se instalan con una pequeña pendiente hacia el pie del talud, penetran la zona freática y permiten el flujo por gravedad del agua almacenada por encima de la superficie

de falla. El espaciamiento de estos drenajes depende del material que se esté tratando de drenar y puede variar desde tres a ocho metros en el caso de arcillas y limos, hasta más de 15 metros en los casos de arenas más permeables.

- **Drenajes verticales:** se utilizan cuando existe un estrato impermeable que contiene agua emperchada por encima de un material más permeable con drenaje libre y con una presión hidrostática menor. Los drenajes se instalan de manera que atraviesen completamente el estrato o impermeable y conduzcan el agua mediante gravedad, por dentro de ellos, hasta el estrato más permeable, lo que aliviará el exceso de presión de los poros a través de su estructura.
- **Drenajes transversales o interceptores:** se colocan en la superficie del talud para evitar el paso hacia su estructura (grietas de tensión), el pie del talud para recolectar aguas provenientes de otros drenajes y a diferentes alturas del mismo.
- **Drenajes de contrafuerte:** consiste en la apertura de zanjas verticales de 30 a 60 cm de ancho en la dirección de la pendiente del talud para rellenarlas con material granular altamente permeable y con un alto ángulo de fricción ($>35^\circ$). La profundidad alcanzada deberá ser mayor que la profundidad a la que se encuentra la superficie de falla para lograr el aumento de la resistencia del suelo no solo debido al aumento de los esfuerzos efectivos gracias al drenaje del agua que los reducía, sino también al aumento del material de alta resistencia incluido dentro de las zanjas. Esta solución puede ser útil y de bajo costo en el caso de taludes hechos con materiales de baja resistencia, tales como arcillas y limos blandos o con presencia de materia orgánica en descomposición que tengan entre tres y ocho metros de altura y superficies de falla que no pasen de los cuatro metros.

- **Soluciones estructurales:** Este tipo de soluciones generalmente se usa cuando hay limitaciones de espacio o cuando resulta imposible contener un deslizamiento con uno de los métodos anteriores. El objetivo principal de las estructuras de retención es incrementar las fuerzas resistentes de forma activa (peso propio de la estructura, inclusión de tirantes, etc.)
- **Muros de gravedad y en cantiléver:** la estabilidad de un muro de gravedad se debe a su peso propio y a la resistencia pasiva que se genera en la parte frontal del mismo. Las soluciones de este tipo son antieconómicas porque el material de construcción se usa solamente por su peso muerto, en cambio los muros en cantiléver hechos de concreto armado, son más económicos porque son del mismo material del relleno, el que aporta la mayor parte del peso muerto requerido. Se debe tener en cuenta que al poner una estructura con un material de baja permeabilidad, como el concreto, al frente de un talud de suelo que almacene agua en su estructura, es muy probable que aumente la presión hidrostática en la parte posterior del muro.

TRAZAS DE LOS AFLORAMIENTOS

El patrón de afloramiento de un estrato o de cualquier elemento planar depende de la relación entre su actitud y del diseño de la topografía. Esta relación se ha formalizado mediante una regla conocida como “regla de las V”, por medio de la cual se puede estimar, a partir del diseño de afloramiento, la actitud de cualquier elemento estructural planar.

Estratos horizontales:

Se puede considerar que las curvas de nivel son las trazas de planos horizontales imaginarios. Luego las trazas de planos horizontales reales siguen exactamente las curvas de nivel topográfico

TUNELES EN LA ROCAS

Un túnel es una obra subterránea de carácter lineal, cuyo objeto es la comunicación de dos puntos, para realizar el transporte de personas, materiales entre otras cosas. Normalmente es artificial.

Barton y Bieniawshi (Citado por Cáceres, 2006) señalaron que la implantación de los túneles como una importante solución, ha sido un tema de mucha relevancia en la era de los ferrocarriles, en la minería así como en el transporte tanto público como privado, recobrando su relevancia en las modernas carreteras, en zonas de cordillera, zonas inaccesibles, cruce por debajo de ríos, e incluso creando túneles falsos en las ciudades para aliviar el tráfico vehicular.

Romana (1993) según la clasificación de macizos rocosos para la excavación mecánica de túneles, expresa: Los métodos de excavación de túneles dependen, en primer lugar, y fundamentalmente, del tipo de terreno que se va a excavar. De esta forma se debe hablar por separado de la excavación de túneles en suelos o terrenos blandos y túneles en rocas.

Es esencial que cualquier proyecto de túnel comience con una investigación sobre las condiciones del terreno. Los resultados de la investigación nos permitirán saber cuál es la maquinaria y los métodos de excavación y sostenimiento a realizar, y podrán reducir los riesgos de encontrar condiciones desconocidas. En los primeros estudios, las alineaciones horizontales y verticales serán optimizadas para aprovechar las mejores condiciones de agua y suelo. Para la orientación en el trazo de túneles, en ocasiones se utilizan los giroteodolitos, ya que permiten determinar el norte verdadero bajo tierra.

