



UNIVERSIDAD DE CUENCA

RESUMEN

El campamento de Guarumales, ubicado en la zona de Paute a 70 Km de Cuenca en Ecuador y al noreste, es el centro de manejo y administración de la de Central Hidroeléctrica Paute, la más grande del País; se divide en tres zonas, de las cuales la No2 en la que se asientan el Taller Automotriz y las Bodegas Actuales de Hidropaute han sufrido daños en su estructura como agrietamiento (fisuras en paredes) de hasta 2 cm y hundimientos de 5 cm.

La determinación de las causas de este desplazamiento masivo y la obtención del factor de seguridad que define el estado actual son los objetivos del presente trabajo.

Se elabora un perfil crítico del talud, definiendo 3 estratos, el primero conformado por esquistos cuarcíticos, micáceos cloríticos, roca de excelente calidad con un RQD de 100%. El segundo estrato constituye la brecha de falla conformada por limo, y arcilla en predominancia y cuyos parámetros geomecánicos son los mas débiles, y el tercer estrato corresponde a un paleocoluvio conformado por bloques de hasta 0.50 metros en matriz limo arenosa.

Los 2 primeros estratos tienen definidos sus parámetros, en el tercer estrato se realizara variaciones de ángulo de fricción, peso específico del material y nivel freático.

Se realiza retro análisis partiendo de la inestabilidad del talud y de que su factor de seguridad es 1 para obtenerse los valores de los parámetros que deberían ser usados para cálculos en este talud. Los resultados son inferiores a los sugeridos en Hidropaute.

PALABRAS CLAVE:

Análisis de estabilidad, talud de la zona No 2, Guarumales, Factor de seguridad.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPITULO I

INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

- 1.1. INTRODUCCION AL PROBLEMA
- 1.2. OBJETIVO GENERAL
- 1.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS
- 1.4. METODOLOGIA
- 1.5. GEOMORFOLOGIA REGIONAL
- 1.6. GEOLOGIA REGIONAL E INVESTIGACIONES REALIZADAS EN LA ZONA

CAPITULO II

- 2.1 ESTUDIOS, PERFORACIONES E INVESTIGACIONES, MEDICIONES E INSTRUMENTACION, REALIZADAS EN LA ZONA No 2
- 2.2 ZONIFICACION Y DELIMITACION DE LA ZONA No 2
- 2.3 GEOMORFOLOGIA DE LA ZONA No 2
- 2.4 DESCRIPCION GEOLOGICA DE LA ZONA No 2- litología
- 2.5 HIDROLOGIA
- 2.6 PLUVIOMETRIA
- 2.7 DETERMINACION DEL VALOR TOTAL DE ESCORRENTIA
- 2.8 CALCULO DEL BALANCE HÍDRICO
- 2.9 AGUAS SUPERFICIALES E INFILTRACION EN QUEBRADAS
- 2.10 TOPOGRAFIA Y MONITOREO TOPOGRAFICO
- 2.11 REFERENCIAS FIJAS T8 Y PI9 Y VECTORES DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL EN LA SUPERFICIE.
- 2.12 EVALUACION DE DATOS OBTENIDOS CON LOS INCLINOMETROS INSTALADOS.
- 2.13 INCLINOMETROS
- 2.13.1 INCLINOMETRO PI9
- 2.14 CALCULO DE LOS VECTORES DE VELOCIDAD HORIZONTAL, VELOCIDAD VERTICAL, VELOCIDAD TOTAL, INCLINACIÓN, AZIMUT EN LA SUPERFICIE MEDIANTE MEDICIONES INCLINOMETRICAS Y GEODESICAS.
- 2.15 ESTUDIOS Y SONDEOS GEOTECNICOS (PERFORACIONES) EN LA ZONA No 2:
- 2.16 DETERMINACION DE LOS ESPESORES DE LOS ESTRATOS Y LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE ESTOS.
- 2.17 PARAMETROS GEOMECHANICOS OBTENIDOS EN LABORATORIO, MEDIANTE LA PERFORACION PI 9 Y PEG 2
- 2.18 PESO UNITARIO DE LOS MATERIALES DE LA BRECHA DE FALLA
- 2.19 RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES GEOFISICAS
- 2.20 RESUMEN DE FACTORES DESESTABILIZANTES EN LA ZONA No 2

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPITULO III

DESARROLLO CONCEPTUAL Y ANALISIS DE FACTORES QUE CAUSAN INESTABILIDAD EN LA ZONA No 2 EN GUARUMALES

- 3.1 INTRODUCCION A LOS DESLIZAMIENTOS
- 3.2 CLASIFICACION DE LOS DESLIZAMIENTOS:
- 3.3 FACTORES DESENCADENANTES DE MOVIMIENTO EN LA ZONA No 2
- 3.4 FACTORES GEOLÓGICOS
- 3.5 FACTOR LLUVIAS:
- 3.6 FACTOR SISMICO:
- 3.7 FACTORES TOPOGRAFICOS Y GEOMETRICOS (altura e inclinación):

CAPTULO IV

MODELIZACION DEL TALUD Y ANALISIS DE ESTABILIDAD.

- 4.1 INTRODUCCIÓN AL ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LA ZONA No 2
- 4.2 METODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE
- 4.3 DETERMINACION DEL MODELO GEOMETRICO PARA EL ANÁLISIS
- 4.4 ELECCION DEL EJE DE SECCION EN EL TALUD DE LA ZONA No 2.
- 4.5 DETERMINACION DEL PERFIL DEL TALUD
- 4.6 IDENTIFICACION DE LOS ESTRATOS DEL TALUD
- 4.7 DETERMINACION DE LOS ESPESORES DE LOS ESTRATOS DEL TALUD
- 4.8 DETERMINACION DE LOS PARAMETROS GEOMECHANICOS DE LOS ESTRATOS
 - 4.8.1 ESTRATO No 1: PARAMETROS C Y ϕ
 - 4.8.2 ESTRATO No 2: BRECHA DE FALLA. PARAMETROS GEOMECHANICOS (C y ϕ)
 - 4.8.3 ESTRATO No 3: PARAMETROS C Y ϕ DEL MACIZO ROCOSO
- 4.9 CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD DE LA ZONA
- 4.10 CONCEPTO DE FACTOR DE SEGURIDAD
- 4.11 CRITERIO DE ROTURA DE MOHR COULOMB
- 4.12 METODOS DE FALLA USADOS EN EL TALUD
 - 4.12.1 BISHOP IMPLIFICADO
 - 4.12.2 METODO MORGENSTERN – PRICE
 - 4.12.3 METODO DE LOWE Y KARAFIATH
- 4.13 HIPOTESIS DE ANALISIS DE ESTABILIDAD
- 4.14 RESULTADOS DE LAS HIPOTESIS:

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPITULO V

MEDIDAS PARA ESTABILIZAR EL TALUD DE LA ZONA 2 EN GUARUMALES

- 5.1 MODIFICACION DE LA GEOMETRIA DEL TALUD
 - 5.1.1 DISMINUCION DE LA INCLINACION DEL TALUD
 - 5.1.2 ELIMINACION DE PESO EN LA CABECERA DEL TALUD
 - 5.1.3 AUMENTO DE PESO AL PIE DEL TALUD.
- 5.2 DRENAJES
- 5.3 INTRODUCCION DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES RESISTENTES.
- 5.4 CONSTRUCCION DE ELEMENTOS DE CONTENCION.
- 5.5 PROTECCION SUPERFICIAL

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 6.1 CONCLUSIONES.
 - 6.1.1 SOBRE LA PARTE HIDROLOGICA:
 - 6.1.2 SOBRE LOS PARÁMETROS GEOMECHANICOS:
 - 6.1.3 SOBRE LOS SISMOS:
- 6.2 RECOMENDACIONES
 - 6.2.1 MANEJO HIDROLÓGICO
 - 6.2.1.1 EN QUEBRADAS
 - 6.2.2 MANEJO SUPERFICIAL

REFERENCIAS

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

FACULTAD DE INGENIERIA

Maestría en Geología Aplicada y Geotecnia

**“Análisis de la Estabilidad y Diagnóstico del Talud de la Zona No 2 en
Guarumales”**

Director:

Dr. Ing. Jaime Bojorque Iñiguez

**Tesis de graduación previa a la
obtención del grado de Magister
en Geología Aplicada y Geotecnia.**

Tutor:

Ing. Julio Robles Bolaños, MSc.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade

Cuenca Ecuador

Agosto del 2010

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

AGRADECIMIENTOS:

Mis más sinceros agradecimientos para todas aquellas personas que contribuyeron a la presente investigación, en el plano técnico la guía de mi director el doctor Jaime Bojorque Ñíguez fue fundamental para el impulso, revisión y guía de la presente tesis, así como un reconocimiento especial para el Ing. MSc. Julio Robles Bolaños conocedor de la parte geológica y técnica de Guarumales y en particular de mi zona de estudio. Una mención importante debo citar para el Ing. Nelson Reyes, quien se encargó de proporcionar la información necesaria de instrumentación, datos, registros y archivos que son la base de la cual se partió para realizar el presente análisis. A todos ellos, muchas gracias por la paciencia, el tiempo que me brindaron aun por encima de sus obligaciones, y sobre todo los conocimientos y consejos que me han impartido. Al doctor Esteban Samaniego mi agradecimiento por su gestión en la dirección de la maestría, por su esfuerzo que sacó adelante y que permitió la conclusión de la misma. En general a todos quienes hicieron posible la realización de este proyecto de maestría y a los profesores de la misma por saber enseñar sus valiosos conocimientos.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

DEDICATORIA:

A mi Madre y a mi familia en general, por la comprensión ante todo el tiempo que no pude compartir con ellos cuando estuve cursando la maestría y cuando estuve realizando la presente tesis. Más mi corazón está con ellos siempre, pero mi compromiso adquirido en esta maestría, está con la sociedad y mi país que exige cambios y aporte en el área investigativa y técnica.

Para todos los que hicieron posible este estudio dedico este trabajo, sin embargo es el momento de retribuir lo que un día empezó como un proyecto y hoy es una realidad, la culminación de esta maestría no es un logro personal, sino de la gente necesitada de ayuda que silenciosa e imperceptiblemente y de manera muy discreta invierte su espera para que se transforme en el apoyo técnico que permita su desarrollo urgente, para los más humildes dedico esta investigación.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPITULO I

INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

1.7. INTRODUCCION AL PROBLEMA:

La Central Hidroeléctrica Paute, la más grande obra hidroeléctrica del Ecuador en funcionamiento hasta el momento, se encuentra ubicada en la zona de Paute a 70 km de la Ciudad de Cuenca, y hacia el noreste de la Provincia del Azuay. Alimentada por el río Paute, es de vital importancia para el desarrollo del país, pues abastece actualmente con el 50% de energía eléctrica al Ecuador [1].

La zona del campamento de Guarumales que es desde donde se maneja este proyecto, está emplazada en la Cordillera Real y se ubica en el flanco derecho del río Paute, entre las coordenadas 9°714.000-9°715.500 y 777.000-779.000 (UTM) a unos 6,5 km aguas abajo del reservorio de la planta Hidroeléctrica denominado "Presa Daniel Palacios". Todo el campamento se trata de un movimiento de grandes dimensiones que preocupa tanto en su evolución como en su estabilización, ya que en este se encuentra construida la mayor parte de la infraestructura de control, administración y mantenimiento de Hidropaute, entidad encargada de administrar el proyecto.

Para dar mayor estabilidad al talud, varios estudios se han realizado en la zona a través de estos años, los mismos que han concluido en recomendaciones y medidas a adoptarse, además del constante monitoreo mediante instrumentación ubicada en diferentes lugares considerados críticos y que presentan movimiento evidente.

Pese a las medidas tomadas, tales como captación superficial y encauzamiento de agua a través de perforaciones para colocación de subdrenes horizontales, limpieza de quebradas, etc., que se adoptaron para estabilizar al talud en general, continúan presentándose movimientos independientes de masas, por lo que es urgente la evaluación del estado actual de este macro deslizamiento (deslizamiento de grandes proporciones) y sobretodo de las zonas que en los últimos tiempos han mostrado una preocupante aceleración de los movimientos, según los datos registrados en los instrumentos, como es el caso de la denominada zona No 2 ubicada dentro del sector de Guarumales (Fig. 1.1), la misma que está delimitada al norte por la quebrada "Ventanillas", al sur por la quebrada del taller automotriz o Q2, al este en el pie del talud por el río Paute a 1320 m.s.n.m. y al oeste por la vía Guarumales-Méndez en la cabecera y a una altitud de 1890 m.s.n.m., sin embargo los picos del talud llegan sobre los 2400 m.s.n.m., pero nos centraremos a realizar el análisis sobre la zona antes indicada, debido a que la parte superior del talud no genera mayores cambios hasta la fecha.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

A partir del mes de abril del 2000, se presenta una aceleración de los desplazamientos [2] en todo el campamento de Guarumales, y particularmente la zona No 2, que había sido considerada como estable por INECCEL pero que comienza a dar muestras de movimiento acelerado, y la infraestructura allí existente (taller automotriz y bodegas de Hidropaute), presenta agrietamiento (fisuras en las paredes) de hasta 2 cm y hundimientos de hasta 5 cm, a pesar de que la mayoría de la infraestructura en Guarumales fue cimentada sobre losas, por esta razón la urgencia de realizar un análisis de estabilidad, con la finalidad de obtener respuestas del porqué de esta activación de movimiento y que lo está causando, buscando respuestas que se traduzcan en planteamiento de soluciones y medidas a adoptarse en la zona No 2. Esta investigación se convertirá en el motivo de nuestro estudio, y que será el objetivo principal de la presente Tesis.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

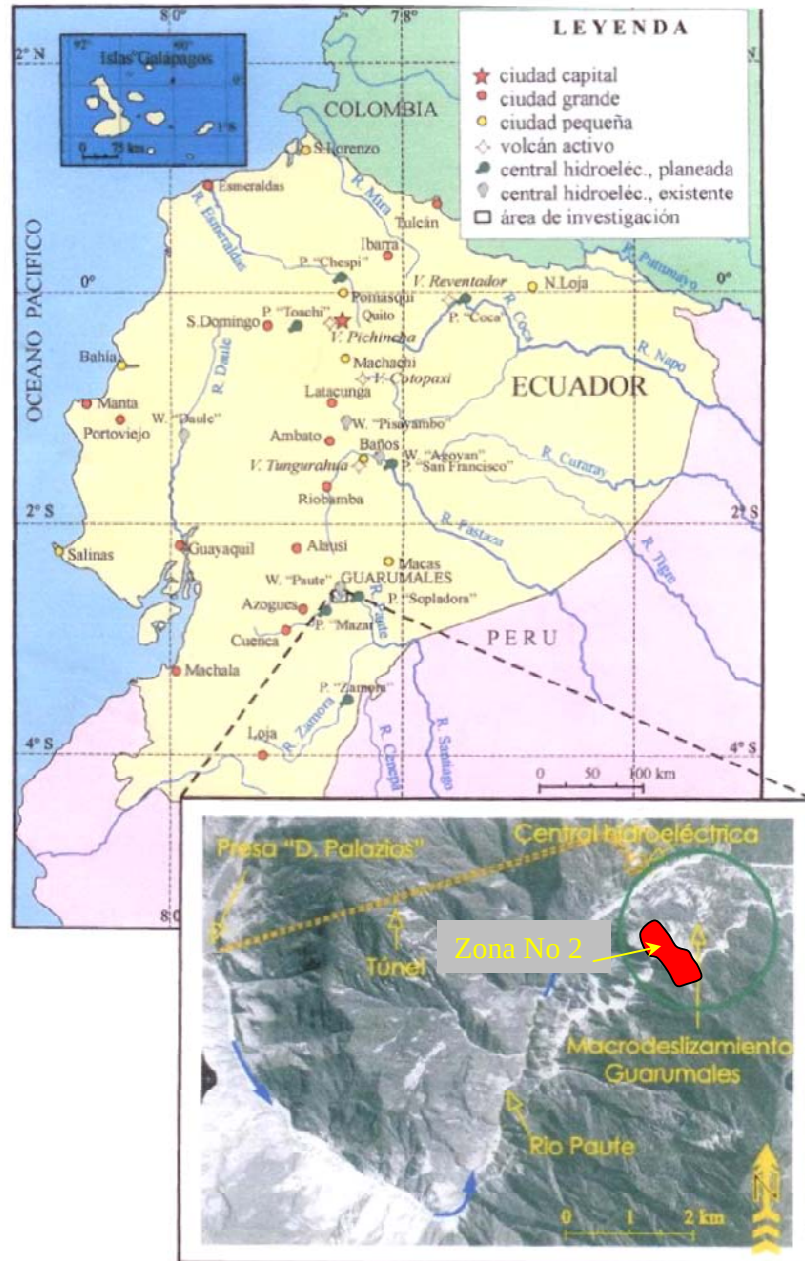


FIG 1.1 UBICACION DE LA ZONA No 2 EN EL CAMPAMENTO DE GUARUMALES [3]

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

1.2 OBJETIVO GENERAL:

El objetivo primordial de esta investigación es:

- Evaluar el estado actual de la zona No 2 de Guarumales, mediante el análisis de estabilidad y la obtención del factor de seguridad del deslizamiento, y proponer medidas de estabilización.

Para el cumplimiento de este objetivo, como primer paso se ha recopilado mapas geológicos de Guarumales (Fig. 1.2), fotos aéreas de la zona (Fig. 1.1), los datos de perforaciones y testificación, ensayos de campo, e información del monitoreo a través de instrumentación colocada en la zona No 2¹.

Estos registros de la parte geológica, hídrica, y geomecánica de esta zona, se procesan y se analizan para correlacionarlos con factores externos que actúan sobre el terreno y poder definir el comportamiento de los materiales que conforman el talud a través de un modelo con mecanismo de deformación y rotura [4].

1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Analizar y validar de los trabajos de estabilización realizados hasta la fecha.
- Determinar las causas en los cambios de velocidad sufridos por la zona No 2 y los factores que influyen en la reactivación de su movimiento.
- Determinación de los parámetros geomecánicos de la capa coluvial a través de la obtención del factor de seguridad cercano al equilibrio precario de la zona afectada, mediante el análisis de equilibrio límite.
- Proponer acciones de estabilización y/o mitigación.
- Analizar la estabilidad variando el nivel freático a diferentes posiciones y variando los parámetros geomecánicos.

1.4 METODOLOGIA

Se parte de obtener información a través estudios geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos, topográficos, fotografías de la zona en análisis, con la finalidad de identificar procesos que se producen, tipos de movimiento, tipos de materiales, descripción litológica, fallas, discontinuidades, estratificación, foliaciones, fuentes de agua y sus direcciones de movimiento.

Luego se realizaron reconocimientos in situ del lugar mediante inspecciones de campo en donde se pudo identificar los materiales que conforman la zona en partes denudadas y al descubierto, en las que se puede

¹ Todos estos registros fueron suministrados en bases de datos por Hidropaute.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

observar y sin la presencia de la capa vegetal. Se apreció la topografía y morfología de la zona, además de verificar la instrumentación colocada hasta el momento en la zona en estudio. Para este fin Hidropaute asignó a un instrumentista para la colaboración con el presente proyecto. Además se recibió la información instrumental, procesos de medición, la periodicidad de las mediciones, y el cronograma de toma de datos de la zona No 2.

Se guardó constancia de lo anotado mediante fotografías, de referencias fijas colocadas, instrumentación en funcionamiento, recuperación de caudales con sub drenes en zonas aledañas, y se recibió archivos digitales de los datos hasta la fecha, además de fotografías de vistas aéreas de todo el campamento de Guarumales y por sectores.

La información digital recibida fue sobre:

- Estudios e investigaciones geomecánicas realizados en la zona No 2, a través de perforaciones como la PI9 y PEG 2 con lo que se obtuvo la litología y estratigrafía. Se obtuvo los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio de suelos de la Universidad Central en Quito, de las muestras de la brecha de falla y la determinación de los parámetros geomecánicos c y Φ .
- Información sobre la topografía para estudios de control de deslizamiento mediante nivelación trigonométrica cuyo objeto es establecer los vectores de deslizamiento, direcciones y obtener velocidades de movimiento.
- Mediciones en referencias fijas o hitos colocados, para que el control geodésico sea comparado y verificado con el control topográfico.
- Control de movimiento mediante inclinómetros de los que se obtienen velocidad, dirección y planos de rotura.
- Datos de niveles freáticos alcanzados durante época de lluvia y en condiciones de no época invernal que se usarán como hipótesis para representar la superficie freática, distintas condiciones.
- Datos pluviométricos para valores máximos de pluviosidad.
- Datos meteorológicos.

Una vez procesada esta información recopilada se elabora la geometría y el perfil del talud con su distribución litológica interna, ubicación de la zona de falla, identificación de los materiales que la conforman, y obtención de los parámetros geomecánicos de cada uno de los materiales que forman parte del talud.

Luego se realiza el análisis de estabilidad mediante el programa computacional "Slide" basado en equilibrio límite. Con la obtención de estos resultados se evalúa el talud para determinar el factor de seguridad actual, se saca conclusiones, se da recomendaciones, así como medidas de estabilidad que deberían tomarse sobre el mismo, y sugerencias dirigidas a mejorar la estabilidad del talud en la zona No 2.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

En el proceso de investigación de la estabilidad de la zona No 2 se realizarán varias condiciones críticas con el nivel freático haciéndolo variar a diferentes profundidades consideradas las más desfavorables para su estabilidad con el fin de observar los resultados de los modelos computacionales generados.

De la misma manera se realizarán estudios variando los parámetros geomecánicos c y Φ del coluvión que es el material en el cual no se ha podido definir con exactitud, estos valores y se analizará como afecta a la estabilidad del mismo si los resultados obtenidos en el laboratorio no son los verdaderos y no representan los valores que tiene el talud en su interior.

1.5 GEOMORFOLOGIA REGIONAL

El campamento de Guarumales se asienta en la cordillera Real que forma parte de los Andes ecuatorianos que a su vez atraviesan todo el país y se orientan en sentido NNE-SSW y alcanza alturas de 4500 metros en el sur del Ecuador [5]. Originados por la transición de la era geológica secundaria a la terciaria del Mesozoico al Neozoico (Cenozoico) debida a intensas fuerzas orogénicas que conforman el geosinclinal andino , constituyen la Sierra y dividen al territorio de la zona costera occidental o litoral y la región oriental. Se divide en dos cordilleras, la Occidental, luego un Valle o llamado también Callejón Interandino y la cordillera Central o Real². [6].

En el Ecuador, las vertientes orientales de los Andes están formadas por metamorfitas, las que han sido atravesadas por magmatitas y cubiertas por piroclastias. Una frontera geomorfológica al interior del valle del río Paute es la represa de Amaluza de la Central Hidroeléctrica de Paute en donde la cordillera Real es cortada por el río Paute, debido a un estrechamiento de los valles el que se extiende hasta la región subandina pasando por la zona de Guarumales [3].

En la zona de Guarumales, a unos 2 km al oeste, está la granodiorita de Amaluza que es muy susceptible de ser meteorizada pero con una morfología uniforme y homogénea, con una red de drenaje dentrítica, estrecha y homogénea. La característica principal de esta zona es que en regiones en donde afloran esquistos grafiticos cloríticos y muscovíticos se ven depresiones morfológicas mientras que en donde se observan rocas más recientes como esquistos, cuarzo-muscovíticos o gneissicos las pendientes son más empinadas y abruptas, hay paredes rocosas o zonas elevadas de montaña . Si comparamos entre la morfología de la granodiorita observamos que esta es de tipo redondeada, mientras que los paisajes conformados por metamorfitas (zona de estudio), tiene formas asimétricas, puntiagudas y filosas [3].

La cuenca del Paute es profunda y en forma de V, con un suelo del valle muy estrecho que da lugar a la circulación del río de su mismo nombre, que a su

² La Cordillera Real es en el que se asienta el proyecto Hidroeléctrico Paute. [5]

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

vez es alimentado por ríos secundarios, lluvia de la propia cuenca y por aguas subterráneas. Los ríos secundarios, riachuelos y quebradas tienen una dirección paralela con la dirección estructural NW-SE de la zona en estudio y con la dirección NE-SW a nivel regional. El río Paute tiene un perfil longitudinal muy irregular y su ancho también es variable debido a un decremento del levantamiento andino, represamiento de drenaje y la resistencia de rocas de montaña como la granodiorita Amaluza. Aguas arriba de la represa de Amaluza se visualizan restos aislados de terrazas aluviales que luego de la represa desaparecen. La fuerza erosiva del río es debida a su velocidad, esto hace que se produzcan gran cantidad de deslizamientos permanentemente. [7].

1.6 GEOLOGIA REGIONAL E INVESTIGACIONES REALIZADAS EN LA ZONA

1.6.1 GEOLOGIA REGIONAL:

La Geología del sector la conforman:

En el Paleozoico:

Terreno Loja:

- **Unidad Agoyán, (PZLa):** Ubicada al norte de la cordillera Real, está conformada por rocas de esquistos gráficos, granatíferos y semipelitas de muscovita. [8].
- **Unidad Chiguinda, (PZLc):** Esta aflora al sur de la cordillera Real y posiblemente del mismo origen que la unidad Agoyán y está constituida por rocas cristalizadas con foliación sub paralela y fuertes inclinaciones, y se encuentran aquí cuarcitas, esquistos gráficos, filitas negras y grauvacas metamorfizadas en menor cantidad. [8].

En el Triásico Superior:

Terreno Loja:

- **Granito Tres Lagunas, (TrL):** En el terreno Loja hay una intrusión de un cuerpo plutónico de granito porfírico con cuarzo azul que ocurrió hace 200 a 220 millones de años [9]. Tiene foliación estrecha, aunque existe rocas de grano grueso a medio y el granito Tres Lagunas tiene un origen de corteza continental ("S") [10].

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Jurásico a Cretácico Inferior:

Terreno Salado:

- **Unidad Cerro Hermoso, (JSh):** existen secuencias calcáreas, como también franjas marmoreas en el interior del terreno Salado y de la unidad Upano. [8].
- **Unidad Upano, (JSu):** todo el sector de Guarumales y por lo tanto la zona No 2 en estudio, se encuentran en esta unidad caracterizada por tener esquistos verdes metandesíticos, metagrauvacas, metapelitas y esquistos grafiticos, tiene una foliación penetrativa y bastante buzamiento, contiene venas e intrusiones de cuarzo y calcita con buzamiento paralelo a la foliación [11]. Sus fronteras con otras unidades son tectónicas es posible una transición continua con la unidad Cujuya., [12].

Tereno Alao:

- **Unidad Manguazo, (JAm):** contiene turbitas metamorizadas y rocas volcánicas y conforma una zona de 200 km de largo por 5 a 10 km de ancho[8]. Esta unidad podría ser una cuenca de arco marino de antearco en la que se depositó material erosionado del arco volcánico oceánico Alao Paute. La existencia de turbitas es un indicativo del medio altamente energético de depositación. [8].
- **Unidad Alao-Paute, (JAa):** El terreno Alao en algunas regiones llega a tener un ancho de 15 km y constituye un cinturón de rocas verdes con una foliación de buzamiento muy fuerte. Las fronteras con las unidades El Pan-Maguazo son tectónicas. Está formada principalmente por lavas metamorizadas y también esquistos pelíticos y grafiticos, cuarcitas y mármoles, también se registran venas e intrusiones de calcita. [8].
- **Unidad El Pan, (JAe):** compuesta por metamorfitas, rocas verdes masivas al exterior de la unidad. Básicamente está conformada por esquistos verdes clorito-calcítico-cuarcíticos, esquistos grafiticos y porfilitas-sericito-cuarcíticas. [8].
La unidad El Pan podría representar la cuenca marina de post arco del arco de islas Alao-Paute. [8].

Cretácico:

- **Formación Yunguilla, (Ky):** está formada por arcilla negras, areniscas tobaceas y tobas
- **Formación Napo, (KN):** se caracteriza por su contenido de calizas y lutitas negras.
- **Formación Napo, deformada(KNd)**

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- **Formación Hollín(KH):** contiene cuarcitas blancas.
- **Formación Hollín, deformada(KHd)**

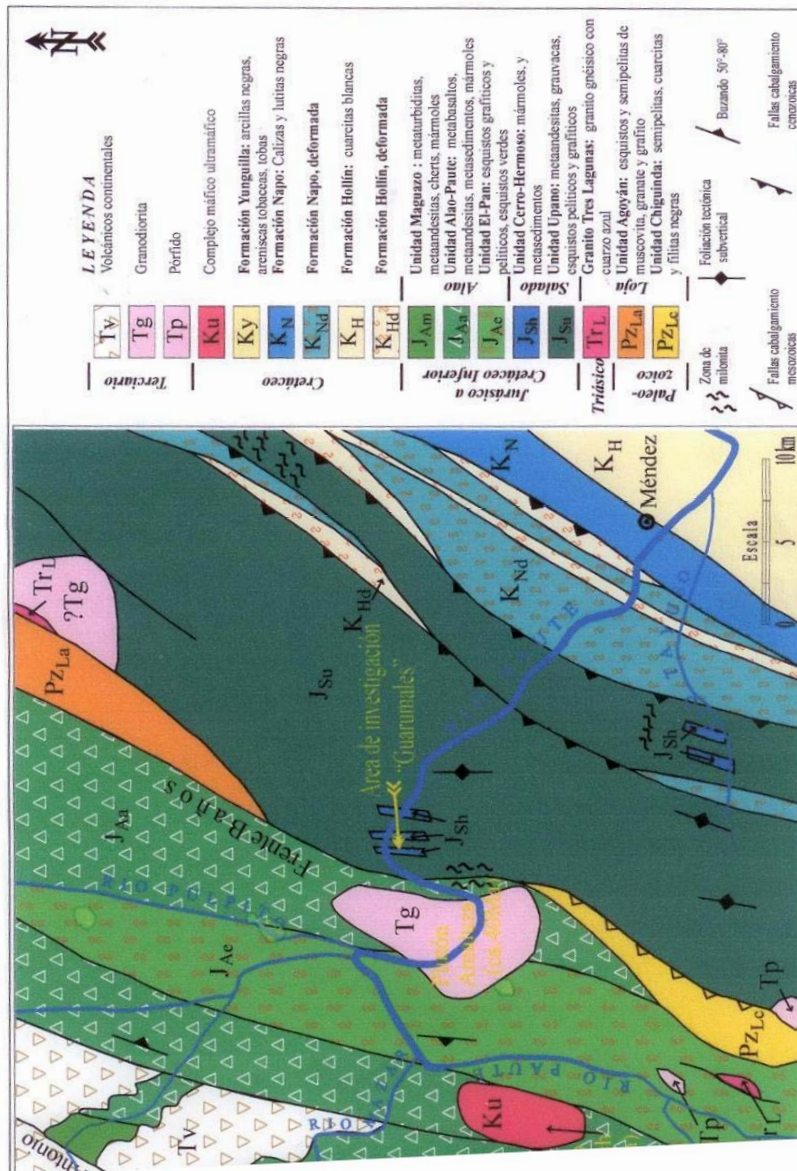
Terciario:

- Volcánicos continentales
- Granodiorita
- Pórfido

En conjunto toda la zona que incluye a Guarumales hasta la Ciudad de Méndez está compuesta por sedimentos metamorfizados y vulcanitas intruidos por granodioritas en el Terciario y contiene a las unidades cerro Hermoso del terreno Salado, Upano y la unidad Alao Paute que pertenecen al período Jurásico. Luego están las unidades Agoyán y Chiguinda que pertenecen al Paleozoico y la unidad "El Pan" de la formación Alao que pertenece al Jurásico, no visibles en la zona de estudio pero fuera de Guarumales son visibles.(Fig.1.2). Más hacia el Oeste están las rocas de la Formación Yunguilla, que son rocas máficas, porfíricas y productos piroclásticos continentales [3].³

³ La zona No 2 está constituida por rocas Metapelitas del Terciario y rocas cuarzo-Feldespáticas [12]

Autor:



G 1.2 GEOLOGIA REGIONAL; UNIDADES GEOLOGICAS DE LA ZONA Y UBICACION GEOLOGICA DE GUARUMALES INCLUIDA AQUI LA ZONA No 2 EN ESTUDIO, [8].

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

1.6.2 LITOESTRATIGRAFIA DE LA ZONA DE GUARUMALES

Las rocas en la zona de Guarumales fueron divididas de la siguiente manera según el estudio de Villegas en 1998 [12].

TABLA 1.1
CLASIFICACION DE LAS ROCAS DE ACUERDO A VILLEGAS (1998)

1. METAPELITAS:
 - Esquistos albítico-cuarcítico-muscovítico-clorítico
 - Esquistos grafiticos
2. ROCAS CUARZO FELDESPATICAS:
 - Gneis albita-cuarcítico-biotítico
 - Gneis albita-cuarcítico-muscovítico
3. METABASITAS:
 - Esquistos tremolíticos
 - Gneis albítico-epidotítico-clorítico-cuarcítico
4. ROCAS CARBONATADAS
 - Mármol
 - Skarn
5. ROCAS SUBVOLCANICAS METAMORFIZADAS

De la clasificación realizada en la tabla 1.1, las metapelitas son las mayormente encontradas. En las partes inferiores del talud existen depósitos importantes de sulfuros vulcanogenéticos en el interior de las metapelitas, además de metamorfitas calcáreas también en la parte inferior pero hacia el NW y en pocos metros de espesor. Afloran como skarns⁴, mármoles y metabasitas calcáreas [12].

La subdivisión Alao Paute desde el punto de vista Litológico es una roca verde andesítica, masiva cizallada y esquistosa en el norte donde la sobrepresión tecno metamórfica es mayor; pero en otros lugares se conservan las texturas relícticas ígneas y minerales, en el sur predomina las facies de esquistos verdes como clorita, albita, cuarzo, epidota, biolita, actinolita. Otras litologías son esquistos verdes, esquistos pelíticos y grafiticos, mármoles oscuros. Se puede apreciar también aglomerados a lo largo del río Paute [13] morfológicamente delimitada por afloramientos de rocas metamórficas correspondiente a afloramientos cloríticos, seríticos y micáceos de la unidad geológica PZ-1.

⁴ Los skarns evidencian la ocurrencia de metamorfismo de contacto al W de la zona de investigación [18]

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

1.6.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL DEL AREA DE GUARUMALES EN GENERAL:

Toda el área referida es parte de la franja metamórfica Pre cretácica de la cordillera Real de los Andes y sus estructuras regionales y planos de foliación están orientados al NNE-SSW buzando hacia el NW [13]. Guarumales pertenece a las unidades Upano y Cerro Hermoso, además de la unidad Alao-Paute de la formación Alao tal como de lo indica la Fig. 1.2.

Existen dos direcciones de lineaciones regionales principales (discontinuidades, foliaciones, grietas, fisuras), denominadas "S1" que es la foliación principal ($252^{\circ}/85^{\circ}$) que podrían ser la razón para la ocurrencia de los deslizamientos, ayudados por su gran buzamiento además de la presencia de agua entre fisuras y se las ubica principalmente en rocas metamórficas, y "S2" denominada foliación secundaria (diaclasas), que no solo están en el área de estudio sino en áreas contiguas e inclusive en el talud izquierdo del río Paute y la caracterización de esta superficie de discontinuidad como foliación secundaria se dio a través de la observación microscópica de muestras de roca [3].

Estudios realizados [13] determinan la existencia de una falla denominada F1 causante de la mineralización de los sulfuros en la roca metamórfica, y tanto planos de foliación cuanto las estructuras regionales están orientados al NNE buzando al NW. Estos estudios se realizaron mediante las perforaciones PEG 3 Y PEG 4, realizadas por Hidropaute, que han determinado que la falla geológica atraviesa con rumbo $N30^{\circ}W$ y N-S y buzamiento de 56° a 86° NE con un ancho de 25m de roca fracturada y mineralizada conformada por pirita, óxidos de hierro y calcopirita.

En la Fig. 1.3 se observa el mapa geológico de Guarumales, en donde se muestra en el área, depósitos, litología, discontinuidades y otras estructuras geológicas como diaclasas, lineaciones, fallas de rumbo, afloramientos tomadas del trabajo de Villegas [12]. El resumen de las familias de discontinuidades existentes en Guarumales se presentan en la Fig. 1.3 y su clasificación se indica en la Tabla No1.2, estas corresponden a toda el área de Guarumales en donde esta incluida la zona No 2.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

TABLA No1.2
FAMILIA DE DISCONTINUIDADES EN LA ZONA DE GUARUMALES; [3]

A. Discontinuidades Regionales



Azimut de buzamiento	Angulo de buzamiento	Nomeclatura	Observaciones
252°	85°	"F"	Foliación – S1(Zona 2)
313°	20°	"A"	Foliación – S2
335°	78°	"B"	Fallas Normales
270°	42°	"C"	Deslizam flanco derecho Guarum

B. Dscontinuidades Secundarias (Dentro del Area de investigación)

329°	47°	"w"	Fallas Normales y resbalamiento
34°	81°	"x"	Fallas de rumbo sinestrales
139°	50°	"y"	
42°	34°	"z"	Desliz flanco izq Guarum

C. Discontinuidades Secundarias(De importancia fuera del area en estudio)

247°	64°	"1"	
270°	72°	"2"	
135°	26°	"3"	
64°	54°	"4"	

D. Discontinuidades sobre la carretera "Guarumales-Mendez"

360°	65°	"P"	Fallamiento Normal Principal
2°	30°	"G"	Desliz en sectores C10 y D10

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade

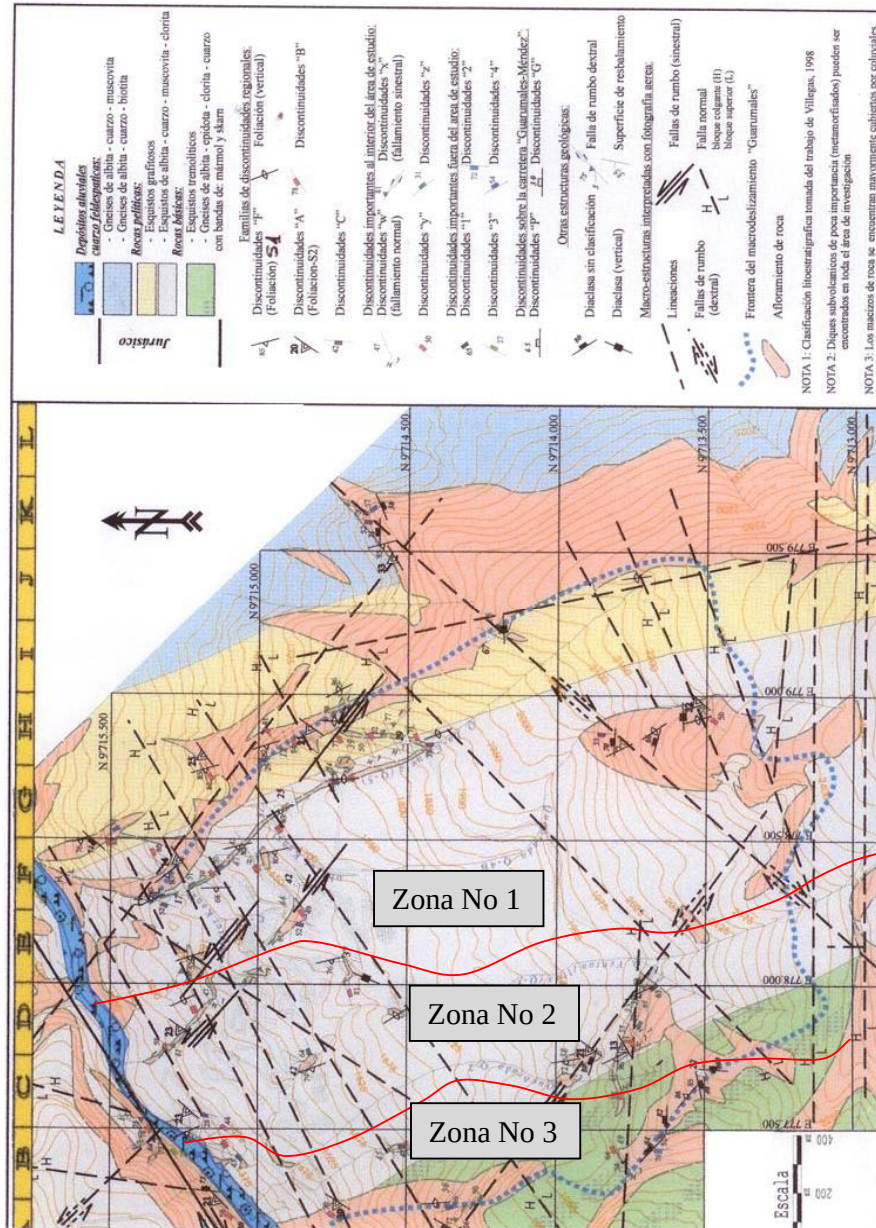


FIG 1.3 MAPA GEOLOGICO DE GUARUMALES TOMADO DE LITHERLAND ET AL 1994. [8], ZONA No 2 UBICADA ENTRA LAS QUEBRADAS Q2 O DEL TALLER AUTOMOTRZ Y LA QUEBRADA VENTANILLAS .

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPITULO II

2.1 ESTUDIOS, PERFORACIONES E INVESTIGACIONES, MEDICIONES E INSTRUMENTACION, REALIZADAS EN LA ZONA No 2

Estudios y actividades han sido realizados desde el año 1974 hasta la fecha pero entre los más importantes están los presentados en la tabla No 2.1 en los que se cita el año, los autores, las actividades realizadas en resumen y el lugar dentro del campamento general de Guarumales.