En algunos casos, los estudios convencionales no nos proporcionan suficiente información, por ejemplo, cuando existen grandes masas de roca, discontinuidades como fallas o estratos de terreno más blando como arcillas o limos. Para abordar estos problemas se puede construir un tubo piloto, o un desvío que discurra paralelo al principal. Este tubo puede llegar a ser más

fácil de sostener cuando se presenten condiciones inesperadas y podrá ser incorporado en el túnel final. Alternativamente también se pueden realizar pequeños pozos horizontales en el frente del túnel para conocer las condiciones en la excavación.

Estos factores se deberán tener en cuenta totalmente en la planeación y diseño del proyecto. Generalmente, es poco satisfactorio e ineficaz agregar algo al proyecto o modificarlo en una etapa posterior, a menos que se haya previsto en la planeación original.

- **Localización:** Puede ser a través de una montaña o una colina, estar sumergido o ser urbano.
- **Terreno:** Puede ser desde un limo blando hasta una roca dura uniforme, lo que abarca un campo muy amplio en lo que respecta al comportamiento de una excavación, el agua puede representar una parte muy importante. Cualquier selección que se haga del terreno implica cambios en la geometría, la forma estructural y el método de construcción.
- **Dimensiones y Geometría:** Son las del túnel terminado: ancho, altura y longitud, junto con los niveles, pendientes y curvas.
- **Forma Estructural:** Podrá ser un círculo, herradura, rectángulo o cualquier otra forma que incorpore hierro colado, concreto, albañilería, concreto lanzado, etc., para soportar la carga impuesta. La naturaleza del terreno y el método de construcción influirán de un modo decisivo sobre la forma estructural.
- **Métodos de Construcción:** Varían desde la perforación por barrenos y explosivos o por una máquina excavadora de túneles, con o sin un escudo, hasta el corte y relleno en diversas secuencias, e incluyendo los túneles prefabricados sumergidos. La selección del método está limitada no solo por las condiciones del terreno, sino también por los recursos disponibles en su más amplio sentido.

- **Equipamiento:** El túnel terminado incluye las calzadas o las vías de ferrocarril, iluminación, ventilación, acabados decorativos y funcionales, y sistemas de control.

TIPOS DE ROCAS

El tipo de roca abarca una amplia variedad de factores que van desde la formación básica hasta las propiedades específicas como textura, composición mineralógica, química, edad, origen, anisotropía, grado de alteración y dureza. De acuerdo a dichos factores se dividen en:

1. Rocas Ígneas:

Son las que provienen del Magma Ígneo, que es una masa de roca fundida, formada de silicatos, gases y vapor de agua, y que se ubica en la zona más externa del manto y en la zona inferior de la corteza terrestre.

2. Rocas Sedimentarias:

Proviene de rocas desintegradas arrastradas por ríos y depositadas en capas que son sometidas durante un considerable período de tiempo a elevadas temperaturas y presiones. Ejemplos: Areniscas, conglomerados, Brechas.

3. Rocas Metamórficas:

Proviene de un largo proceso de recristalización de otras rocas, que se produce a altas temperaturas (entre 100 y 600 grados C) y altas presiones (miles de atmósferas), con un aumento de densidad. Las rocas metamórficas son rocas ígneas o sedimentarias que se han transformado mineralógicamente y estructuralmente por un proceso que se llama Metamorfismo.

EXCAVACIÓN EN ROCA

En 2009 Percy señaló que los medios necesarios para realizar una excavación varían con la naturaleza del terreno, que desde este punto de vista, se pueden clasificar en:

- Terrenos sueltos.

- Terrenos flojos.
- Terrenos duros.
- Terrenos de tránsito.
- Roca blanda.
- Roca dura.
- Roca muy dura.

En la excavación de túneles por el método de perforación y voladura, solo será aplicable para las siguientes rocas:

- **Roca Dura:** Rocas calizas duras o silíceas, rocas ígneas y metamórficas y masas de rocas poco alteradas, cuarcita y minerales de baja densidad sólo pueden ser excavadas por máquinas especiales para cada caso, se usan explosivos de media potencia.
- **Roca Muy Dura:** Rocas ígneas no alteradas como granito, diorita, diabasa, rocas metamórficas duras, minerales densos. Se necesitan máquinas especialmente diseñadas y el uso de explosivos de alta potencia.