TABLA No 2.1
(RESUMEN DE TRABAJOS REALIZADOS EN GUARUMALES PARA LA ELABORACION DE LA PRESENTE INVESTIGACION)

BREVE HISTORIAL DE ACTIVIDADES E INSTRUMENTACION IMPLANTADA A LADO (ZONA 1) Y EN EL AREA DE ESTUDIO (ZONA 2)			
AÑO	EVENTOS Y ACCIONES	AUTOR	LUGAR
1974	En los estudios para la construcción del proyecto se dan las primeras manifestaciones de inestabilidad	Wade	ZONA 1 Y 2
1975	Reconocimientos Geofísicos preliminares	INECEL	ZONA 1 Y 2
1980	Investigaciones que demuestran inestabilidad en la zona	Murais	ZONA 1 Y 2
1986	Evaluación de los movimientos superficiales	Lucano	ZONA 1 Y 2
1986	Evaluación de los movimientos superficiales	La Torre	ZONA 1 Y 2
1986	Seguimiento topográfico de los desplazamientos	INECEL	ZONA 1 Y 2
1990	Inicio de los reconocimientos del área.	INECEL	ZONA 1 Y 2
1991	Investigaciones geofísicas, 5 perforaciones, 4 inclinómetros, 1 piezómetro OBJETIVO: Conocer la geometría de la superficie de falla	INECEL	ZONA 1
1993	Varias zonas se deslizan al pie del talud por incremento de caudal debido a la ruptura del embalse de la Josefina. Se realizan 4 Perforaciones, y colocan 5 inclinómetros, 2 piezómetros a más de los existentes	INECEL	ZONA 1
1995	12 Perforaciones verticales, instalándose 9 inclinómetros, 3 piezómetros tipo Casagrande, además se realizan 30 drenes subhorizontales	INECEL	ZONA 1 Y 2
2000	Análisis de Peligrosidad de Grandes deslizamientos de la República del Ecuador, con el caso ejemplo Guarumales	Fabián Vásconez	ZONA 1 Y 2
2001	Evolución del Macrodslizamiento de Guarumales Período Diciembre 1999 - Enero 2001	Vásconez y Vásconez	ZONA 1 Y 2

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

INECEL recopiló información como datos geológicos, mapas topográficos y datos de los sondeos realizados en diferentes sitios del campamento de Guarumales, durante los estudios de factibilidad para la construcción del proyecto hidroeléctrico Paute y han sido transmitidos para esta investigación. Para el monitoreo y control esta misma entidad efectuó perforaciones verticales que las ha llamado PI9⁵ y PEG2⁶, de las cuales ha obtenido testigos en cada una de los sondeos, se realizaron igualmente perforaciones subhorizontales que tienen doble función, analizar el material de testigo que se obtiene y colocar tubería que sirve de drenaje para sacar agua del interior del talud, pero que en la zona No 2 no se realizaron. También efectuó sondeos de resistividad eléctrica en la parte inferior del talud que sirvió para determinación de los espesores de los materiales, igualmente para definir las propiedades físico-mecánicas del subsuelo (diferentes estratos que forman el coluvión) y ratificar los resultados con los sondeos verticales. Con los resultados de la sísmica de refracción, los datos de los sondeos verticales y de los gráficos que se han realizado de los datos de los inclinómetros, se procederá a elaborar el modelo geológico de la zona de riesgo dibujando su geometría y ubicando el plano de falla.

2.2 ZONIFICACION Y DELIMITACION DE LA ZONA No 2

El sector del campamento de Guarumales está delimitado por las quebradas Q1 al sur y la Q5 (Quebrada de la Escuela) en el norte, hacia el oeste como frontera está el río Paute, mientras que al este está la carretera Guarumales-Méndez, tiene un área aproximada de 5,5 km². Se ha denominado por parte de INECEL como zona No 1, a la comprendida entre las quebradas Q3 (llamada también quebrada Ventanillas) y Q5, mientras que la zona No 2 que se va a analizar, está comprendida entre las quebradas Q3 y Q2 (llamada también quebrada del Taller Automotriz, por su proximidad al mismo). Finalmente se denominó zona No 3 a la ubicada entre las quebradas Q 1 y Q 2.

Las divisiones entre quebradas dieron una pauta para la división por zonas de Guarumales pero también se usaron los siguientes criterios:

- Zonas con características geomorfológicas similares.
- De acuerdo a la velocidad de movimiento detectado mediante instrumentación topográfica e inclinómetros (desplazamiento en un cierto tiempo) y ubicado en una fotografía aérea escala 1:5000.
- Criterio de límites de elevaciones y quebradas.
- Criterio de formación de depresiones, esto es visto desde el edificio de control en el talud izquierdo y mediante la ayuda de un estereoscopio (se ve la imagen en tres dimensiones), se identifica las depresiones que se

⁵PI 9 : Pozo Inclinométrico 9. En donde se colocó un inclinómetro además de la obtención de testigos.

⁶PEG 2: Perforación Guarumales 2. Sirvió para testificación geotécnica y se la realizó en 1995.

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

forman en la imagen observada, y luego se divide el área por regiones que delimitaron a la zona No 2.

Guarumales también ha sido subdividida en 12 sub zonas por Vásconez [3] con la finalidad de establecer regiones por similitud en las velocidades y las direcciones de los movimientos, sin embargo para el estudio como talud se siguió la delimitación inicial, es decir la comprendida dentro de las quebradas Ventanillas y la Q2 o del taller Automotriz para denominarse como zona No 2 en general, teniendo en cuenta el río Paute como frontera oeste y su límite este va hasta la carretera Guarumales – Méndez puesto que es aquí en donde se visualiza la brecha de falla hacia un costado de la misma.

La zona No 1, se encuentra a la izquierda de la zona No 2 (Fig. 1.3), aquí están ubicadas, la escuela, gasolinera, hospital, comedor, oficinas administrativas, planta de agua, etc. Es la zona en la que mayor atención captó debido al comportamiento de su masa y los movimientos que esta presentó, además de la importancia de salvaguardar la vida del personal que labora en el campamento, en caso de deslizamiento del talud. Por esta razón existe mayor instrumentación aquí que en las otras zonas.

En la zona No 2, están ubicadas las Bodegas de Hidropaute, en donde se almacena gran cantidad de implementos, accesorios, maquinaria, repuestos, etc. para el mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Paute, estos son de vital importancia para la operación y generación de energía eléctrica, pues el desabastecimiento o el daño en los mismos ocasionaría la paralización en la generación de electricidad, con las consecuencias catastróficas para el país. Además, se ubica el taller automotriz, que proporciona mantenimiento a todos los vehículos de INECEL que transportan al personal.

La zona de estudio ubica la cota más baja en 1325 m.s.n.m. al río Paute, como límite norte de cumbre principal; mientras que la más alta es de 2150. Localizada entre las coordenadas E 777000 y E 778000 (Longitud) y entre 9714000 y 9715500 (latitud).

En el límite este de la zona de análisis, es la carretera Guarumales-Méndez que en el trayecto del campamento de Guarumales está entre las cotas 1975 m,s,n,m, hacia el oeste y 1850 m.s.n.m. en el este. En total tiene un área de 0,434 km² (medición realizada sobre el archivo digital del levantamiento topográfico de la zona de Guarumales, mediante la obtención del área a través del programa Autocad.)

2.3 GEOMORFOLOGIA DE LA ZONA No 2:

La zona en estudio es de pendientes grandes con sus crestas terminando en filo típico de terreno montañoso pero intercalado por pendientes suaves debido a coluvios y paleocoluvios que son los lugares que producen inestabilidad.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade

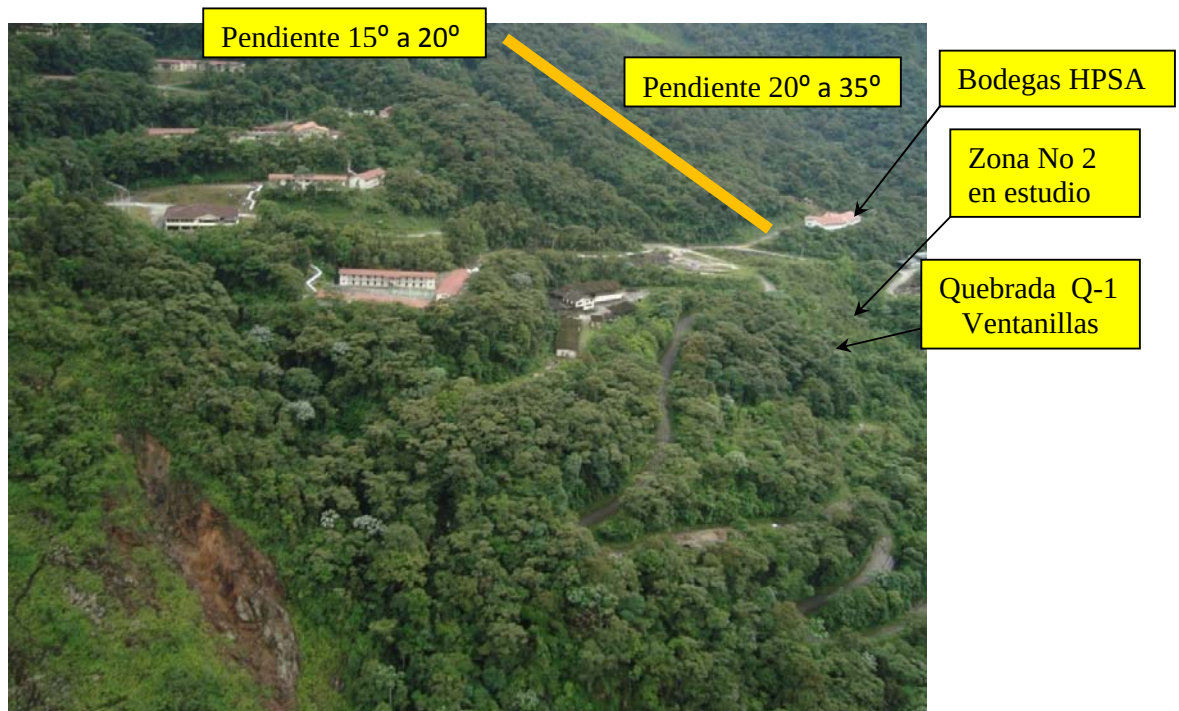


UNIVERSIDAD DE CUENCA

Estas pendientes están orientadas hacia el NNW y algunas forman zonas de depositación de sedimentos.

En la parte superior del talud de la zona No 2, se ven sus crestas denudadas en algunas partes mientras que en otras aparecen recubiertas por parte del coluvión meteorizado y transformado en suelo cubierto de una pequeña capa vegetal. También se aprecia la gran cantidad de terrenos desforestados carentes de vegetación originaria del lugar, actualmente reemplazada por pasto.

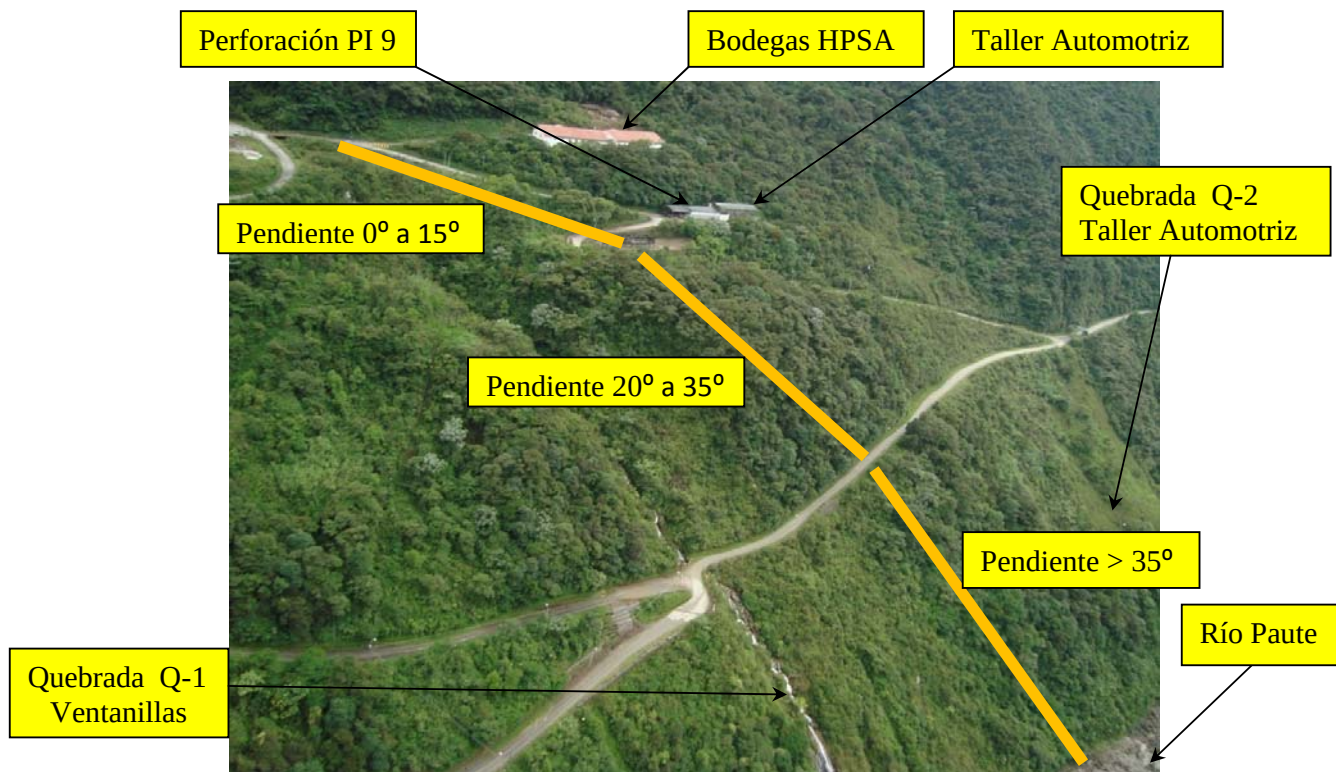
Esta área se encuentra dentro de la subdivisión de rocas verdes Alao Paute que aflora en una franja de 10-25 km de largo desde el río Pastaza al norte y 200 km hacia el sur hasta el río Paute-Sigsig [13].



FOTOGRAFIA No1: Fotografía aérea en donde se observa gran parte del campamento de Guarumales y se visualiza la zona No2 en estudio a la derecha del mismo. (Tomado del Archivo digital de Hidropaute).

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



FOTOGRAFIA No2: Fotografía de la zona No2 entre las quebradas de ventanillas y la del taller automotriz. Al pie el Río Paute. (Tomado del Archivo digital de Hidropaute).

En la fotografía No1 se identifica la zona No 2 entre las quebradas Ventanillas y la del taller Automotriz (Q2), así como otros edificios del campamento y el abrupto cambio de pendiente en dirección NW, además al pie del talud se aprecia que la pendiente es más pronunciada que la parte superior.

En la fotografía No 2 se aprecia las estructuras que están siendo afectadas por los movimientos del talud como son Bodegas HPSA (Hidropaute S.A.) y el taller Automotriz. Además, el camino de acceso a los mismos desde la parte superior e inferior.

En cuanto a las pendientes que se presentan en la zona No 2 y partiendo desde el río Paute se tienen 4 tipos de pendientes:

- 1) De $> 35^\circ$ desde el río Paute hasta la vía a la casa de máquinas.
- 2) De 20° a 35° desde la vía a la casa de máquinas hasta el taller Automotriz

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- 3) De 0° a 15° en la plataforma de infraestructura donde está el taller Automotriz hasta el fin de las bodegas HPSA⁷.
- 4) De 20° a 35° desde las bodegas HPSA hasta la cota 1650 m.s.n.m. y de allí en adelante de 15° a 20° hasta la carretera Guarumales Méndez que es el límite de estudio ya que allí aflora la brecha de falla y por tanto para la parte superior a la vía es estable el talud.

De lo anotado anteriormente, se observa de que se trata de un flanco convexo, como lo son la gran mayoría de flancos del Valle del Paute, en donde debido a su morfología, toma importancia los procesos de erosión lineal en la región de pie de talud a causa de las grandes velocidades que tiene el río Paute.

2.4 DESCRIPCION GEOLOGICA DE LA ZONA No 2- litología

La zona No 2 y en general la zona de Guarumales están asentadas sobre la formación del Grupo Zamora (UNIDAD PZ1), perteneciente al PALEOZOICO, conformada por:

ESQUISTOS: Cuarcíticos, Micáceo cloríticos, con algunas intercalaciones de cuarcita[3].

Es apreciable a simple vista en los cortes realizados para la construcción de la carretera Guarumales – Méndez, la alternancia de Esquistos Cloríticos-seríticos, gráfiticos, micáceos, metaandesitas y cuarcitas. Sobre esta formación se encuentra un paleosuelo natural con un espesor de 3m conforme a datos obtenidos en la perforación PI9 y formada por un limo gris y una arcilla verdosa que hoy definen la brecha de deslizamiento, pero el espesor de la brecha es variable puesto que en la parte superior disminuye hasta un espesor de 1,0 m y su ubicación está a solo 12 m de profundidad de acuerdo a la perforación PEG 3 si bien no está ubicado en la zona No 2 sino en la zona 1 pero son puntos cercanos a la zona en estudio. Aunque más arriba en la perforación PEG 5 también cercana al punto en estudio su espesor retorna nuevamente a 2,5m a la misma profundidad de 12m. Sin embargo el PEG 2, ubicado en la zona de análisis, la brecha de falla se encuentra a una profundidad de 3 a 4 metros y su espesor es de 1 metro, lo que nos confirma la forma característica de un paleocoluvio con microcuencas a lo largo y ancho de su área, las mismas que ayudan a la estabilidad del talud.

Luego, sobre el paleosuelo se encuentra el depósito coluvial compuesto por bloques guijos y fragmentos de tamaño grava, sub angulares y angulares, de origen metamórfico, alterados, con matrices de limos, y limos arcillosos de baja plasticidad y matriz limosa de color café claro a café amarillento y esquistos cuarcítico clorítico alterados.

⁷ Estas pendientes fueron modificadas para la construcción de las bodegas HPSA y el taller automotriz, originalmente eran de 20° a 35°, actualmente de 0° a 15°.

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La orientación de las estructuras geológicas es determinante en el proceso morfodinámico que tienen los taludes. En la zona de Guarumales INECCEL, realizó una clasificación de las discontinuidades (Tabla 1.1), tomando en cuenta el rumbo y el buzamiento que éstas presentan; se las dividió en foliación principal, secundaria, estratificación, diaclasas grandes, medianas y pequeñas, fallas, discontinuidades planas, onduladas y escalonadas, abertura relleno, tipo de consistencia del relleno y grado de meteorización de las paredes de las discontinuidades. Para realizar este trabajo, se ingresó en un archivo de datos las interpretaciones de fotos aéreas, de lineaciones que fueron representadas como diagrama de rosas [3] (Fig. 2.1). Luego se estableció una correlación con los datos tomados en campo en el área local de Guarumales con la finalidad de establecer el proceso geodinámico ocurrido regionalmente y de cómo este afectó en la formación de esas discontinuidades en forma local.

En la Fig. 2.1, se presenta en un diagrama de rosas las direcciones de los rumbos y buzamientos de todos los elementos estructurales encontrados, inclusive los que afloraron en la construcción de la carretera Guarumales-Méndez, en la misma observamos dos clasificaciones con mayor predominio de discontinuidades denominadas S1 con rumbo 252° y buzamiento 85° , y la S2 con rumbo 313° y buzamiento 20° (tabla 1.1), estas generan la hipótesis para su formación de un sistema de fallas dextrales y sinestrales, también las foliaciones S1 perpendiculares a los esfuerzos principales que son producto de un sistema de compresión activo en la dirección NW-SE, ocurrido hasta el Oligoceno Superior en los Andes del Norte [14].

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

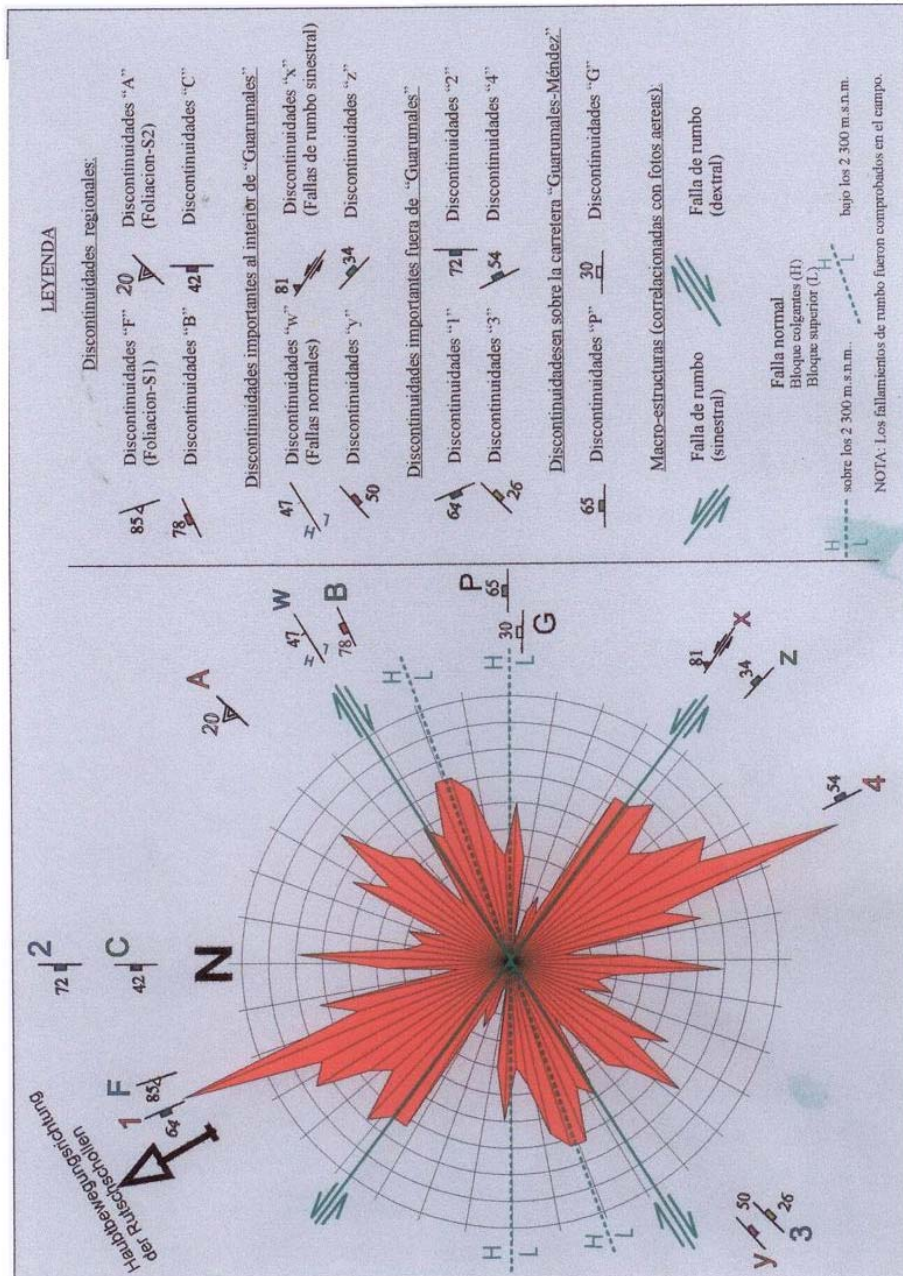


FIG. 2.1 DIAGRAMA DE ROSAS DE DIRECCIONES, RUMBOS Y BUZAMIENTOS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES, FAMILIAS DE DIACLASAS PREDOMINANTES Y MACRO ESTRUCTURAS [3].