FUNCIONES DE UN TÚNEL SEGÚN SU REQUERIMIENTO

Según Megan, T. y Bartlett J. (1988). Las principales funciones que tienen los túneles, dejando a un lado los túneles de minas y los hechos por los zapadores militares, abarcan:

1. Transporte

- De personas y Mercancías (pasos a desnivel para peatones y ciclistas, ferrocarriles y subterráneos, carreteras).
- De agua (canales, abastecimientos, urbanos, irrigación, energía hidroeléctrica y agua de enfriamiento).
- Sistemas de Alcantarillado.
- Servicios por Cables y Tuberías.

2. Almacenamiento y Plantas

- Estacionamiento para carros.
- Almacenamiento del petróleo en depósitos subterráneos.
- Estaciones Subterráneas de Energía.
- Instalaciones para usos militares.
- Eliminación de los residuos radioactivos.

3. Protección de las personas

- Refugios.
- Puestos de Control.

MÉTODOS DE EXCAVACIÓN DE TÚNELES EN ROCA

Los métodos de excavación de túneles en roca son básicamente dos: el de perforación y voladura, mediante la utilización de explosivos y la excavación mecánica, mediante tuneladora o topos (TBM), especialmente diseñados para tal fin y las máquinas de ataque puntual, rozadoras o martillos de impacto.

Métodos de Excavación de Túneles en Roca.

1.- Excavaciones mecánicas con máquina

Se consideran en este grupo las excavaciones que se avanzan con máquinas rozadoras; con excavadoras, generalmente hidráulica, brazo con martillo pesado o con cuchara, sea de tipo frontal o retro; con tractores y cargadoras (destrozadoras) e, incluso, con herramientas de mano, generalmente hidráulicas o eléctricas.

Rozadora: Máquina de ataque puntual; consta de un brazo desplazable que bate la sección de excavación y que lleva en su extremo un cabezal provisto de las herramientas de corte "picas". El par de rotación del

cabezal, el empuje de los cilindros hidráulicos del brazo y las fuerzas de reacción de la máquina, se concentra en las puntas de las picas iniciadoras del rozado. El material rocoso excavado se desprende en forma de lajas o chips de roca.

2.- Excavación mecánica con máquinas integrales no presurizadas

Esta excavación se realiza a sección completa empleando las máquinas integrales de primera generación o no presurizadas. Otro rasgo común es que, en general, la sección de excavación es circular. Por ejemplo la Tuneladora (TBM):

Tuneladora, Topo O TBM: Se produce la excavación de la roca a plena sección, generalmente de forma circular. La energía mecánica es generada mediante motores eléctricos y transmitida a la cabeza giratoria de la máquina en forma de un par de rotación, a través de circuitos hidráulicos. Este par de rotación, junto con el empuje proporcionado por unos cilindros hidráulicos a la cabeza de la máquina contra el frente de excavación, aportan la energía mecánica a las herramientas de corte "discos", que la transmiten a la roca a través de la superficie de contacto de los mismos. El nivel de la energía liberada es capaz de producir, en primer lugar la penetración o indentación de los cortadores de disco y, en segundo lugar, el quebrantamiento por tracción y cizallamiento de la roca entre las series de cortadores concéntricos dispuestos en la cabeza de la máquina.

3.- Excavación mecánica con máquinas integrales presurizadas

La baja competencia del terreno suele asociarse a casos de alta inestabilidad y presencia de niveles freáticos a cota superior a la del túnel la primera solución aplicada a los escudos mecanizados abiertos para trabajar en estas condiciones fue la presurización total del túnel.

4. Excavación por perforación y voladura

Durante muchos años ha sido el método más empleado para excavar túneles en roca de dureza media o alta, hasta el punto de que se conoció también como Método Convencional de Excavación de Avance de Túneles. La excavación se hace en base a explosivos, su uso adecuado, en cuanto a calidad, cantidad y manejo es muy importante para el éxito de la tronadura y seguridad del personal, generalmente se usa dinamita.

CICLO DE TRABAJO DEL SISTEMA DE EXCAVACIÓN DE TÚNELES MEDIANTE EL MÉTODO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

Como ya hemos señalado anteriormente, la excavación mediante perforación y voladura es el sistema más utilizado para la excavación de túneles en roca. Las partes o trabajos elementales de que consta el ciclo de trabajo característico de este sistema son las siguientes:

- Replanteo en el frente del esquema de perforación.
- Perforación de los taladros.
- Carga de los taladros con explosivo.
- Voladura y ventilación.
- Retirada del escombros y saneo del frente, bóveda y hastiales.
- Hormigón proyectado y entibación.
-

ZONAS DE LA VOLADURA DE UN TÚNEL

Para la perforación y voladura, la sección teórica del túnel se divide en zonas, en las que las exigencias, tanto de densidad de perforación, como de carga específica de explosivo y secuencia de encendido son distintas. Estas zonas son:

- Cuele.
- Contracuele.
- Destroza.
- Zapateras.
- Contorno.

Cuele: El cuele es la fase de la voladura que se dispara en primer lugar. Su finalidad es crear una primera abertura en la roca que ofrezca al resto de las fases una superficie libre hacia la que pueda escapar la roca, con lo cual se posibilita y facilita su arranque.

Contracuele: Son los taladros que rodean a los taladros de arranque y forman las salidas hacia la cavidad inicial. De acuerdo a la dimensión del frente varía su número y distribución comprendiendo a las primeras ayudas (contracueles), segunda y terceras ayudas (taladros de destrozo o franqueo). Salen en segundo término.

Destroza: La destroza es la parte central y más amplia de la voladura, cuya eficacia depende fundamentalmente del éxito de la zona del cuele y contracuele, que es la zona crítica de la voladura.

Zapateras: La zapatera es la zona de la voladura situada en la base del frente, a ras de suelo. Los taladros extremos suelen ir un poco abiertos hacia fuera con objeto de dejar sitio suficiente para la perforación del siguiente avance. Los barrenos de las zapateras son los que más carga explosiva contienen ya que, aparte de romper la roca han de levantar ésta hacia arriba. Son disparados en último lugar.

Contorno: Los taladros perimetrales o de contorno son importantes pues de ellos dependerá la forma perimetral de la excavación resultante. Lo ideal es que la forma real del perímetro del túnel sea lo más parecida posible a la teórica, aunque las irregularidades y discontinuidades de la roca lo dificultan.

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

Nivel de investigación

De acuerdo al problema planteado y tomando en cuenta la clasificación de los niveles de investigación (Hurtado de Barrera, 1996), el nivel del trabajo se define como una investigación descriptiva y explicativa, ya que consiste en la caracterización de un hecho o fenómeno, con el fin de establecer su estructura o comportamiento, buscando el porque de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto.

Diseño de la investigación

El diseño de la investigación empleado para desarrollar los objetivos planteados se clasifica como una investigación de campo, debido a que los datos e información necesaria serán obtenidos directamente del entorno real u objeto de estudio, sin manipular o controlar variable alguna.

La información y datos necesarios se obtendrán mediante levantamientos geológicos en el área deslizada, específicamente en la cantera Cantil Sur de la Planta Pertigalete, Municipio Guanta, estado Anzoátegui, información cuya integridad no será alterada ni modificada, cumpliendo así con la definición hecha por Sabino (1986), quien propone que “ las investigaciones de campo se basan en datos primarios, obtenidos directamente de la realidad”.

CAPITULO IV RESULTADOS

RESUMEN DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LA ZONA EN DESLIZAMIENTO DE LA CANTERA CANTIL SUR DE LA PLANTA PERTIGALETE, KM 6 CARRETERA NACIONAL GUANTA-CUMANÁ, ESTADO ANZOÁTEGUI

A continuación se presentan extractos del trabajo final de grado del ahora Ingeniero Geólogo Osmar Mata ante la Escuela de Ciencias de la Tierra del Departamento de Geotécnica de la Universidad de Oriente Núcleo Bolívar, esto con la finalidad de manejar el procedimiento y análisis de resultados a con respecto a los estudios de estabilidad de taludes.

El estudio se desarrolló debido a la necesidad de la Coordinación de Canteras de la Planta Pertigalete, ubicada en el kilómetro 6 de la carretera nacional Guanta – Cumaná, de estudiar geotécnicamente el deslizamiento presente en una de sus canteras, específicamente la Cantera Cantil Sur. El estudio geotécnico del área afectada consta de un reconocimiento geológico que permite verificar la litología y estructuras presentes en los taludes desplazados, un levantamiento topográfico para conocer la morfología y dimensiones del deslizamiento, la toma de muestras para identificar las características químicas del material perturbado, una clasificación geomecánica para determinar la calidad de la matriz rocosa presente, la elaboración de secciones geológicas, la estimación de la cantidad de material desplazado, para posteriormente llevar a cabo el análisis de estabilidad retrospectivo y determinar los métodos aplicables para la recuperación del material y estabilidad de la zona afectada hasta los límites de explotación permitidos. Para los análisis de estabilidad fueron usados tres métodos de equilibrio límite, el de Bishop simplificado, Janbu y Fellenius,

usando como medio de verificación el programa de análisis de estabilidad de taludes denominado Slide 5.0. Llegando a la conclusión de que en el área afectada se presenta el posible contacto transicional entre las Formaciones Cantil y Barranquin, evidenciado por el cambio litológico entre calizas macizas e intercalaciones de areniscas y lutitas negras, con un total de 171888,5 m³ de material desplazado, de calidad de roca mala, resultando inestable para una superficie de rotura compuesta de factor de seguridad menor a los 1.3, de acuerdo a los rangos denominados estables para canteras a cielo abierto de matriz rocosa. Proponiendo la corrección del deslizamiento mediante el uso de métodos técnicos y rentables como la extracción y relocalización de material, abatimiento de taludes, diseño de sistemas de drenajes superficiales, uso de explosivos, y generación de nuevos bancos.