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Se produjo una transpresión (presión posterior a la existente), que debió haber originado un nuevo sistema de fallas de rumbo, este nuevo estado de esfuerzos debió haber generado el sistema de discontinuidades que la conforman el sistema de foliaciones S2 [15] (Fig. 2.3).

foliaciones S1 y S2 en el área de estudio

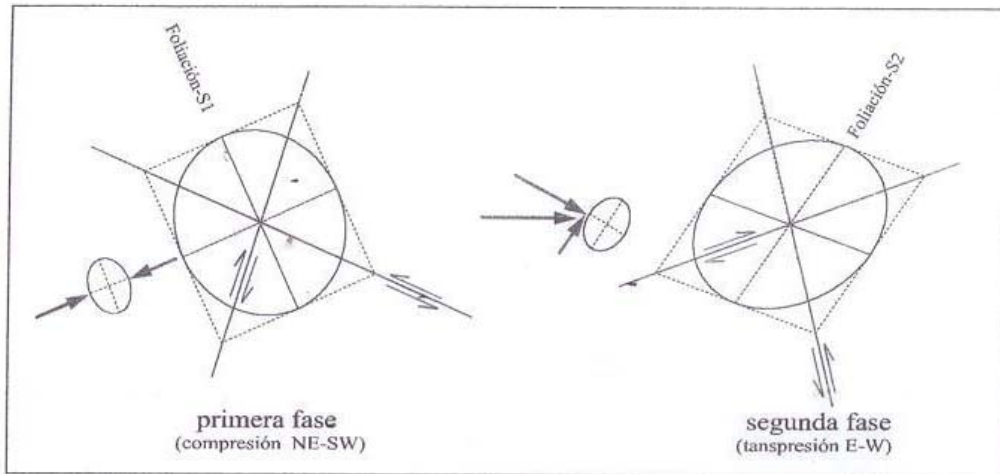


FIG. 2.2 HIPOTESIS MAS PROBABLE PARA EL MODELO DE ESFUERZOS TECTONICOS PARA LA FORMACION DE LOS SISTEMAS DE FALAS DEXTRALES Y SINISTRALES, Y DE LAS FOLIACIONES S1 Y S2 EN LA ZONA 2 [3].

La representación de las discontinuidades también la representamos en la Fig. 2.3 en el diagrama de frecuencias de polos de medidas realizadas, en donde claramente apreciamos la concentración mayoritaria de puntos en la dirección NW, luego le sigue en número la orientación SW y luego NE, aunque existen en menor cantidad en las otras direcciones.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

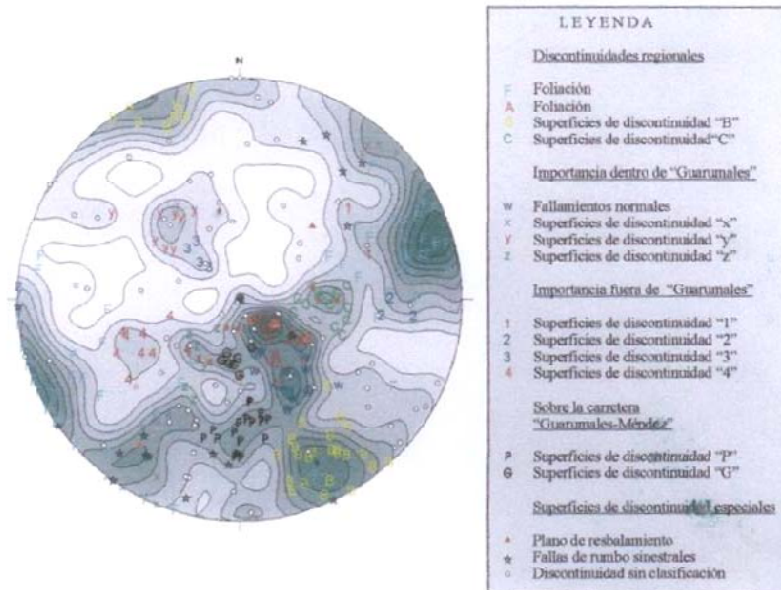


FIG. 2.3 REPRESENTACION DE DISCONTINUIDADES DE LA ZONA No 2 MEDIANTE DIAGRAMA DE FRECUENCIAS DE POLOS [3].

2.5 HIDROLOGIA:

El principal recurso hidrológico para la alimentación del proyecto hidroeléctrico Paute en Guarumales, lo constituye el río Paute. Este empieza a los 3800 m.s.n.m. cuando toma el nombre de Yanuncay recorre 130 km, hasta la presa Daniel Palacios drenando un área de 6495 km², recorre 194 km más y llega al río Upano.

El río Paute realiza un fuerte proceso de erosión fluvial en todo su trayecto, lo que causa inestabilidad en los taludes junto al mismo y por ende activa los procesos de movimientos de las masas desde la parte inferior hacia las partes superiores de los taludes en su trayecto, en forma progresiva, lo cual se conoce con el nombre de deslizamientos regresivos.

La zona de Guarumales presenta un clima húmedo y una temperatura media de 17,2° C, tiene un registro promedio de lluvia anuales de 2900 mm/año registrados en la estación Guarumales desde 1998 hasta el 2008, correspondiente al régimen amazónico con mayor régimen de lluvias entre abril y septiembre [1], siendo los meses de mayor precipitación, abril, mayo, junio y julio, en donde se registraron los valores máximos mensuales entre 400 y 515 mm de precipitación, mientras que los meses de menor lluvia son noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, con valores de alrededor de 70 mm mensuales [3].

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La zona en la que se asienta el proyecto hidroeléctrico Paute al ser de clima cálido húmedo, toma valores de 98% a 100% de humedad y con valores mínimos diarios de 50%. Su vegetación es bosque húmedo tropical que crece en pendientes pronunciadas. Su vegetación son pajonales, chaparrales y pocos bosques naturales, y cultivos de campesinos de la zona [3].

El campamento en Guarumales, es atravesado por 5 quebradas, de las cuales la Q3 o Ventanillas y la Q5 o de La Escuela son las más caudalosas, pero en conjunto conforman el drenaje natural de la zona, sin embargo Muruais en 1980 manifestó que las mismas no drenaban adecuadamente y se producía infiltración y embalsamiento de agua [1].

El aspecto hidrogeológico podemos indicarlo como el principal y uno de los más importantes factores contribuyentes al deslizamiento posible en la zona, está compuesto por aguas subterráneas, aguas superficiales, lluvias (pluviometría se trata en el punto 2.6) y la existencia de niveles freáticos colgados, que incrementan el riesgo de deslizamiento.

2.6 PLUVIOMETRIA:

Hidropaute realiza un continuo control de precipitaciones mediante registros a lo largo del tiempo, en este registro se obtienen las máximas precipitaciones ocurridas y su período de retorno, cuando estas ocurren se incrementa el caudal que recibe el talud, lo que implica el aumento de escorrentía superficial y mayor incremento de caudal subterráneo en el talud y por ende incremento de presión de agua de poros y disminución de presión efectiva en la brecha del talud, poniéndolo en riesgo de deslizamiento. En la Fig. No 2.4 se indica las precipitaciones anuales acumuladas en todo el campamento de Guarumales, desde 1998 hasta el 2008. El año 2009 no ha sido considerado por cuanto no es representativo de los anteriores debido a que inclusive existe sequía y falta de precipitaciones ayudando a la estabilidad del talud, y en el análisis se requiere reunir las condiciones más desfavorables. En la Fig. 2.4 la media de todos estos años, está marcada con línea roja, como resultado obtenemos el caudal promedio anual acumulado al que se le llama $Q_m = 2911,48 \text{ mm/a}$.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

AÑO	Precipitación acumulada (mm)
1998	2781,35
1999	2944,17
2000	2889,90
2001	3155,60
2002	2366,70
2003	2998,17
2004	3334,10
2005	2915,90
2006	2780,90
2007	3142,13
2008	2717,40
PROMEDIO	2911,48



FIG 2.4 PRECIPITACIONES ANUALES ACUMULADAS EN LOS ULTIMOS 11 AÑOS (ARCHIVO DIGITAL DE MANTENIMIENTO CIVIL DE HIDROPAUTE)

Los Hietogramas de lluvia mensual acumulada, proporcionan una cantidad de caudal bajo la curva y el comportamiento pluviométrico en la zona, como se observa en la Fig. 2.5.

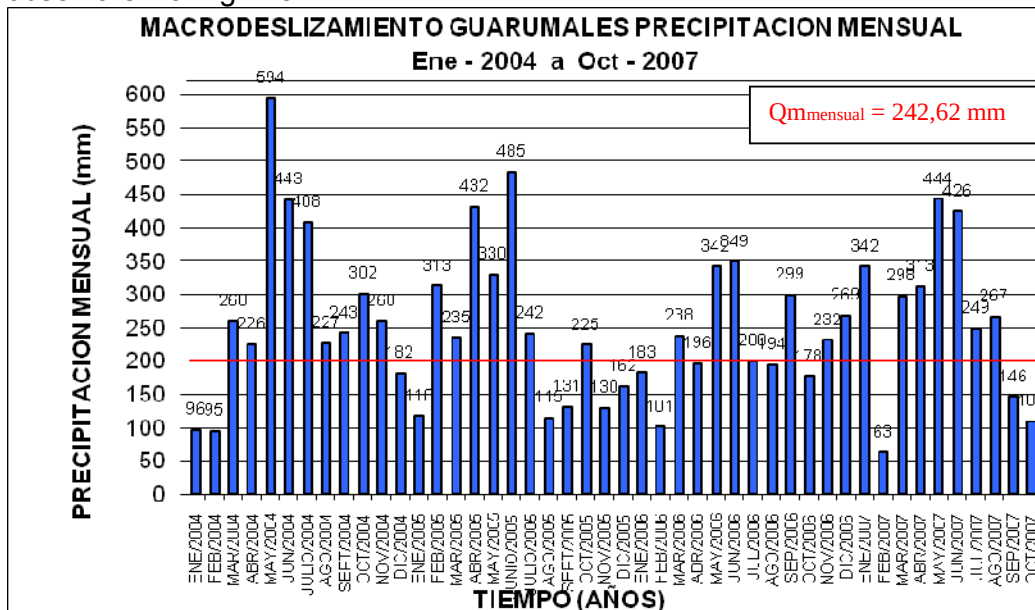


FIG. 2.5 HIETOGRAMAS MENSUALES RESPECTO AL PROMEDIO MENSUAL $Q_{mmensual} = 242,62\text{mm}$ (desde enero del 2004 a Octubre del 2007) (ARCHIVO DIGITAL DE MANTENIMIENTO CIVIL DE HIDROPAUTE).

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

En la Fig. 2.5 se aprecia un ciclo de 4 años, en donde entre noviembre de un año y noviembre del siguiente año, las lluvias van desde el mínimo hasta un máximo y luego nuevamente bajan. Respecto al promedio existen en cada ciclo 5 meses que sobrepasan el promedio que en casi todos los años son de marzo a julio.

Ahora se analiza la precipitación con el desplazamiento en el año 2000, la pluviosidad promedio en este año (2944,17mm), sobrepasa el promedio ($Q_m = 2911,48$ mm) y en este año la pluviosidad incluye a febrero como mes que sobrepasa el Q_m , nos fijamos en la tabla 2.2 de desplazamientos en el PI 9, en donde hay un salto de 8,38mm de desplazamiento a 11,70 mm y continua tomando valores altos hasta el mes de julio, en donde al llegar al mes de agosto cae nuevamente a su nivel habitual

TABLA 2.2

DATOS DE DESPLAZAMIENTO Y PRECIPITACIÓN EN EL AÑO 2000 REGISTRADOS EN EL INCLINÓMETRO PI 9 UBICADO EN LA ZONA No 2(PROVIENE DEL ARCHIVO DIGITAL DE MANTENIMIENTO CIVIL DE HIDROPAUTE)

PI-9			
FECHA	DESP (mm)	PRECIPITACION (mm)	Vol Evacuados (m ³)
07-Dic-99	0,00	0,00	0,00
27-Dic-99	5,68	185,50	3,58
11-Ene-00	7,34	7,20	0,00
21-Ene-00	8,38	27,30	0,00
08-Feb-00	11,70	99,30	0,00
01-Mar-00	10,56	116,70	0,00
14-Mar-00	12,24	121,70	33,14
18-Abr-00	9,12	268,30	128,10
02-May-00	15,30	133,50	22,32
16-May-00	9,90	198,50	157,90
01-Jun-00	14,84	306,00	256,48
14-Jun-00	13,28	145,30	48,19
04-Jul-00	17,58	274,00	80,70
29-Jul-00	11,28	257,30	31,09
03-Ago-00	6,28	4,00	0,00

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Los resultados gráficos de lo que se está expresando en la tabla 2.2, se pueden ver claramente en la Fig.2.6, en donde se observa que el salto en los desplazamientos se correlaciona con el salto en incremento de caudal a causa de las precipitaciones desde febrero hasta agosto del año 2000, realizando una curva cíclica que va en función de la precipitación en cada mes, la misma que al subir no incrementa aún los movimientos sino pasado cierto período de tiempo luego del cual los desplazamientos se activan y permanecen con valores superiores a los 10mm aunque la pluviosidad baje si supera esta la barrera de los 200 mm.

Cuando se incrementa la pluviosidad se incrementa también los movimientos y estos disminuyen tiempo después de que la lluvia ha disminuido, de acuerdo a la fig. 2.6 que es la que representa lo ocurrido en el año 2000.

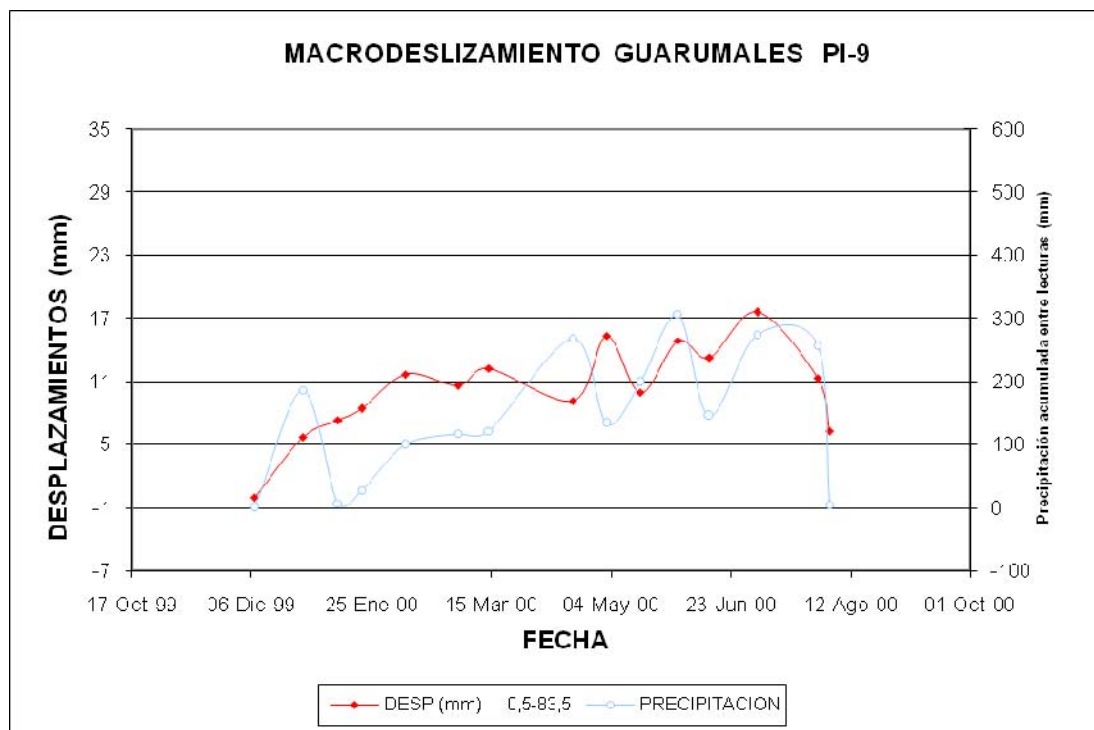


FIG. 2.6 CURVA DE DESPLAZAMIENTO VS PLUVIOSIDAD DESDE DICIEMBRE DE 1999 A OCTUBRE DEL 2000. EN LINEA ROJA, PROMEDIO DE LLUVIA MENSUAL. EN LINEA VERDE, PROMEDIO DE DESPLAZAMIENTOS EN EL AÑO 2000. (ARCHIVO DIGITAL DE DATOS, PROPORCIONADO POR EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO CIVIL DE GUARUMALES).

Este comportamiento ondulatorio en los desplazamientos se da debido al incremento y disminución de pluviometría con un retardo en la reacción de los

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

desplazamientos debido al tiempo que le toma al agua infiltrarse hasta el interior y circular (permeabilidad). En los siguientes años el comportamiento es parecido, hasta que en el año 2006 se pierde al inclinómetro PI 9 a causa de los movimientos en la zona No 2, pero es reemplazado por un dial en el mismo lugar, el dial consta de un extensómetro que registra los movimientos en una sola dirección que fue colocado en el sentido del movimiento en aquel entonces ya determinado, y muy conocido.

A partir de aquí se realiza el seguimiento del comportamiento del talud, que proporciona los siguientes resultados indicados gráficamente en la Fig. 2.7, aquí se aprecia que existe un salto en los desplazamientos en el día 29 de agosto del 2006 que es la fecha en la que ocurrió un deslave en la quebrada Ventanillas durante la noche y es la razón por la que los movimientos se aceleraron desde este momento hasta el día 30 de enero del 2007 que es donde se estabilizaron, pero se produjo ya un desplazamiento de aproximadamente 2 cm., luego existe un nuevo salto en los desplazamientos producidos el 15 de enero del 2008 al 6 de febrero del 2008, es decir en 21 días se movió 0,5 cm en donde su tendencia es a la estabilización y la causa fue el comienzo de la época invernal en la zona [3].

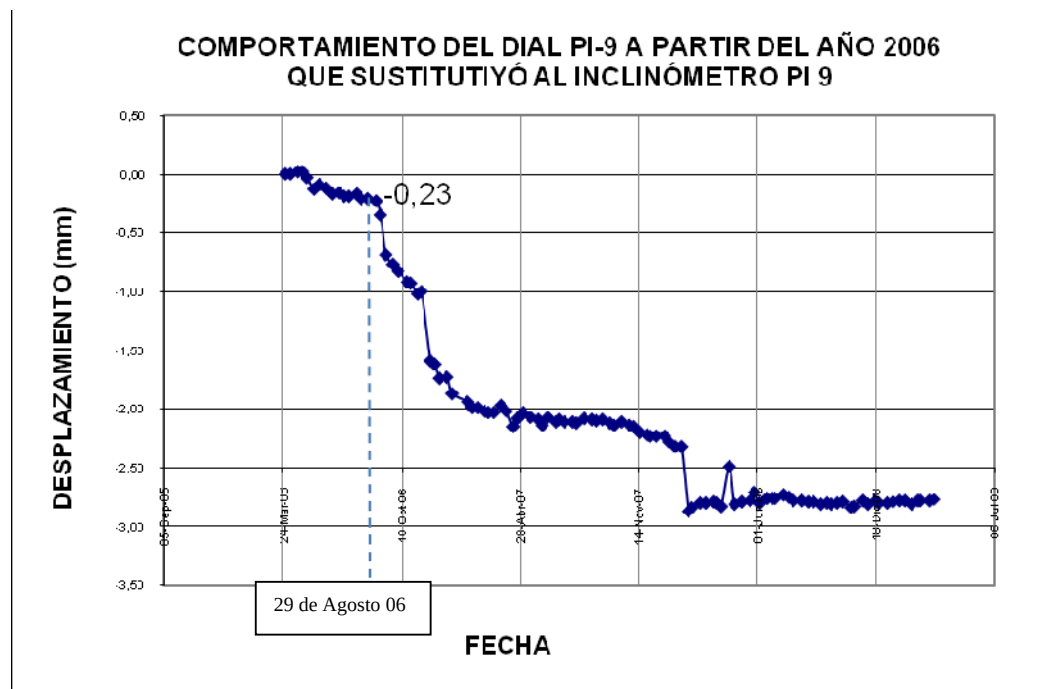


FIG. 2.7 DESPLAZAMIENTO DEL PI 9 MEDIDO EN DIALES (ARCHIVO DIGITAL DE DATOS, PROPORCIONADO POR EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO CIVIL DE GUARUMALES).

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.7 DETERMINACION DEL VALOR TOTAL DE ESCORRENTIA

Para la determinación de escorrentía en el presente trabajo de investigación es la obtenida en base del caudal específico de la región de Guarumales dado por INECEL (1995), en la siguiente tabla 2.3:

TABLA 2.3
CAUDAL ESPECIFICO DE LA REGION (lt/s. km²) (INECEL 1995)

Promedio	Mínimo	Máximo
79,032*	18,09**	633,89**

* Promedio anual

** Promedio diario

Este caudal fue determinado a través de la medición de de caudales en un punto de límite de estudio de la zona de Guarumales, aguas arriba y otro punto de medición aguas abajo durante un período de tiempo de 23 años (1964-1986). La diferencia entre caudales es el caudal aportado o generado, al que se le divide para el área correspondiente de influencia [15]. Este es el caudal específico de la región calculado en fig. 2.4.

El área de la zona No 2 que es de 0,434 km² ⁸, nos permite calcular el valor de caudal específico Q esp, dado en la tabla 2.3 y también el caudal promedio de escorrentía que se tiene en esta zona⁹, los resultados están en la tabla 2.4

$$Q_{esp} = 79,032 \frac{\text{lt} \times 1 \times 1 \text{ m}^3}{\text{s km}^2 \times 1000 \text{ lt}} \times 0,434 \text{ km}^2 = 0,0343 \text{ m}^3/\text{s}$$

TABLA 2.4
CAUDALES DE ESCORRENTIA (m³/s) DE LA ZONA No 2

PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO
0,0343	0,008	0,288

Al valor del caudal promedio de 0,0343 m³/s de escorrentía, le transformamos en metros columna de agua y luego a este en mm, de lo que obtenemos:

$$0,0343 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{60 \times 60 \times 24 \times 30 \times 12}{434000} \frac{\text{año}}{\text{m}^2} = 2,45928 \text{ m/año} \times 1000 = 2459,28 \text{ mm/a}$$

⁸ Valor de área medido en Autocad sobre el archivo digital de la zona de Guarumales, proporcionado por Hidropaute

⁹ basado en los cálculo de (INECEL 1995)

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

El valor de Q_e o caudal de escorrentía global de la zona No 2 es 2459,28 mm/a.

Se realiza el cálculo del caudal de escorrentía superficial y de escorrentía subterránea. De la tabla 2.3 tomamos el caudal mínimo diario de $Q_{min} = 18.09$ lt./ s km^2 que fue obtenido del mínimo valor registrado en 23 años, y realizamos el mismo cálculo para obtener 0,00785 m^3/s (tabla 2.4), que transformado en mm columna de agua da $Q_{sub}=562,67$ mm/a, siendo este el valor de caudal de escorrentía subterránea o que se infiltra en el talud. Estos valores permiten calcular el Q_s o caudal de escorrentía superficial de la siguiente manera:

$$Q_e = Q_s + Q_{sub} \quad (2.1)$$

En donde:

Q_e = caudal escorrentía global (2459,28 mm/a)

Q_s = caudal escorrentía superficial (1896,61 mm/a)

Q_{sub} =caudal escorrentía subterránea (562,67 mm/a)

Se observa que el caudal de escorrentía subterránea Q_{sub} representa el 22,88 % de la escorrentía global Q_e y el 19,33 % del promedio de pluviosidad anual Q_p .

2.8 CALCULO DEL BALANCE HÍDRICO

El valor de la pluviosidad anual de la zona No 2 es $Q_p = 2911,48$ mm/a (Fig. 2.4) , a este valor le restamos el caudal obtenido por escorrentía global $Q_e = 2459,28$ mm/a y la diferencia es $Q_v = 452,20$ mm/a que llamaremos caudal de volatilización o de evaporación, es decir :

$$Q_v = Q_p - Q_e \quad (2.2)$$

En donde:

Q_v = Volatilización o evapotranspiración (452,20 mm/a)

Q_p = Pluviosidad (2911,48 mm/a)

Q_e = Escorrentía global (2459,28 mm/a)

2.9 AGUAS SUPERFICIALES E INFILTRACION EN QUEBRADAS

INECEL realizó estudios de infiltración en las quebradas de la zona No 2, para esto tomó mediciones de caudales en las quebradas Q2 y Q3 (Ventanillas), dando como resultado de que el caudal en la Q3 mantiene una relación aproximada de 10 veces mayor al caudal de la Q2. Se pudo apreciar que la cantidad de agua por unidad de tiempo medida en la Q3 entre las alturas 1710 y 1610 m.s.n.m. disminuye drásticamente entre estas cotas que coincide con una

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

zona de deslizamiento activo en la zona No 1 contigua a la de análisis. En la Fig. 2.8, se aprecia la caída de caudal de 100 lt/s en la medición de noviembre del 2004 a 25 lt/s en marzo del 2005 debida a la pluviosidad entre febrero y marzo del 1995. De aquí se concluye la existencia de infiltración en la quebrada Ventanillas y aún que el caudal en la quebrada Q2 es menor, también aporta con infiltración al interior del talud.

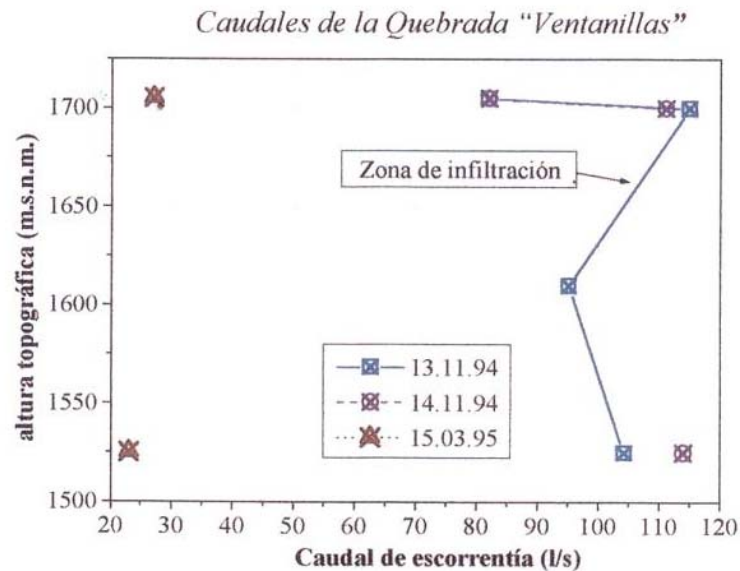


FIG. 2.8 REGISTRO DE CAUDALES DE LA QUEBRADA Q3 (VENTANILLAS) [3].

Cuando se produce incremento de aceleración en los movimientos de las masas, estas se reubican con diferentes permeabilidades, la diferencia entre permeabilidades hace que se saturen ciertas zonas, en las que se desarrollan niveles freáticos colgados, aunque puede también existir zonas saturadas mezcladas con material permeable en donde se produce grandes diferencias de presión de poros [16].

La permeabilidad en esta zona se obtuvo mediante información de Hidropaute de una prueba con trazadores realizada por CEEA (Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica), en donde desde el PP4 ubicado a la salida de la planta de tratamiento de agua potable para el campamento de Guarumales en la cota 1715 m.s.n.m., se enviaron trazadores que recorrieron una distancia de 877,58 m. en 9 días hasta llegar a la vía a la casa de maquinas en la cota 1425 m.s.n.m, lo que da un resultado de permeabilidad de 0,00113 m/s.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.10 TOPOGRAFIA Y MONITOREO TOPOGRAFICO

El monitoreo topográfico se basa en el método de las intersecciones ó sistema de triangulación, es decir medición de ángulos horizontales y verticales de mojones (hitos de hormigón de 30cm x 30cm) controlados desde el margen izquierdo del río Paute en el patio de maniobras de la Central El Molino, mediante estación total y mediciones con GPS. Luego se calcula el desplazamiento horizontal y vertical. Este método es el más exacto en la planimetría cuando las distancias son superiores a 200 metros [1].

INECEL instala 22 mojones en 1986 (4 ya se han destruido), luego en 1997 se incrementaron 97 más. En la tabla No 2.5, podemos identificar la ubicación de las pilas topográficas en el campamento de Guarumales.

TABLA No 2.5
UBICACIÓN Y ESTADO DE LAS PILAS TOPOGRÁFICAS DE LA ZONA No 2

HITO/PILA	UBICACIÓN	ESTADO
T2	HELIPUERTO ARRIBA DE EDIF. CONTROL	PTO FIJO
T4	EN LA Y VIA MENDEZ - GUARUMALES	FUNCIONANDO
T5	CASA DE MÁQUINAS JUNTO A DESCARGAS	
T6	PUNTO FIJO POTRERO VIA GUARUMALES MENDEZ	PTO FIJO
→ T8	TALLER AUTOMOTRIZ	FUNCIONANDO
T12	LAVANDERÍA CONDOR MIRADOR	
T13	BARRIO PINOS	
T14	ZONA SOBRE LA PLANTA DE AGUA	FUNCIONANDO
T15	PUENTE A CASA DE MÁQUINAS	
T18	ZONA ALTA VIA A MENDEZ JUNTO A CANAL	
PI-11	SECTOR RELLENO CONTROLADO JUNTO A S1	
S2	VIA A RELLENO CONTROLADO	FUNCIONANDO
S3	VIA A RELLENO CONTROLADO	
T9	BODEGAS ANTIGUAS DE HPSA	
T10	PLATAFORMA COMISARIATO	
T11	CABAÑA DE OFICINAS	
T16	CURVA DE RETORNO CASA DE MÁQUINAS	
PI-3	PLATAFORMA DE GASOLINERA LADO NORTE	FUNCIONANDO
PI-6	ESCUELA	FUNCIONANDO
→ PI-9	BODEGAS DE HPSA	FUNCIONANDO
PI-10	DETRÁS DE LAS BODEGAS DE MANTENIMIENTO	FUNCIONANDO
PI-12	ZONA SOBRE LA PLANTA DE AGUA POTRERO	FUNCIONANDO
PEG-3	CANCHÓN DE OPERADORES	

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

S1	PLATAFORMA DE GASOLINERA (SURESTE)	FUNCIONANDO
T17	VIA A CASA DE MÁQUINAS LASTRADA	FUNCIONANDO
T19	VIA A CASA DE MÁQUINAS JUNTO GAVIONES	FUNCIONANDO
T20	VIA A CASA DE MÁQUINAS JUNTO GAVIONES	
PI-2	VIA A CASA DE MÁQUINAS	FUNCIONANDO
PI-5	VÍA A RELLENO CONTROLADO	
PI-7	CURVA VIA A CASA DE MÁQUINAS PAVIMENTADA	

En la tabla 2.5 es el listado general de los puntos topográficos, constan las pilas T8 colocada a una altitud de 1500 m.s.n.m y junto al taller automotriz, y también la pila topográfica PI9 a una altitud de 1530 m.s.n.m en las bodegas de Hidropaute y junto al pozo inclinométrico No 9, las mismas son observadas desde el patio de maniobras ubicado en el talud izquierdo de Guarumales en donde se realiza el control geodésico.

En la Fig. 2.9 se ubican las pilas Topográficas de la tabla 2.5, además de los vectores de deslizamiento acumulados horizontales en color rojo, medidos con los inclinómetros, mientras que en color azul se grafican los vectores de deslizamiento horizontal medido a través de control geodésico.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

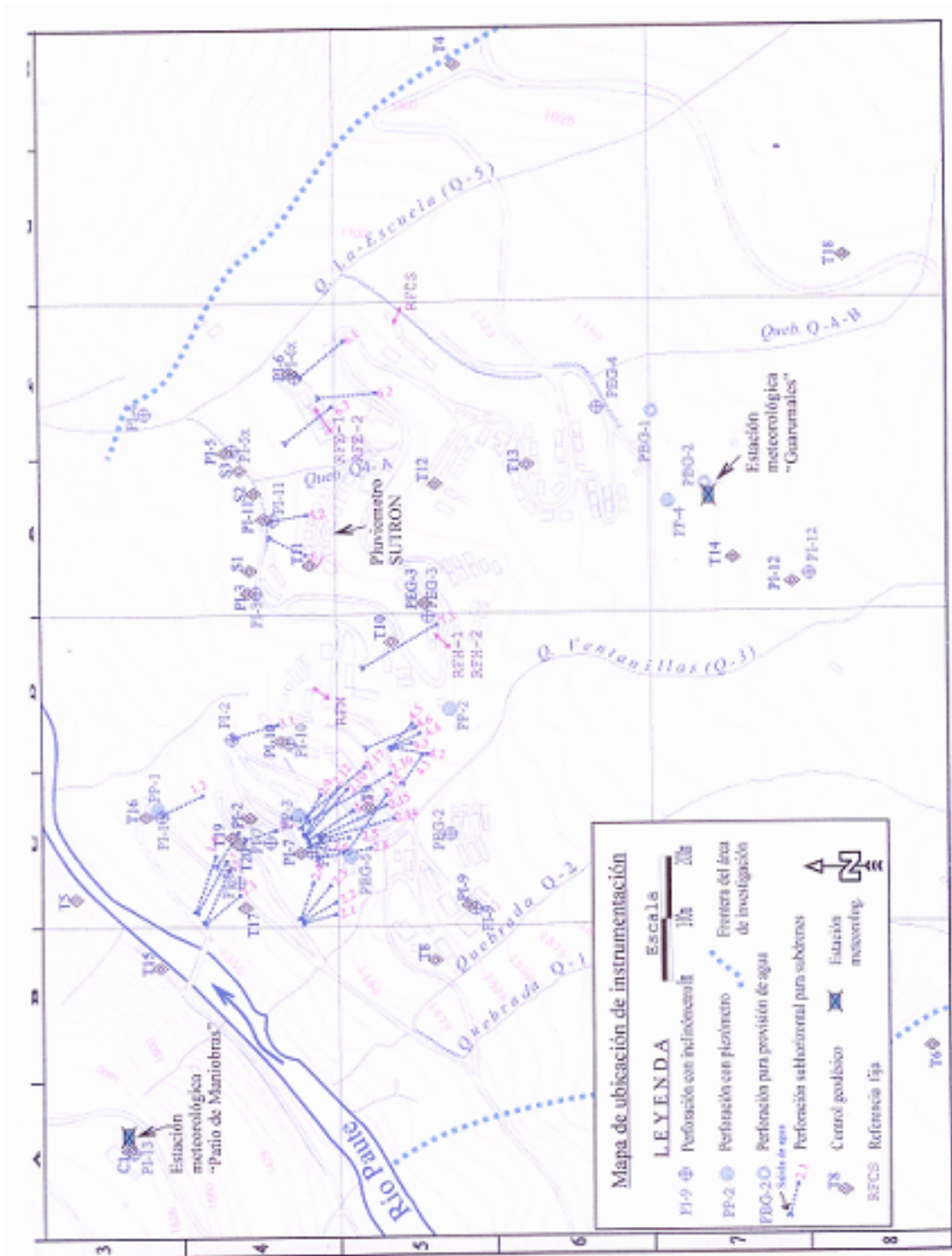


FIG. 2.9 UBICACIÓN DE LAS PILAS TOPOGRAFICAS Y VECTORES DE DESLIZAMIENTO EN EL CAMPAMENTO DE GUARUMALES [2].

El registro de datos se lo ha realizado desde julio de 1999 hasta agosto del 2008, obteniéndose la cantidad total desplazada, los hitos P19 y T8 son los

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

correspondientes a la zona No 2 y determinan los cambios que ha tenido a través del tiempo.

De los registros realizados por Hidropaute (Fig. 2.6), se observa que la zona No 2 desde 1999 hasta el año 2006 presenta movimientos con velocidades $V \leq 5 \text{ cm/año}$ y desplazamientos máximos de 18 mm, pero a partir del año 2007 desde el mes de marzo comienza a tener movimientos mayores y presenta velocidades de $5 \text{ cm/año} < V < 10 \text{ cm/año}$ y a partir de octubre del 2007 los registros tanto en el hito topográfico T8 (desplazamiento total de 30,00 cm), como en el PI9 (desplazamiento total de 38,60 cm) los movimientos y las velocidades son consideradas como máximos presentados hasta la fecha es decir con $V \geq 10 \text{ cm/año}$, desde aquí en adelante la situación preocupa porque al parecer la micro cuenca que se contiene a este sector está deslizándose. (Datos obtenidos del Control Geodésico del Macro deslizamiento de Guarumales realizados por Hidropaute, reporte anual 2006-2007).

Este control se lo realiza también mediante referencias fijas colocadas en todo el campamento. Se mide distancias entre ellas a lo largo del tiempo y se comparan datos iniciales y finales, obteniéndose también desplazamientos que son comparados con los topográficos.

A continuación se presenta en la tabla No 2.6 correspondiente al período 2006-2007 en donde se puede notar claramente el incremento de desplazamientos en los hitos T8 Y PI9 de la zona No2.

Luego una correlación entre desplazamiento vs tiempo entre referencias fijas de la Bodega HPSA correspondiente a los años 2007-2008.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

TABLA 2.6 DESPLAZAMIENTOS Y VELOCIDADES DE LOS PUNTOS T8 Y PI 9, (PROVIENE DEL ARCHIVO DIGITAL DE MANTENIMIENTO CIVIL DE HIDROPAUTE)

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade

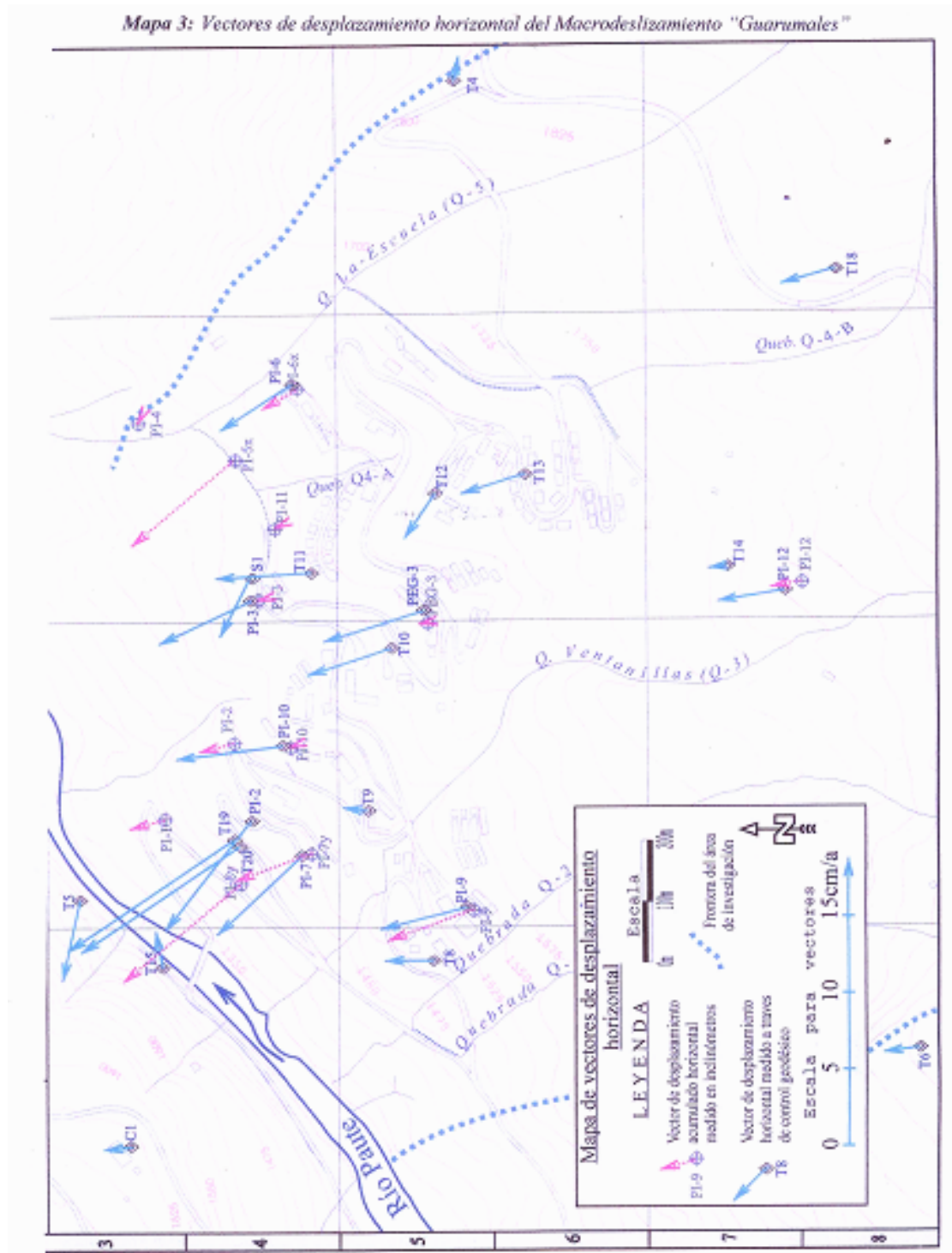


FIG 2.10 INCREMENTO DE MOVIMIENTO Y VELOCIDADES EN LA ZONA No 2 [2].

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

En la Fig. 2.11 se encuentran graficados los resultados obtenidos en la tabla 2.6 desde octubre del 2007 hasta febrero del 2008 en donde en un lapso de 5 meses los desplazamientos alcanzan 25 mm y las velocidades son mayores de 13 cm /año en ambos puntos de control T8 y PI9. El comportamiento de movimiento ondulatorio se debe a que sigue la misma secuencia de incremento decremento de pluviosidad (ver Fig. 2.6 coincidentes con los meses de lluvia).