En la Planta Pertigalete, la presencia de desastres naturales asociados a deslizamientos ha demostrado la necesidad de identificar estos procesos, reconociendo los riesgos y situaciones ligados a ellos. Por lo cual, la Gerencia de Producción en conjunto con la Coordinación de Canteras, propuso la realización del estudio geotécnico del área en deslizamiento de la cantera Cantil Sur, interpretando los factores que inciden a este fenómeno, analizando la repercusión de este en el desarrollo de la cantera, y así generar los procedimientos aplicables para la recuperación y estabilidad de la zona afectada. Todo esto implementando metodologías, técnicas y herramientas para la caracterización de los movimientos de masas, cumpliendo de esta manera con la planificación y explotación de la cantera.

La Planta Pertigalete, se encuentra ubicada en el valle del sector Pertigalete, en el Km. 6 de la carretera de la costa, tramo Guanta - Cumaná, formando parte del municipio Guanta, parroquia Guanta del estado Anzoátegui. Ubicada entre las siguientes coordenadas geográficas: Latitud Norte 10°13'00''- 10°15'00'' y Longitud 64°32'00''- 64°34'00'' Oeste.

Limitada al Norte por el Mar Caribe, al Sur por la carretera nacional Guanta-Cumaná, al Este por Conomita y la Bahía de Conoma, y al Oeste por el sector Patamacualito.

En el área se pueden identificar dos tipos de espacios, uno donde el suelo está ausente y corresponde a los afloramientos rocosos sin ningún tipo de uso agrícola, la presencia de suelos es muy localizada y restringida a las grietas y pequeñas zonas de relleno existentes en el afloramiento, y el otro espacio que corresponde a suelos superficiales poco profundos localizados en el fondo del valle de la quebrada Pertigalete y que constituye parte del espacio donde se asienta el parque industrial (Plantas de fabricación de cemento), áreas de servicios industriales y la zona de equipamiento de planta Pertigalete (Plan de explotación canteras Cantil, Vivero, Querecual y San José. Enero-Diciembre, 2009).

En las zonas bajas del valle de la quebrada Pertigalete, si bien los suelos son superficiales, presentan un mayor continuo del horizonte superficial y en ciertos espacios son más profundos, permitiendo el sostenimiento de ciertos cultivos, estos espacios son muy reducidos y no constituyen un recurso potencial de relevancia.

El uso actual del suelo es predominantemente minero para toda la unidad que constituye el complejo industrial y minero Pertigalete, seguido de tierras sin uso. La vocación natural es minera por presencia de grandes afloramientos de roca caliza de óptima calidad para la fabricación de cemento. De acuerdo a estudios preliminares realizados por el MINAMB, las características de los suelos en los alrededores de Pertigalete reportan asociaciones clasificadas como Usthorthens (50%), con afloramientos rocosos (20%), tierras de ripio (20%) donde el 90% de la superficie está cubierta por fragmentos rocosos.

La topografía general es accidentada, con pendientes de rango dominante entre 30% y 60%, y presencia de escarpes rocosos, los suelos son poco profundos de texturas gruesas a medias, Franco Arenosas–Franco Arcillosas (Fa-Fa), con un horizonte superficial delgado de color claro y pobre en carbono orgánico.

Analizando la tectónica regional se encuentran series de plegamientos anticlinales y sinclinales originados por fuerzas compresivas provenientes del Norte y causados por empujes de la placa del Caribe lo que ocasionó que los ejes axiales se dispongan en su mayoría con un rumbo aproximado Este–Oeste, posterior a los movimientos de compresión se originó un periodo de reajuste durante el cual aparentemente hubo movimientos de distensión originando fallamientos y desplazamientos verticales normales e inversos con direcciones generalmente Este– Oeste para los planos de falla.

La tectónica regional es bastante compleja, pero mediante las observaciones en campo del área de estudio y la información geológica recopilada se puede determinar que localmente no existen disturbios tectónicos mayores, salvo una serie de fallas con direcciones variables tanto NE-SW como NW-SE, un anticlinal con dirección de eje axial NW-SE, y el cambio de buzamiento de ciertas capas que conforman la zona Norte de la Cantera Cantil, desde unos 15° en la zona Oeste hasta unos 30° en el Este de la cantera Cantil.

Con base en la planificación previa se llevó a cabo la ejecución de las actividades en campo. Dentro de estas, el levantamiento geológico y clasificación geomecánica de los materiales presentes en el área afectada, el levantamiento topográfico, la determinación de los parámetros morfológicos del deslizamiento y la toma de muestras para análisis químicos.