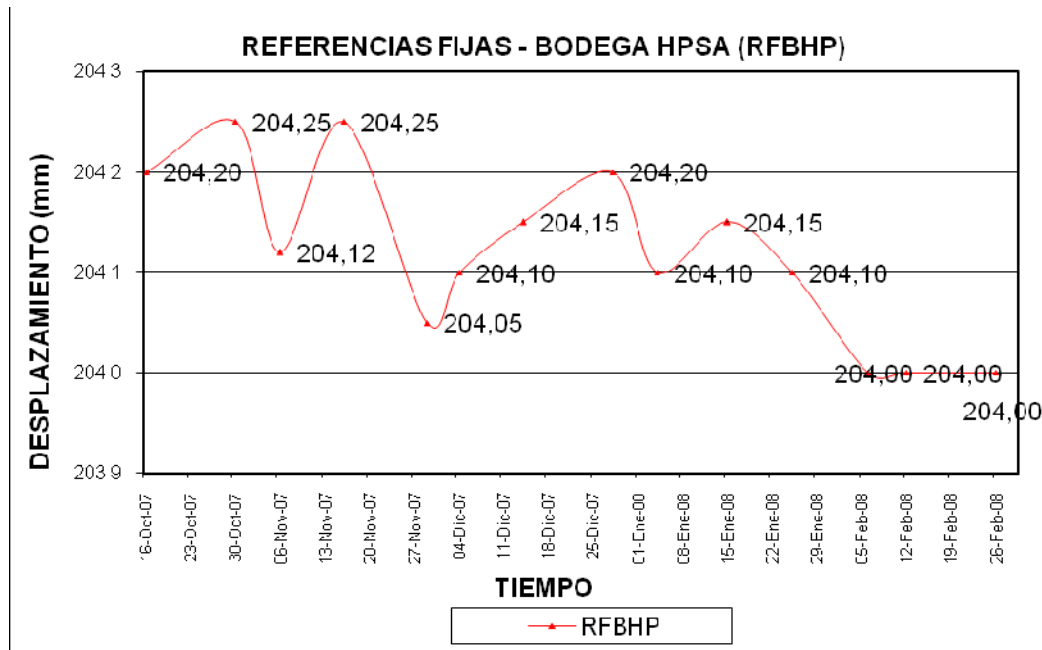


FIG. 2.11 MOVIMIENTOS CRITICOS REGISTRADOS MEDIANTE CONTROL GEODESICO EN LAS BODEGAS DE HIDROPAUTE DEL 2007 AL 2008. (PROVIENE DEL ARCHIVO DIGITAL DE MANTENIMIENTO CIVIL DE HIDROPAUTE)

El control de desplazamientos también se mide en campo en las referencias fijas mediante calibrador o pie de rey y se compara con los desplazamientos del control geodésico medido con GPS. En la fotografía No 3, observamos dos referencias fijas colocados en uno de los puntos topográficos del campamento de Guarumales. Los mismos son referenciados para evitar pérdidas.

En la fotografía No 4 se presenta dos referencias, en las mismas se mide las distancias entre sí y se evalúa a través del tiempo los desplazamientos relativos.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA



FOTO No 3: Referencias Fijas y evidencia de movimientos, observamos junta muy abierta. (Fotografías tomadas en campo, en visitas técnicas para el desarrollo del presente trabajo investigativo).

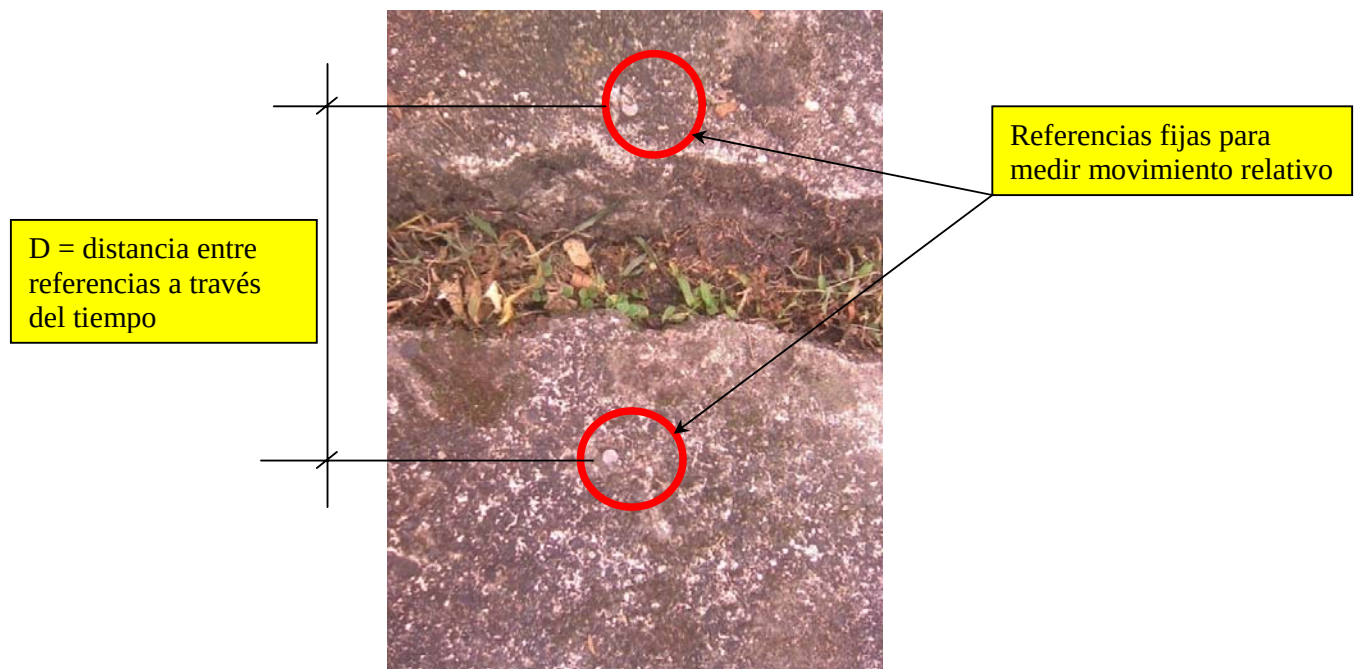


FOTO No 4: Referencias Fijas a los lados opuestos de una junta que evidencia movimiento. (Fotografías tomadas en campo, en visitas técnicas para el desarrollo del presente trabajo investigativo).

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

En la tabla 2.6 se graficó el desplazamiento geodésico total del PI9 y del T8 desde el inicio de las mediciones en julio de 1999 hasta el 9 de Noviembre del 2007, se representa en la fig. 2.11 los puntos y se observa la dirección del desplazamiento, que también se resume en la tabla.

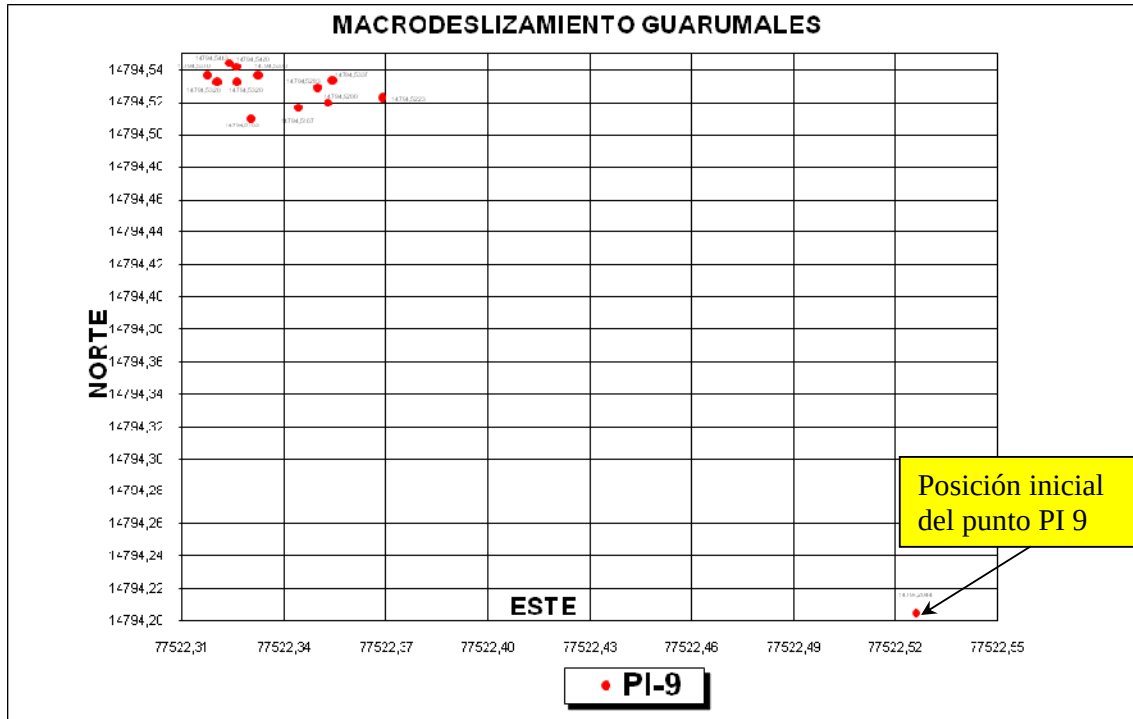


FIG 2.12 DESPLAZAMIENTO DEL PI9 RESPECTO A SU POSICION ORIGINAL (PROVIENE DEL ARCHIVO DIGITAL DE MANTENIMIENTO CIVIL DE HIDROPAUTE)

TABLA 2.7
POSICIONES INICIAL Y FINAL DEL PI 9 INCLUYE MAGNITUD TOTAL Y AZIMUT (PROVIENE DEL ARCHIVO DIGITAL DE MANTENIMIENTO CIVIL DE HIDROPAUTE)

	NORTE	ESTE		
Julio-99	14794,204	77522,526		
11-Oct-07	14794,5420	77522,3260		
09-Nov-07	14794,5443	77522,3237	MAGNIT (m)	AZIMUT °
mensual	0,002	-0,002	0,003	315,000
total	0,340	-0,202	0,396	329,238

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

TABLA 2.8
DESPLAZAMIENTO TOTAL DEL PUNTO T8 INCLUYE AZIMUT (PROVIENE DEL ARCHIVO DIGITAL DE MANTENIMIENTO CIVIL DE HIDROPAUTE)

	NORTE	ESTE		
Julio-99	14853,112	77438,635		
11-Oct-07	14853,2667	77438,3687		
09-Nov-07	14853,2633	77438,3550	MAGNIT (m)	AZIMUT °
mensual	-0,003	-0,014	0,014	256,293
total	0,151	-0,280	0,318	298,350

DESPLAZAMIENTO
TOTAL 31,82CM

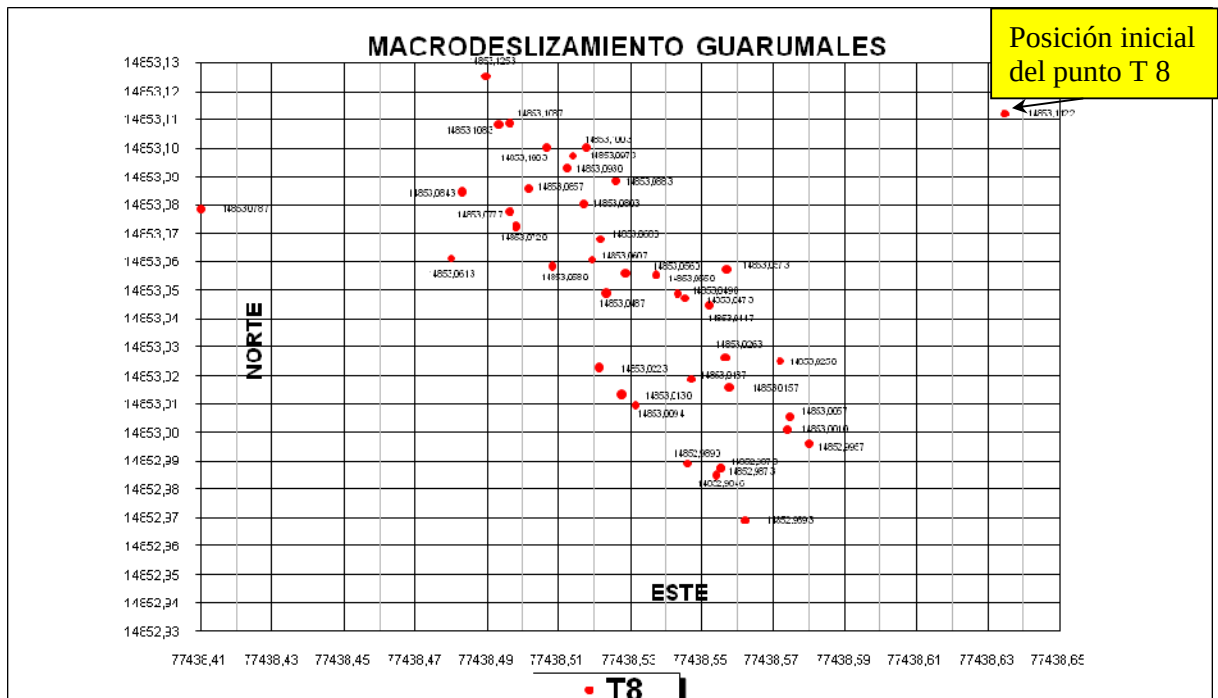


FIG 2.13 DESPLAZAMIENTO DE T8 RESPECTO A SU POSICION ORIGINAL (PROVIENE DEL ARCHIVO DIGITAL DE MANTENIMIENTO CIVIL DE HIDROPAUTE)

La Fig. 2.11 indica la posición geodésica inicial del Hito PI9 respecto a las diferentes posiciones por movimiento de la zona 2 que ha ido teniendo a través del tiempo.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

De igual manera la Fig. 2.12 indica el movimiento de la pila topográfica T8 en el tiempo respecto de su posición inicial.

2.11 REFERENCIAS FIJAS T8 Y PI9 Y VECTORES DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL EN LA SUPERFICIE.

Las referencias fijas ubicadas, PI9 en las bodegas de Hidropaute y T8 en el taller Automotriz, nos permite medir periódicamente la distancia entre 2 puntos ubicados a los lados opuestos de una fisura o grieta en la superficie del talud, y mediante esta con relación al tiempo podemos obtener la velocidad de desplazamiento de las masas.

En la Fig.2.19 podemos ubicar a los vectores de desplazamiento tanto de la zona No 2 y de la zona No1, al tener solamente 1 inclinómetro instalado en la zona No 2 y 2 pilas topográficas en esta zona, no podemos dejar de mirar que es lo que ocurren en los otros instrumentos instalados en la zona contigua y apreciamos que en las zonas superiores los movimientos se orientan hacia el norte con una pequeña componente hacia oeste, mientras que en las zonas inferiores estos se orientan hacia el NW principalmente en las cercanías al río Paute.

Los vectores de desplazamiento horizontal de los movimientos en las masas, detectados tanto en inclinómetros como en pilas topográficas cuando se realiza el control geodésico deberían normalmente coincidir de realizarse adecuadamente las lecturas, cálculos e instalación de piezómetros a la profundidad adecuada, sin embargo esto solo ocurre en los inclinómetros PI6X, PI7y, PI9; que este último de nuestro interés para la zona No2. En la siguiente tabla indicamos los resultados de lo acotado:

El talud analizado se trata de un deslizamiento traslacional cuya actividad es permanente y su movimiento se orienta hacia el NW de acuerdo a datos obtenidos mediante inclinómetros y los datos topográficos medidos con el método de intersecciones, esto es mediciones de ángulos horizontales y verticales, cuando se tiene distancias superiores a 200m.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

TABLA 2.9
MEDICIONES INCLINOMETRICAS Y MEDICIONES GEODÉSICAS

Sitio de Inclinómetro	Medidas inclinométricas		Dirección	Medidas Geodésicas	
	Velocidad (cm/a)	Dirección		Velocidad (cm/a)	Dirección
PI 1	2.3	N-345	N-345		
PI 2	2.3	N-295	N-345		
PI 3	0.4	N-345	N-345	6.6	N-335
PI 4	0.3	N-300	-		
PI 5, x	8.6	N-320	N-310		
PI 6, x	2.5	N-270	N-330	5.5	N-327
PI 7. x,y	5.3	N-340	N-310	7.5	N-317
PI 8 x,y	9.9	N-320	N-320		
PI 9	5.9	N-340	N-320	5.7	N-346
PI 10	0.3	N-340		7	N-353
PI 11	0.3	N-335			
PI 12	2.0	N-340		4.4	N-351
PEG 3	0.7	N-350		6.8	N-343

Tabla de Resultados de desplazamiento horizontal de las mediciones inclinométricas y geodésicas comparadas entre sí. [2].

2.12 EVALUACION DE DATOS OBTENIDOS CON LOS INCLINOMETROS INSTALADOS.

Los inclinómetros originales comprados por Hidropaute para este trabajo son los llamados SINCO, pertenecientes a la casa SLOPE INDICATOR. (1990): Digital Inclinometer Manual Model 50309-M Sensor 503009888.-Seattle, y están compuestos por una tubería de plástico ABS, con 4 guías distribuidas ortogonalmente a lo largo del tubo de plástico, tienen un diámetro de 2,75 pulg. Con longitud de 3 metros son empalmados mediante uniones telescópicas remachadas. Sus lecturas se toman mediante una sonda electrónica que contiene un acelerómetro con la que es posible determinar la inclinación de la tubería

Debemos indicar que el eje principal de lecturas están orientados con dirección rumbo N60W que es la dirección de los movimientos detectados en los mojones superficiales. Los agujeros fueron rellenados con arena.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.13 INCLINOMETROS

Estos constituyen la base para la determinación de movimiento de las masas y sus desplazamientos. "El monitoreo mediante esta instrumentación consiste en la instalación de tubería especial dentro de la masa deslizante, en cuyo interior se realizan mediciones a intervalos regulares (1 metro), de las variaciones de la inclinación en diferentes fechas. Así se determina con precisión la profundidad de los planos de deslizamiento, dirección, magnitud y velocidad de los movimientos" [2]. En la siguiente tabla se aprecia la variabilidad de las profundidades de las perforaciones que indica las diferentes profundidades a las que se encontró el estrato rocoso, confirmando ser un paleorelieve natural.

TABLA 2.7
FECHAS DE INSTALACION DE LOS INCLINÓMETROS Y UBICACIÓN
(PROVIENE DEL ARCHIVO DIGITAL DE MANTENIMIENTO CIVIL DE
HIDROPAUTE)

INCLINOMETRO	FECHA INSTALACION	PROFUND. (m)	ESTABILIDAD MARZO-NOV.-98	REFERENCIAS
PI-1	Junio/94	58	Estable	Cota: 1380 Curva de retorno. C. Máquinas
PI-2	Marzo/94	50.8	Estable *	Cota: 1424 Taller automotriz
PI-3	Febrero/94	42	Estable	Cota: 1516 Gasolinera
PI-4	Enero/95	30	Estable	Cota: 1500 Margen izq. Q. Guarumales
PEG-3	Sept./94	48	Estable	Cota: 1607 Hospital
PI-5X **	Febrero/98	45.5	Inestable	Cota: 1535 Q. Guarumales – Gasolinera
PI-6X**	Mayo/98	75.4	Inestable	Cota: 1610 Escuela D. Palacios
PI-7X**	Marzo/98	90	Inestable	Cota: 1435 Antigua Y
PI-8X**	Octubre/98	63	Estable	Cota: 1395 Antigua Y – Curva de retorno
PI-9	Agosto/95	83	Estable	Cota: 1530 Actual bodega
PI-10	Abril/98	40	Estable	Cota: 1500 Taller automotriz
PI-11	Febrero/98	45	Estable	Cota: 1555 Inclínómetro PI-5X - Gasolinera
PI-12	Agosto/98	81	Estable	Cota: 1805 M. Derecha Q. Ventanillas
PI-13	Octubre/98	30	Estable	Cota: 1620 Patio de maniobras

* Luego de la reactivación ocurrida entre abril y mayo de 1998 el inclinómetro mostró estabilidad.

** Inclinómetros que fueron restituidos.

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

TABLA 2.8
PROFUNDIDAD A LA QUE SE ENCONTRO LA BRECHA DE FALLA, MINIMA ES EL INICIO Y MAXIMA ES EL TÉRMINO DE ESTA.



Inclinómetros	PI-1	PI-2	PI-3	PI-5X	PI-6X	PI-7X	PI-8X	PI-9	PI-10	PI-11	PI-12
Profund. Mín.	37.05	51.29	39.02	32.36	67.04	28.25	57.20	74.15	39.15	45.07	28.45
Profund. Máx.	38.65	51.34	39.93	32.51	67.97	28.65	57.54	77.16	39.16	45.19	28.75

* Los inclinómetros también están siendo utilizados para medir los niveles freáticos.

2.13.1 INCLINOMETRO PI9

De acuerdo a los registros anteriores a 1999, el valor promedio del desplazamiento acumulado total en el PI 9, tanto superficialmente como en el plano de deslizamiento (a 76 m de profundidad) es de 10 mm y un alineamiento perfecto del movimiento hacia N-360 [2].

Sin embargo en los meses de octubre y noviembre del 2000 el PI 9 ubicado en las bodegas de Hidropaute presenta un apreciable incremento del desplazamiento en el eje B (eje a 90 ° respecto al A que sigue la dirección del movimiento) que solo tiende a estabilizarse desde diciembre del 2000 hasta enero del 2001 [3].

La velocidad de movimiento de las pendientes está entre 5 – 20 cm/a. La velocidad promedio mensual de la zona medida en el inclinómetro PI 9, a partir del 2001 es de 3.9 mm/mes, velocidades mayores se registraron en junio, julio y septiembre de 1998(meses de lluvia). Las consecuencias para la aceleración del movimiento en los meses de junio y julio en la zona, son las fuertes condiciones de pluviosidad local y el paso de fuertes crecidas por el río Paute. En septiembre, la fuerte precipitación del día 21 (39.4mm), se muestra como el único factor de reactivación de movimientos en la zona [3].

La metodología de medición que se empleó por parte de Hidropaute, empresa encargada del monitoreo, operación y mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Paute fue:

- 1) Obtención de una base de datos (DMM de Slope Indicator) mediante mediciones periódicas por parte del Departamento de Mantenimiento Civil registrando fecha, personal, sensor usado, profundidad de inclinación del inclinómetro, y lecturas inclinométricas a cada metro de profundidad en los ejes A y B perpendiculares entre sí.
- 2) Procesamiento de datos en la cual consta información general (identificación del inclinómetro, fecha de mediciones, etc.), lecturas de los cambios de inclinación en los ejes A y B, valores de desplazamiento acumulado (considerando la hipótesis de que el punto más profundo de la

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

perforación se mantiene fijo e inmóvil, valores de la dirección de movimiento a lo largo del perfil inclinométrico, en donde para el cálculo se toma en cuenta el azimut real del eje inclinométrico +A y mediante el respectivo cálculo trigonométrico de los desplazamientos en los 2 ejes A y B.

- 3) En cada inclinómetro y para cada fecha de registro se establecieron valores de confiabilidad de las lecturas realizadas mediante un promedio entre las lecturas positivas y negativas (+A y -A para el eje A, y +B y -B para el eje B), clasificándose en 3 rangos de confiabilidad, [17] así:

- ≤ 20 unidades (positivas o negativas), son lecturas confiables (valores óptimos +/- 20 unidades).
- $20 \text{ unidades} \leq \text{rango promedio de error} \leq 90 \text{ unidades}$, son lecturas poco confiables pero todavía son correlacionables con factores dinámicos.
- $90 \text{ unidades} \leq \text{rango promedio de error}$ con lo que las curvas inclinométricas ya no son correlacionables con factores dinámicos.

En donde:

Error Promedio= $\frac{\sum \text{Todas las lecturas de +A o (+B)} + \sum \text{Todas las lecturas -A o (-B)}}{\text{Número de lecturas de cada inclinómetro}}$ (2.3)

- 4) Con los datos corregidos, se realizó luego una correlación entre los registros geológicos-geotécnicos, y dirección y curvas de desplazamientos calculados para los ejes "A" y "B", cuyo resultado se muestra a continuación en la Fig. 2.14, en esta se observa que la dirección de los desplazamientos y la dirección de las discontinuidades son coincidentes y por lo tanto la razón del direccionamiento en los movimientos cuando se activan por la influencia de agua, sismo u otro factor desencadenante. Se toma el año 2000 como punto de partida para el análisis, debido a que es el inicio de las actividades de desplazamiento en la zona No 2, y mediante correlaciones se puede determinar la causa de la activación del movimiento.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

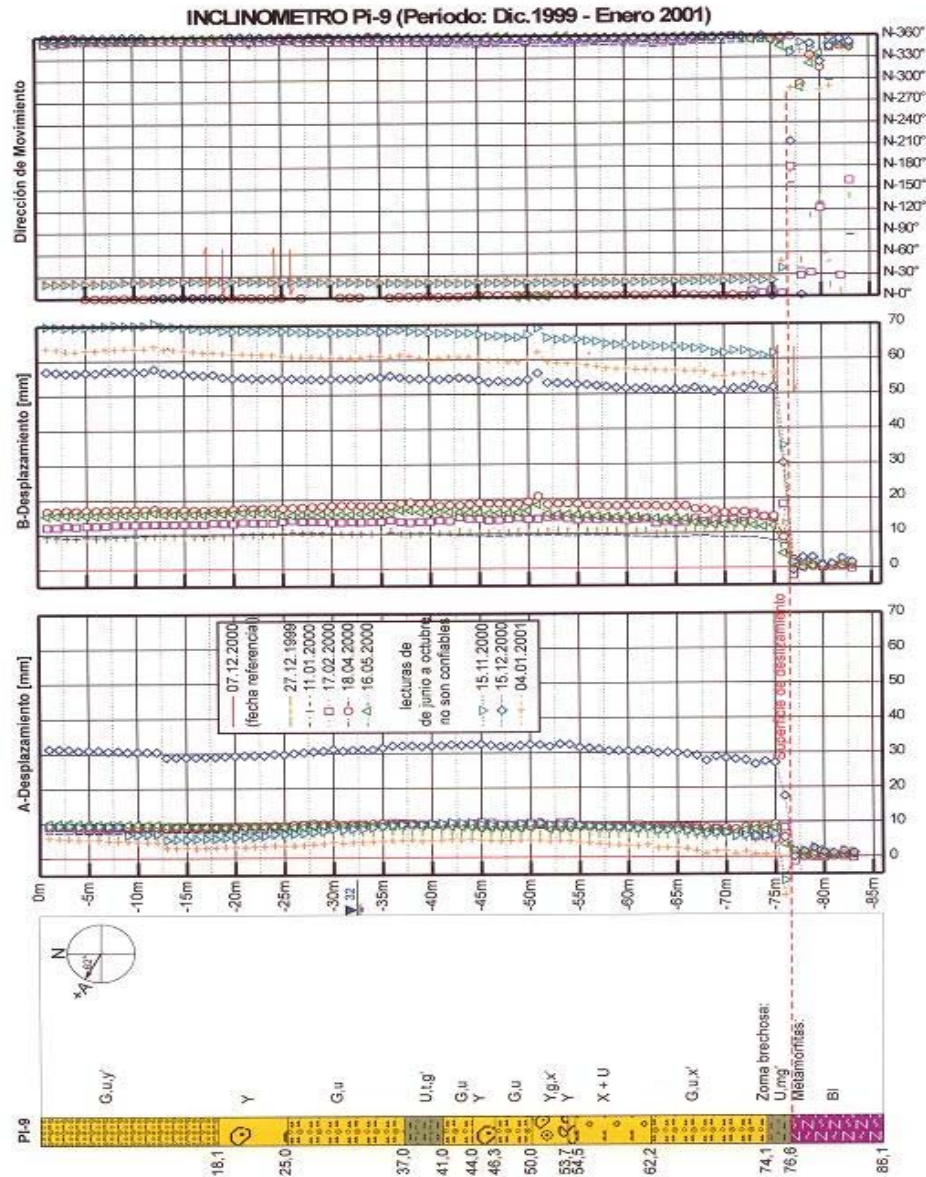


FIG. 2.14 CORRELACIÓN ENTRE REGISTROS GEOLOGICOS GEOTECNICOS Y DIRECCION DE CURVAS DE DESPLAZAMIENTO CALCULADOS EN EJES A Y B [2].

5) Correlación entre curvas desplazamiento versus tiempo: Cuando se realizan las lecturas en los ejes "A" y "B" se las hace de metro en metro de

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

profundidad, con la finalidad de visualizar los cambios y determinar la profundidad a la que se producen los deslizamientos, que se complementan con las curvas de desplazamiento, como lo indica la Fig. 2.15

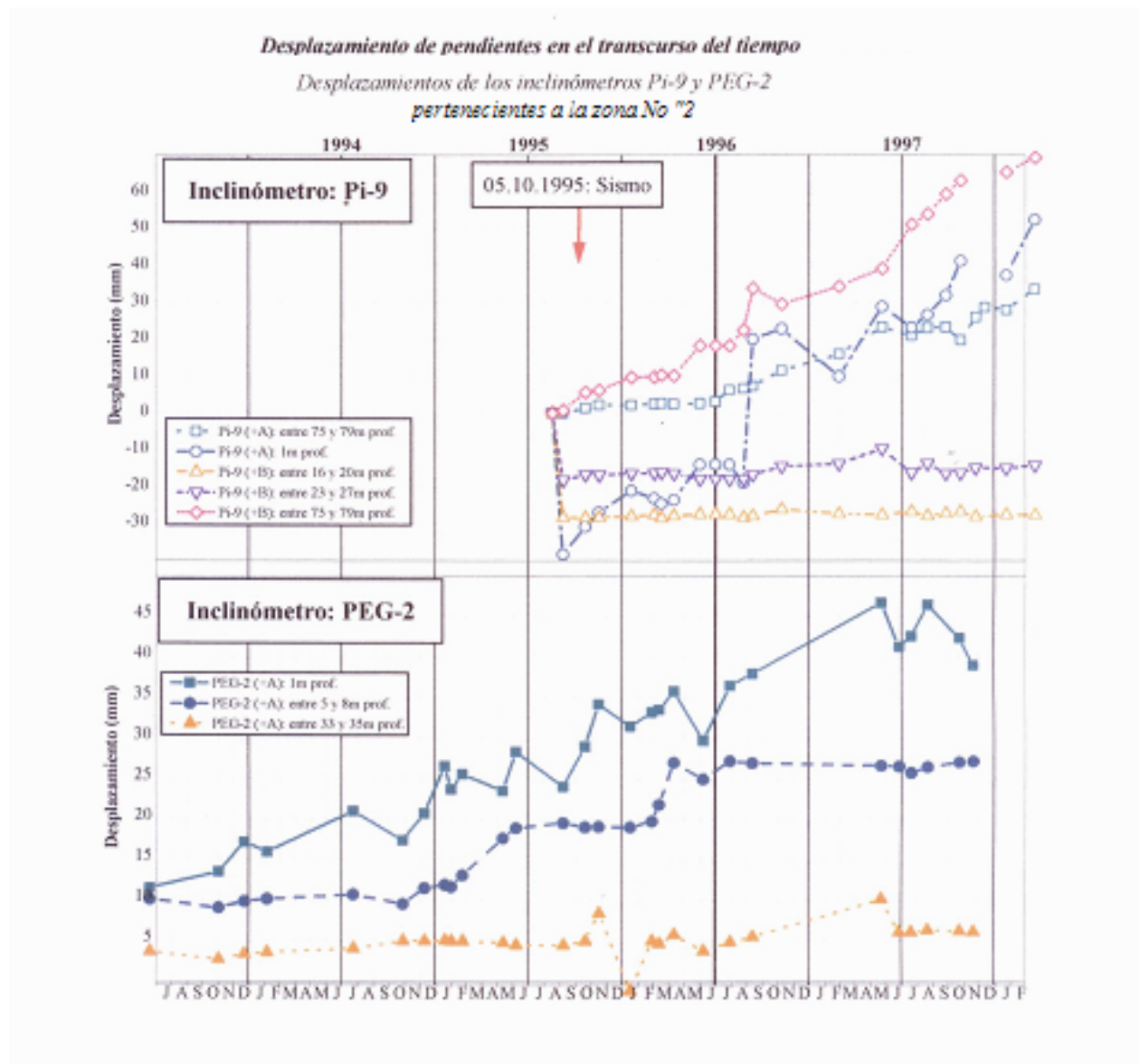


FIG. 2.15 CURVAS DESPLAZAMIENTO VS TIEMPO [2].

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

7) Al inicio del talud en donde la pendiente es de aproximadamente 45° y las crecidas del río Paute actúan erosionando el pie de este durante las épocas de invierno, fueron también tomados en cuenta a fin de investigar el movimiento de las masas por este hecho, y los resultados se presentan en la siguiente Fig. 2.17

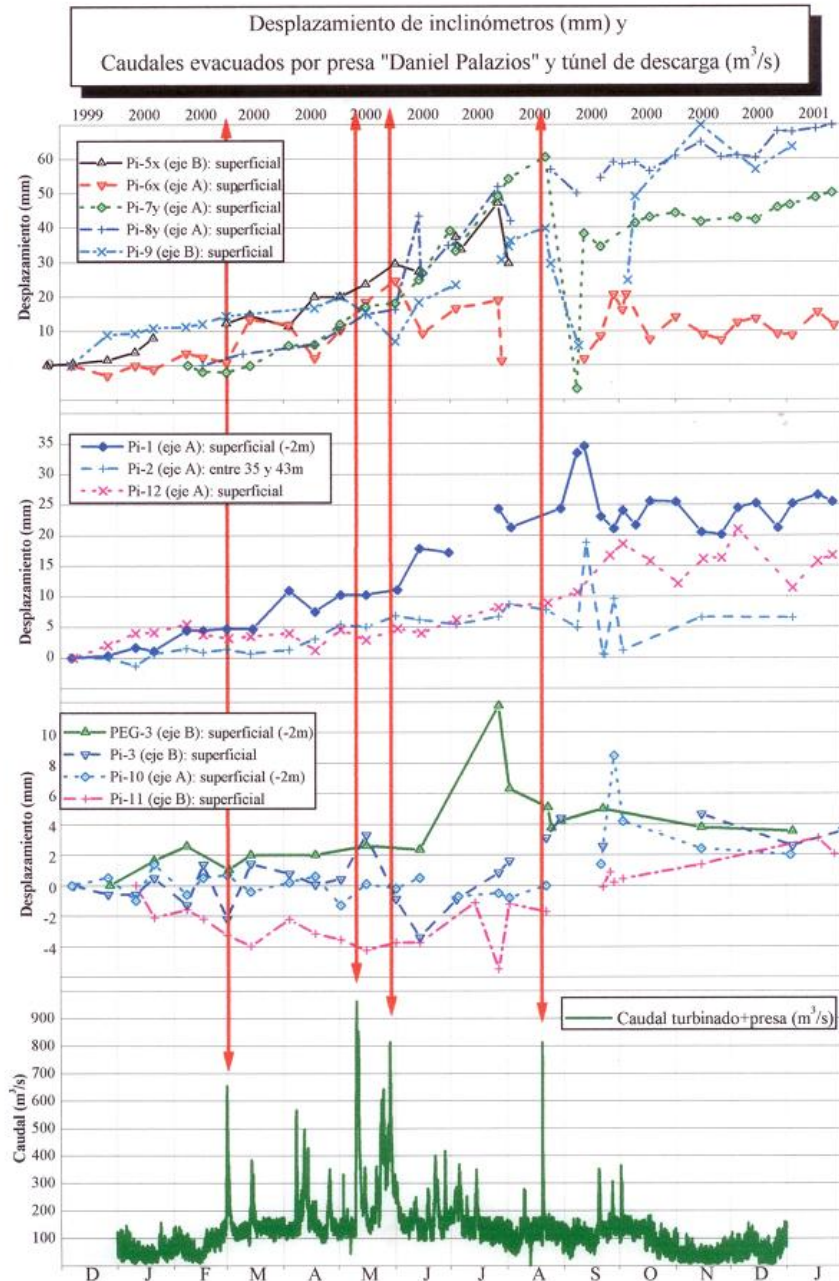


FIG. 2.17 MOVIMIENTO AL PIE DEL TALUD DE LA ZONA No 2, DEBIDO A CRECIDAS EN EL RIO PAUTE [2].

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

En la Fig. 2.16 se aprecia el notorio incremento de desplazamiento con el aumento en la pluviosidad, especialmente en los meses de marzo a agosto del 2000, en donde va desde 10 a 70 mm que se mantiene incluso luego de terminado el invierno.

En la Fig. 2.17 los inclinómetros registran incrementos desde mediados de febrero que empieza el invierno y por lo tanto el río transporta mayor caudal que sumado al turbinado por la presa tiene su influencia sobre el talud, especialmente en las partes inferiores del mismo, pues como se observa que los desplazamientos varían entre 0 y 20 mm, a un promedio de 12 mm por mes de época invernal, por lo tanto se concluye que del total de desplazamiento de 50mm (Fig. 2.14) el desplazamiento provocado por el incremento de caudal en el río es de un 24 % aproximadamente del efecto producido por la pluviosidad.

Otro de los factores dinámicos que produce movimiento es el efecto sísmico, que eventual pero de acciones significativas que provocan deslizamientos, se analiza en el siguiente punto.

8) Si se ha analizado hasta ahora los factores dinámicos que provocan inestabilidad en cualquier talud como son la pluviosidad, erosión fluvial, no podemos dejar a un lado el efecto sísmico y su injerencia en el movimiento de masas, por lo tanto también se los representa en la Fig. 2.18. Los registros mensuales de sismicidad de la página Web del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional de Quito se usaron para el cálculo de la aceleración, además de la siguiente expresión de FORUSHIMA Y TANAKA (1990):

$$a = (623 e^{-0.0072R}) / \{1 + [R / (0,032 e^{0.644M})]\}, \quad (2.4)$$

En donde:

a = aceleración sísmica

e = base de logaritmo natural

R = distancia entre el área de investigación y el foco sísmico en Km.

M = magnitud calculada según el comportamiento de las ondas superficiales (Ms).

La magnitud de muchos de los sismos están expresadas en magnitud de ondas "P" ó "S", se necesita transformar las magnitudes "mb" en magnitudes Ms mediante la siguiente expresión propuesta por INECCEL [2]:

$$Ms = 2 mb - 5,2 \quad (2.5)$$

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

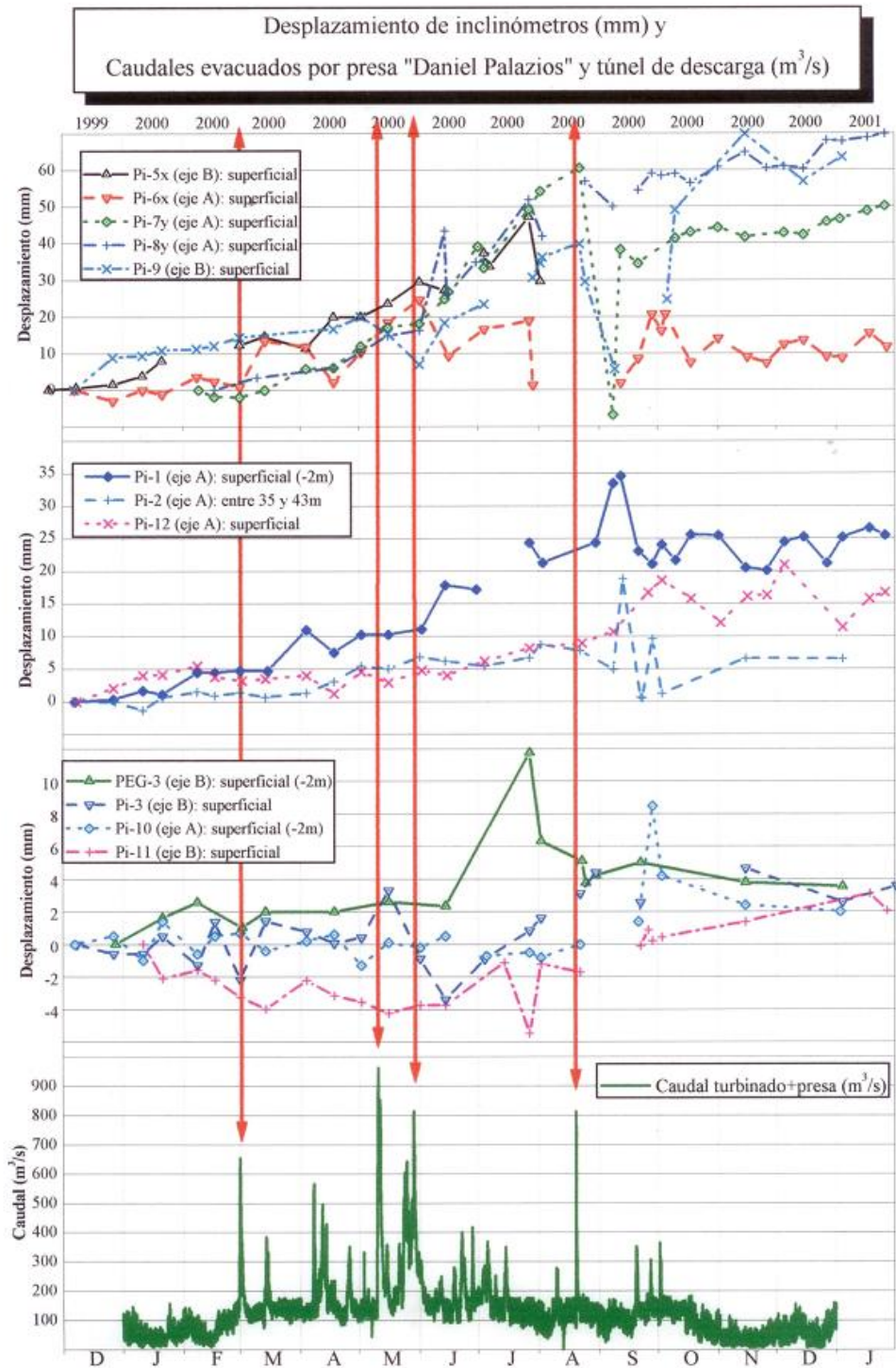


FIG. 2.18 EFECTO DEL SISMO EN LA ZONA GENERAL DE GUARUMALES [2].

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

9) Se graficaron las variaciones de altura y de coordenadas norte y este y mediante relaciones trigonométricas simples se establecieron parámetros cinemáticos generales de los movimientos de pendientes para los puntos de control en general y particularmente los que son de nuestro interés como son las pilas topográficas T8 y el PI9 (Azimut del movimiento, inclinación, velocidad horizontal, vertical y total que son presentadas en la Fig. 2.17 y Fig. 2.18).