La toma de muestras se hizo de forma manual, con la ayuda de herramientas como pico de mano, pala, mandarina y cincel, introduciendo

luego el material en bolsas plásticas identificadas con la ubicación de su extracción. Esta selección de muestras tuvo base en la importancia que tiene para la producción del cemento y agregados, al igual que su ubicación en los frentes desplazados, obteniendo un total de 5 muestras para su análisis químico respectivo con el fin de conocer la composición química y calidad del material presente en el deslizamiento.

La clasificación geomecánica de los materiales presentes en el deslizamiento, se realizó mediante la clasificación Rock Mass Rating (RMR) introducida por Bieniawski en 1989. Esta se efectuó en conjunto con el levantamiento geológico de superficie, permitiendo la obtención de rangos de ángulo de fricción para cada material.

Para desarrollar el análisis de estabilidad retrospectivo (back-analysis), se utilizaron los valores obtenidos en la clasificación geomecánica, determinando de esta manera el mecanismo, modelo y geometría de la inestabilidad. El análisis se llevó a cabo en base a la topografía presente para el momento en el cual se generó el deslizamiento, utilizando métodos de equilibrio límite, como el método de Janbu, el método de Bishop simplificado y de Fellenius, de acuerdo al material presente en la zona de estudio.

Como herramientas de verificación de los datos obtenidos se usó el programa computarizado Slide (análisis de estabilidad de taludes mediante equilibrio límite como, Bishop, Janbu, Spencer, Fellenius, entre otros).

En la evaluación de los métodos aplicables para la recuperación del material y estabilidad de los niveles afectados, es necesario conocer previamente el comportamiento geomecánico del terreno, el mecanismo y tipología de roturas incluyendo su geometría, los factores geológicos, hidrogeológicos y de otro tipo, influyentes en la inestabilidad. Por lo cual para los parámetros y condiciones asumidas, las medidas de extracción de

material y estabilización de los bancos viene definidas por la modificación de la geometría de los taludes o niveles, corrección de drenajes superficiales, relocalización de material deslizado, remoción de la corona, abatimiento de los taludes, sello de grietas y uso de explosivos.

Luego de desarrollada la metodología de trabajo planteada y obtenido la información requerida para el estudio geotécnico de la cantera Cantil Sur de la planta Pertigalete, se procedió al análisis e interpretación de los resultados obteniendo lo siguiente:

El levantamiento geológico de superficie para la determinación de las características de la zona afectada, se ejecutó a través de los escarpes ó grietas generadas por el deslizamiento, tomando las siguientes observaciones de los puntos más relevantes:

Estación N°1: Observando el flanco izquierdo del deslizamiento en dirección N59°E, coordenadas N1131745 – E300105, el desplazamiento fue bajo de dos (2) metros en dirección SW, semejante a un hundimiento, en el bloque desplazado se presentan varias grietas de tracción paralelas al escarpe. El material presente está representado por una arenisca cuarzosa de tendencia friable, de color pardo claro a rojizo, de grano medio con presencia de conglomerados hacia el tope (Formación Barranquin), y una capa de material de relleno, de color gris oscuro a claro, de granulometría variable, compuesto por una mezcla de fragmentos y polvo de caliza, arenas y lutitas negras.

Flanco izquierdo del deslizamiento.

Columna estratigráfica aflorante en la estación N°1

En la misma dirección N59°E sobre el escarpe izquierdo del deslizamiento, coordenadas N1131706 – E330147, se observa mayor separación entre los bloques, presentando un desplazamiento horizontal de 3 metros, y una profundidad de 2,10 metros aproximadamente, hasta llegar al plano de falla generado por una lutita negra de buzamiento 23° al SW. La columna estratigráfica presente en esta zona está representada de base a tope por: Una capa de lutita negra de espesor no conocido, identificada como plano de deslizamiento con presencia de estrías de falla, de color gris oscuro a negra; una capa de arenisca de tendencia friable de grano medio con algunos conglomerados, de color pardo claro a rojizo, de 1,80 metros de espesor; y una capa de material de relleno (mezcla de caliza, arena y lutita), de granulometría variable, de color gris oscuro, de 0,30 metros de espesor. Se observan bloques de caliza de entre 0,50 y 1 metro de espesor, dentro y fuera del escarpe, identificados como material suelto, y ubicado en la superficie antes del movimiento.

Capa lutítica identificada como plano de falla.

Levantamiento topográfico de la zona en deslizamiento.

La clasificación geomecánica de los materiales afectados por el deslizamiento se realizó mediante el método RMR de Bieniawski (1989), con el fin de estimar los parámetros mecánicos de los macizos y materiales presentes, a un bajo costo y de forma sencilla. El método fue aplicado sobre los frentes de los taludes adyacentes al deslizamiento y dentro del mismo, obteniendo los siguientes resultados:

Clasificación geomecánica de la roca Caliza: La clasificación de este material se realizó sobre los frentes de roca caliza de gran espesor de la Formación Barranquin, observando los parámetros de clasificación presentados por Bieniawski como resistencia de la matriz rocosa, RQD, separación entre diaclasas, estado de las discontinuidades y la presencia de agua freática. Obteniendo los siguientes resultados:

Según los datos obtenidos el material se clasifica como categoría IV, y se le considera de calidad mala, con ángulo de rozamiento entre 15° y 25°.

En el Análisis de estabilidad retrospectivo (Back-análisis), para determinar los parámetros y condiciones existentes antes del deslizamiento, se realizó un análisis de estabilidad retrospectivo (back análisis) en condiciones de estabilidad crítica, con el uso de métodos de equilibrio límite en base a la topografía existente antes del movimiento de masa.

Los análisis se ejecutaron sobre los perfiles topográficos A-A', B-B', C-C' y DD' específicamente, los cuales cubren las principales áreas de la zona de estudio, usando como herramienta el programa de estabilidad de taludes Slide para la verificación de resultados y determinación de las posibles superficies de rotura.

De esta manera los parámetros geotécnicos y condiciones asumidas para los materiales presentes fueron los siguientes

Tabla de Parámetros geotécnicos asumidos Para los análisis retrospectivos

Se realizó el análisis de estabilidad retrospectivo de acuerdo a las observaciones efectuadas en campo, como dirección, desplazamiento, profundidad del plano de rotura observado, clasificación geomecánica y peso

de los suelos presentes; aplicando los métodos de equilibrio límite de Bihop, Fellenius y Janbu, para Factores de Seguridad iguales o menores a uno (1) y superficie de rotura circular. De esta manera, se determinaron los siguientes parámetros que condicionan el deslizamiento presente:

Ángulo de fricción (ϕ') = 26°

Estos valores son aceptables para la inestabilidad del área, de acuerdo a las condiciones en las que se observó el plano de deslizamiento

Para el presente perfil se realizaron los análisis de estabilidad retrospectivos bajo las mismas condiciones observadas en el perfil A-A', salvo que la profundidad del plano de rotura fue un poco más profunda. Aplicando los métodos de equilibrio límite de Bihop, Fellenius y Janbu, para Factores de Seguridad iguales o menores a uno (1) y superficie de rotura circular. Determinando los siguientes parámetros que condicionan el deslizamiento presente:

Ángulo de fricción (ϕ') = 28°

Procedimientos y métodos aplicables para la recuperación del material afectado por el deslizamiento Para la recuperación de la materia prima y la corrección de la zona en deslizamiento, era necesario evaluar los posibles métodos a utilizar de acuerdo a las condiciones observadas y análisis realizados en el área.

El material a recuperar para los procesos de producción de cemento y agregados viene condicionado por la calidad y composición química que esté presente, mediante los cálculos realizados anteriormente, se estimó un total de 171.888,5 m³ de material desplazado, del cual 63.075 m³ son de roca caliza y 108.813,5 m³ son de material estéril (denominando estéril al material presente que no es roca caliza, perteneciente a la Formación Barranquin).

Para una mejor organización en la recuperación de la materia prima y corrección del deslizamiento, se propone dividir el área afectada en tres zonas a desarrollar, una primera zona compuesta por la cabecera o límite superior del deslizamiento, entre los niveles 150 y 138 de la cantera Cantil Sur; la zona dos por el cuerpo o zona media del deslizamiento, entre los niveles 126 y 114; y la zona tres compuesta por el pie o límite inferior del deslizamiento, específicamente entre los niveles 102 y 90.

Los métodos aplicables sobre la cabecera o límite superior del deslizamiento, son los siguientes:

Relocalización y remoción de material: el objetivo de este método es recuperar el material afectado para su uso en la producción de cemento y/o agregados y trasladar material adyacente a los límites del deslizamiento para un mejor desarrollo de la recuperación y estabilización del área. Este método nos generara un mayor espacio para el tránsito de los equipos móviles a utilizar, como también reduce el peso activo presente en el área.

La relocalización es aplicable dentro y fuera de los límites del deslizamiento, específicamente próximo a las coordenadas N1.131.710-E330.201, N1.131.667– E330.209 y N1.131.637–E330.226, de la cantera Cantil Sur. Siendo una aplicación de bajo costo, ya que se cuenta con la maquinaria necesaria para su desarrollo. La remoción de material nos permite la recuperación del material apto para la producción de cementos y/o agregados, al igual que la corrección del deslizamiento y estabilidad de la zona afectada mediante la reducción del esfuerzo cortante actuante.

Es aplicable a toda la parte superior de la zona en deslizamiento y a los límites del mismo, el costo de este método es variable conforme a la cantidad de material a remover y a las condiciones en las que se presente el mismo. La cantidad de material a mover viene establecido de acuerdo a la

profundidad del plano de rotura en la zona, siendo para esta un plano de rotura de 13 metros de profundidad aproximadamente.

Escalonamiento y abatimiento de taludes: este método técnico nos permite realizar la corrección del deslizamiento y estabilidad de la zona mediante la reducción de los esfuerzos cortantes actuantes, siendo el primer punto a tomar en cuenta para la solución de la inestabilidad. Debido a las dimensiones de los taludes originales y al buzamiento de las capas de suelo que lo conforman, se plantea la creación de un escalonamiento representado por al menos 4 bancos y ángulo de inclinación próxima o por debajo al ángulo de buzamiento de las capas de suelo presentes.

Creación de drenajes superficiales: con la creación de drenajes superficiales se establece más estabilidad en la zona corregida, aumentando la resistencia al corte, disminuyendo la capacidad de infiltración del suelo mediante la influencia del agua. Esta técnica o método es aplicable encima de la corona del deslizamiento, en la superficie de la masa en movimiento y sobre el escalonamiento, siendo esencial para este tipo de formaciones geológicas con alto contenido de material rocoso. Para esta zona se propone la creación de drenajes superficiales, en dirección Noroeste y paralelos a los frentes de los taludes, sobre la corona del deslizamiento, y en cada base del escalonamiento propuesto anteriormente. De esta manera se genera una nueva dirección del flujo de agua superficial y de escorrentía en los taludes.

Sello de grietas: este método técnico se realiza con el fin de corregir y eludir deslizamientos posteriores en las zonas adyacentes a la afectada, reduciendo la inestabilidad por infiltración de aguas superficiales o de escorrentía. Es aplicable encima de la corona y en los límites del deslizamiento, y en específico sobre material perteneciente a la formación Barranquin de tendencia arenosa.

CONCLUSIONES

Un talud constituye una estructura compleja de analizar debido a que en su estudio coinciden los problemas de mecánica de suelos y de mecánica de rocas. - Los factores más comunes para el deslizamiento de taludes se debe al efecto de la resistencia del suelo, la pendiente del talud, pluviosidad y erosión.

En la construcción de túneles contamos con diferentes opciones que vienen dados por métodos constructivos como lo son: el método de excavación mecánica, mediante el empleo de máquinas rozadoras y tuneladoras y el método de perforación y voladura, el cual resulta el más apropiado cuando el tipo de roca existente en el espacio seleccionado, presenta una estructura abrasiva, y se halla en estado masivo, en este método se emplean diversos tipos de explosivos, los cuales son evaluados antes de ser aplicados, con el objetivo fundamental de escoger el más apropiado, se evalúan factores como la densidad y velocidad de detonación, las características de la roca y las condiciones que presenta el suelo sobre el cual se va a trabajar. Se debe de establecer un sistema de avance seguro y un buen diseño de la sección del frente de ataque del túnel, que visualice una adecuada ubicación del cuele, y así contar con una cavidad inicial que permita más caras libres, con el fin de evitar atraso en el ciclo de trabajo.

BIBLIOGRAFIA

ARMAS-ZAGOYA, JUAN MIGUEL (2004). *Tesis de Maestría en Ciencias Geológicas: Cartografía Geológica-Estructural del Valle de Huizachal como base para el análisis de estabilidad de taludes de la carretera Rumbo Nuevo, Cd. Victoria Tamaulipas, México.*. Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL. Linares, Nuevo León, México.

DEEP EXCAVATION LCC. «[Simplified Bishop method for slope stability](#)».

González de Vallejo L. (2002). **INGENIERÍA GEOLÓGICA.** Pearson Educación. Madrid, pp 625.

http://es.wikipedia.org/wiki/Estabilidad_de_taludes

Hunt, Roy E. “*Geotechnical Engineering Techniques and Practices*”, Mc Graw Hill,

Ingeosolum. “*Estudio Geotécnico de estabilidad de talud en el Tejero, Estado Monagas*”.

JORGE MARTÍNEZ FERRERO (1.999). Perforaciones y ensayos de laboratorio. Palmaven.

Madrid, pp 625.

≡ Megan, T. y Bartlett J. (1988). **TÚNELES**, Planeación, Diseño y Construcción Volumen 1 (1era Edición). México: Limusa.

PITEAU, D.R., PECKOVER, F.L. (1978). «Engineering of rock slopes.» *Landslides: Analysis and Control. National Research Council, Washington D.C.* (176). p. 192-234.

Varnes, D.J. (1988). SLOPE MOVEMENT TYPES AND PROCESSES. En