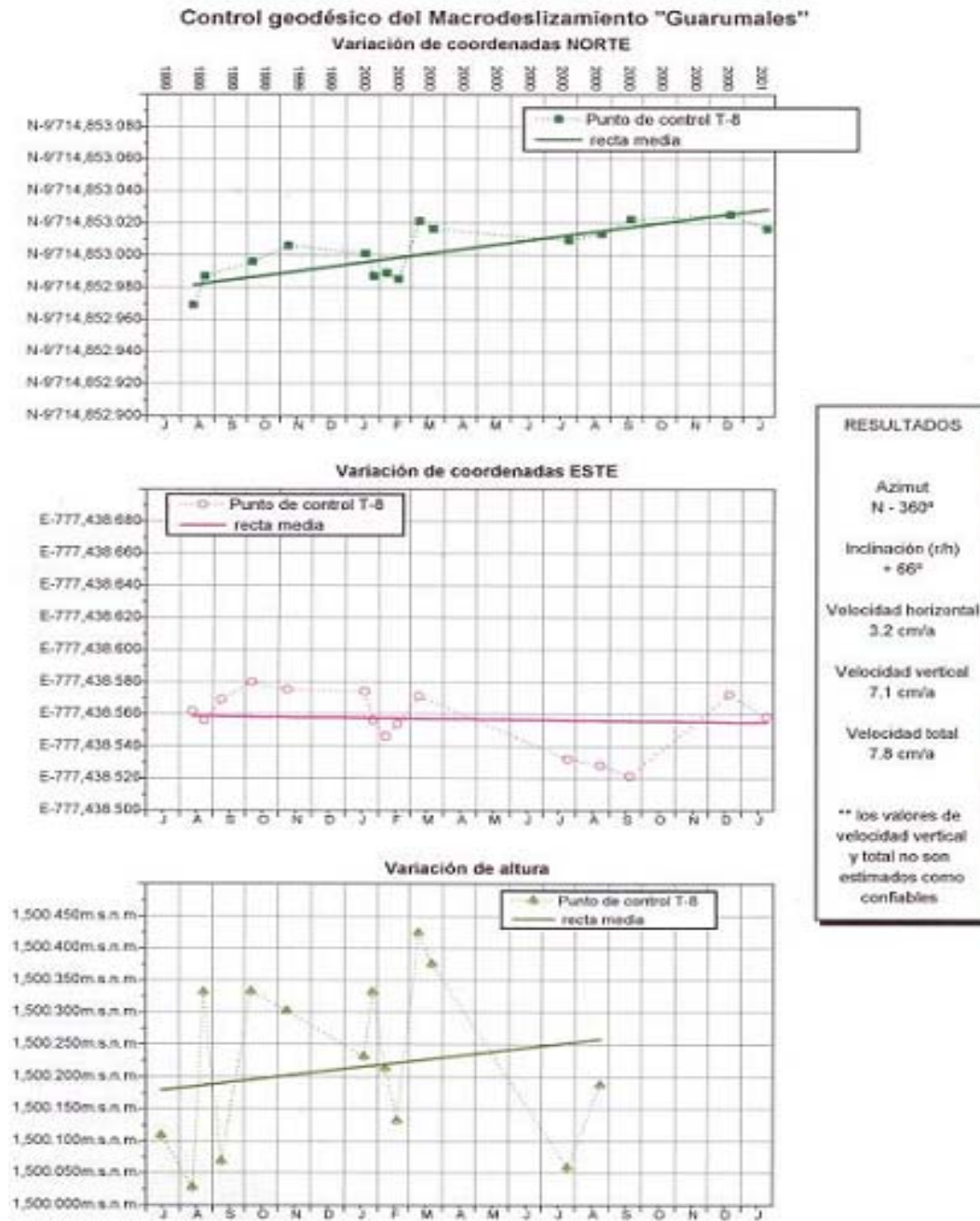


FIG. 2.19 DIRECCIONES Y VELOCIDADES DE LOS MOVIMIENTOS EN EL ITO T8 [2].

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

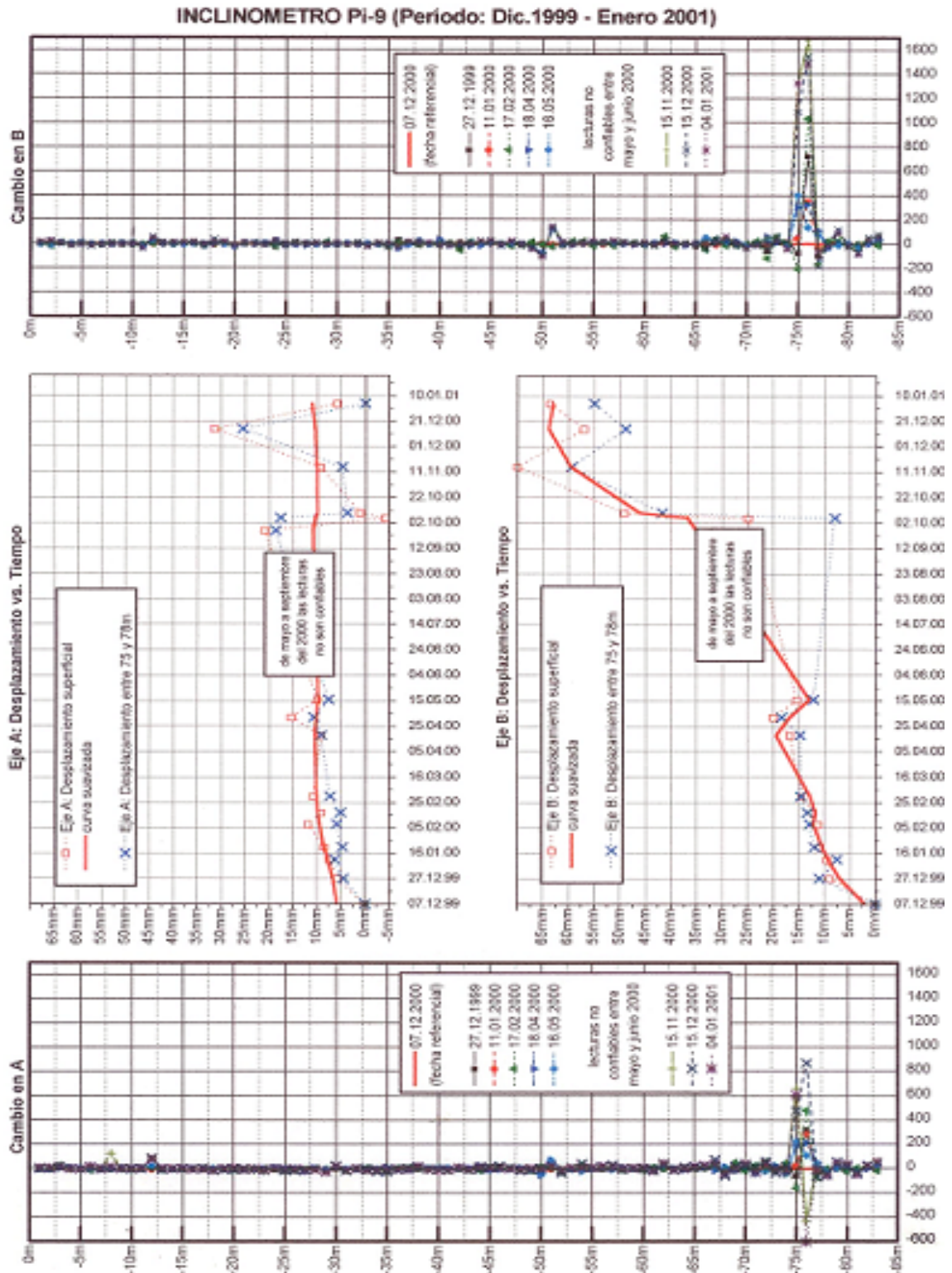


FIG. 2.20 DIRECCIONES Y VELOCIDADES DE LOS MOVIMIENTOS EN EL ITO PI 9 [2].

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.14 CALCULO DE LOS VECTORES DE VELOCIDAD HORIZONTAL, VELOCIDAD VERTICAL, VELOCIDAD TOTAL, INCLINACIÓN, AZIMUT EN LA SUPERFICIE MEDIANTE MEDICIONES INCLINOMETRICAS Y GEODESICAS.

Para la determinación de los vectores de velocidad y sus magnitudes se toma los registros del mismo año en análisis, esto es desde julio de 1999 hasta enero del 2001, en donde se determinó la diferencia entre la medida de desplazamiento inicial de 9'714.794,295 y final de 9'714.794,205, en el punto de control geodésico de la pila topográfica PI 9 ubicada en las bodegas de Hidropaute, es de 9 centímetros para un período de 19 meses, nos da una velocidad mensual promedio de 0,474 cm/mes, es decir 5,7 cm/año (Fig. 3.6 y 3.7)

Mediante el mismo procedimiento, con la variación de altura registrada en el mismo punto de control geodésico, pero para un período de tiempo más corto de 14 meses, se determinó la velocidad vertical que es de 27,9 cm/año

En total se obtiene una velocidad de 28,4 cm/año de movimiento del punto PI 9 con una inclinación de 78° y en dirección del azimut de N - 346°.

Para el caso del punto de control geodésico T8 ubicado en el taller automotriz a 30m de desnivel más debajo de las bodegas, se obtuvo una velocidad horizontal de 3.2 cm/año y la componente vertical de 7.1 cm /año, lo que nos da una velocidad total de 7,8 cm/año con una inclinación menor que la del PI 9 de 66° respecto a la horizontal y un azimut N - 360°.

Si se compara entre las dos resultantes de velocidad total, se observa que en las bodegas de Hidropaute se registra un movimiento de 4 veces el del taller automotriz, esto nos da una idea de movimiento de masas diferentes con orientaciones distintas y que se mueven a diferentes velocidades y por lo tanto aceleraciones propias de cada masa. Se espera que esto ocurra debido a que estas masas están asentadas sobre un paleo relieve natural formando microcuencas, en donde cada una de ellas tiene características geomecánicas diferentes como se va a estudiar, e inclusive niveles freáticos distintos, alimentados por redes de agua internas complejas.

2.15 ESTUDIOS Y SONDEOS GEOTECNICOS (PERFORACIONES) EN LA ZONA No 2:

Mediante las perforaciones o sondeos mecánicos se determinó la litología de la zona No 2, su orden y distribución geométrica. Con la obtención de testigos de perforación se realizaron análisis de laboratorio en donde se determinaron parámetros geomecánicos (c y Φ)¹⁰ de la brecha de falla, se realizaron medidas

¹⁰ c = cohesión del material

Φ = ángulo de fricción interno del material

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

de deformación mediante inclinómetros o extensómetros, y se determinaron parámetros hidrogeológicos [3].

Las perforaciones dieron inicio en septiembre de 1991 con el PEG 1 (Perforación Guarumales 1) y se realizaron un total de 24 de las cuales se instalaron 22 inclinómetros y/o piezómetros, de las cuales para la zona No 2 se resumen en la tabla 2.10

TABLA 2.10
CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS SONDEOS MECANICOS REALIZADOS EN LA ZONA No 2[3].

Sondeo mecánico	Ejecución	Prof del macizo rocoso	Prof Superficie deslizamiento	I=inclinómetro P=piezómetro	Cota de Ubicación m.s.n.m.
PEG 2	Noviem 91	36	35	I	1547
PI 9	Agosto 95	77	74	I	1530

De las perforaciones realizadas y los resultados obtenidos se presentan en las fotografías No 5 y 6 para la PEG 2 y foto No 7 para la PI 9, cada recuadro representa la perforación en determinado tramo y con la fecha correspondiente en cada caja porta testigos. Los testigos en si se perdieron en el deslizamiento de abril de 1999, en donde se represó la quebrada Ventanilla en la parte superior del talud a causa de un deslizamiento, luego al romperse el dique natural formado, bajó como flujo de escombros y se llevó la antigua bodega de Hidropaute en donde se guardaban estos testigos, causando la muerte de 1 persona y dejando a la central Hidroeléctrica de Paute al borde del colapso, debido a que en esta bodega se guardan todos los accesorios de mantenimiento para la generación de corriente eléctrica, provocando pérdidas superiores a los cinco millones de dólares y el riesgo de quedar desabastecidos de energía a todo el país.

La antigua bodega destruida por el deslave se ubicaba en la zona No 1 junto a la quebrada Ventanillas en lo que hoy es el helipuerto, por esta razón se construyó una nueva bodega en la zona No 2, en donde nuevamente se presentan deslizamientos y hundimientos.

El deslizamiento únicamente de la infraestructura de la bodega antigua, proporciona una idea del paleo relieve metamórfico que es la zona en su interior, pues al estar formada por microcuencas, se desprendió solo este tramo con el comportamiento de un talud cuya zona de falla es la misma brecha de deslizamiento pero siguiendo la forma de la microcuenca.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA



FOTOGRAFIA No 5: Caja porta testigos de la perforación PEG 2



FOTOGRAFIA No 6: Caja porta testigos continuación de la perforación PEG 2

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA



FOTOGRAFIA No 7: Caja porta testigos de la perforación PI 9

En estas perforaciones se tiene que indicar que en muchas de ellas no fue posible la determinación de la ubicación de la altura de la brecha de falla y la clasificación del macizo rocoso por el bajo porcentaje de recuperación en los núcleos como se observa en las fotografías anteriores, pero en los tramos con alto porcentaje de recuperación se confirmó la orientación de las discontinuidades, la ubicación espacial de la foliación principal S1 ($252^{\circ}/85^{\circ}$), (ver tabla 1.1, capítulo 1.6.3).

2.16 DETERMINACION DE LOS ESPESORES DE LOS ESTRATOS Y LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE ESTOS.

Para la determinación de la profundidad, potencia, y nivel de agua freática, se realizaron sondeos mecánicos verticales exploratorios y subdrenos horizontales, para el caso de zonas en donde se los realizaron, también aportaron información las investigaciones geofísicas, medidas inclinométricas y cartografía geológica en la zona No 2.

Al realizar las perforaciones PEG 2 y PI 9 por parte de Hidropaute, se pudieron identificar claramente 3 estratos de materiales:

- **Estrato 1:** se trata de un material coluvial integrado por bloques de esquistos cuarcíticos, cloríticos, grafiticos, que son < 50 cm y con una matriz limosa variando de color café claro a café amarillento y con una

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

potencia de capa de 77m que a su vez es la máxima encontrada en todas las perforaciones (PI 9).

- **Estrato 2:** Constituye la brecha de deslizamiento y está compuesta por limo de color gris plomizo y arcilla de color verdoso acompañada de clastos de esquistos cuarcíticos con presencia de cristales sulfurosos, corresponde al paleosuelo natural de 3m de espesor en esta perforación (PI 9) y variante a lo largo del talud, sobre el cual se depositó el coluvio y es la principal preocupación no solamente de la zona No 2 sino de todo el talud de Guarumales.
- **Estrato 3:** Conformado por esquistos cloríticos seríticos y es la roca sobre la que descansan los otros dos estratos.

Cabe indicar que en Junio de 1991, en el Programa de perforaciones del Proyecto Guarumales, se realiza la clasificación SUCS y granulometría de los suelos que forman parte del coluvio. En la tabla No 2 se muestra el resumen de los valores obtenidos de los ensayos realizados en los laboratorios de suelos de la Universidad Central de Quito, y correspondientes a la perforación PI9 que es la que pertenece a la zona No 2. Estos ensayos se realizaron con muestras obtenidas de las perforaciones en las que se colocaron los inclinómetros y piezómetros, los mismos que sirven como base de datos con que cuenta Hidropaute.

En mayo de 1995; se completo el ensayo de suelos de la brecha de deslizamiento. Se obtiene que es una matriz limosa de baja compresibilidad (ML) y una arcilla de baja compresibilidad (CL); se concluye que ambos materiales son susceptibles de deslizamiento por lo tanto cualquiera de los 2 ocasionarían la falla del talud.

Las perforaciones verticales se realizaron para obtener datos litológicos, estructurales, grado de alteración, grado de fracturamiento y el valor del RQD¹¹, para evaluar la calidad de la roca que se va atravesando con la perforación. Estos sondeos han servido también para instalar los piezómetros e inclinómetros, que ayudan en el monitoreo y determinación del comportamiento de movimiento en masa.

TABLA No 2.11

RESUMEN DE MATERIALES ENCONTRADOS EN LA PERFORACION PI9 REALIZADAS POR INECOL CORRESPONDIENTES A LA ZONA NO 2 EN ANALISIS (RESUMEN PERSONAL PARA LA ELABORACION DE LA PRESENTE INVESTIGACION)

¹¹ RQD: "Rock Quality Designation", parámetro de clasificación geotécnica que evalúa la calidad de la roca y permite obtener valores de c y ϕ .

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

COTA	PROF (m)	MATERIAL	OTROS MATERIALES	MATRIZ
1542,00	00,00	Inicio de la perforación.		
1523,90	18,10	Hasta aquí hay Coluvial $\Phi < 10$ cm.	Esporádicos bloques $\Phi < 40$ cm de esquistos cuarcíticos cloríticos.	Limosa café claro
1505,00	37,00	Fragmentos $\Phi < 10$ cm muy alterados color café.		Limosa café amarillento
1501,00	41,00	Limo arcilloso café amarillento.	Porcentaje pequeño de Fragmentos $\Phi < 10$ cm.	
1498,00	44,00	Fragmentos de esquistos cuarcíticos cloríticos alterados $\Phi < 10$ cm		Limosa color café
1496,00	46,00	Bloques de esquistos cuarcíticos fracturados y medianamente alterados $\Phi < 50$ cm.		
1492,00	50,00	Esquisto cuarcítico $\Phi < 10$ cm.		Limosa color café
1486,00	56,00	Bloques $\Phi < 40$ cm.	Fragmentos $\Phi < 10$ cm de esquisto cuarcítico alterado y con superficies oxidadas.	
1479,60	62,40	Esquisto cuarcítico ligeramente meteorizado $\Phi < 20$ cm.		Limosa color café
1468,00	66,40	Esquisto cuarcítico grafitico color gris oscuro a negro $\Phi < 10$ cm.		Limosa color gris oscuro
1465,00	74,00	Brecha de deslizamiento compuesta por limo de color gris plomizo y arcilla verdosa.	Clastos de esquisto cuarcítico con presencia de cristales sulfurosos.	
1456,50	77,00	Esquisto clorítico serítico color gris verdoso muy foliado microplegado con vetillas de cuarzo.		
1456,00	85,50 86,00	Esquisto cuarcítico color gris claro intercalado con cuarzo lechoso.		

Con color rojo aparece marcado el material analizado en laboratorio y que es representativo de la brecha de deslizamiento o falla.

En la tabla 2.11 correspondiente al sondeo PI 9 se inicia la perforación por parte de Hidropaute en la cota 1542 m.s.n.m. y llega hasta la cota 1456 m.s.n.m. con un total de 86 metros, en sus primeros 18,10m es material coluvial de 10 cm de diámetro y pocos bloques de 0,40 metros de diámetro de esquistos cuarcíticos

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

cloríticos en matriz limosa color café claro y en el testigo de este tramo se recupera 25% (2,72m), del 60% de la perforación (10,86m), en el siguiente 30% (5,43m) se recupera el 60% (3,26m) y en el 10% final (1,81m) se recuperó el 75% (1,36m).

Desde los 18,10 m. hasta los 37,00 m. existen fragmentos de esquisto menores a 10 cm. de diámetro muy alterados, en matriz limosa café amarillenta. Desde los 37,00 m. a los 41 m. hay un limo arcilloso color café amarillento con un bajo porcentaje de presencia de fragmentos menores a 10 cm. Desde los 41,00 m. a 44,00 m. existen mayoritariamente fragmentos de esquistos cuarcíticos cloríticos alterados y menores a 10 cm. de diámetro. De 44 m. a 46 m. existen bloques hasta de 50 cm. de diámetro de esquisto cuarcítico fracturados y medianamente alterados. De 46 m. a 50 m., predominan fragmentos de esquistos, menores a 10 cm. de diámetro dentro de una matriz limosa color café. De 50 m. a 56 m. se encuentran bloques de hasta 40 cm. de diámetro intercalado con fragmentos de 10 cm. de esquistos cuarcíticos cloríticos alterados con superficies oxidadas. De 56 m. a 62,40 m. se encuentran fragmentos de hasta 20 cm de diámetro de esquisto cuarcítico ligeramente meteorizado envueltos en matriz limosa color café. De 62,40 m. a 74 m. predominan fragmentos menores a 10 cm de diámetro, de esquistos cuarcíticos grafiticos de color gris oscuro a negro, dentro de una matriz limosa de color gris oscuro. Desde los 74 m. a 77 m. encontramos la brecha de deslizamiento y causante de los desplazamientos de acuerdo a los datos del inclinómetro PI 9, la misma está compuesta por un limo de color gris plumizo y arcilla de color verdosa, con clastos de esquisto cuarcítico y presencia de cristales sulfurosos.

De 77 m. a 85 m. se encuentra un esquisto clorítico serítico, de color gris verdoso muy foliado, micro plegado con vetillas de cuarzo. Este tramo se recupera el 100 % y se trata de una roca sana y maciza con juntas muy separadas de más de 3 m. y su RQD ES 100 % roca de excelente calidad. Desde los 85,50 m. hasta los 86,00 m. que finaliza la perforación se encuentra un esquisto cuarcítico de color gris claro intercalado con un cuarzo lechoso, y de igual manera que el anterior tramo es una roca excelente [13].

2.17 PARÁMETROS GEOMECANICOS OBTENIDOS EN LABORATORIO, MEDIANTE LA PERFORACION PI 9 Y PEG 2

En la perforación PI9 al alcanzar la brecha de deslizamiento se identifica 2 materiales, un suelo limo arenosos color plumizo y una arcilla de color verdoso. Los dos son analizados por separado en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Central de Quito, y los resultados se presentan a continuación, acotando que en el suelo arenoso se realiza un ensayo de compresión simple mientras que en la arcilla verdosa se realiza un ensayo triaxial por ser este material el más susceptible de falla, debido a que los parámetros en este material dan los resultados más bajos.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

En el ensayo triaxial de las tres muestras se tiene que desechar la primera debido a valores erráticos obtenidos, los resultados se presenta en la tabla 2.12.

TABLA 2.12
RESULTADOS DE LABORATORIO [13]

a) SUELO LIMO ARENOSO (plomizo)

ENSAYO DE CORTE SIMPLE

MUESTRA No	σ_1 (kg/cm ²)	σ_3 (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	Φ (°)	$\tan\Phi = C / \sigma_1$	Φ (°) asumido
MUESTRA 1	2,67	0	1,333	26,531	0,499	26,57
MUESTRA 2	1,89	0	0,945	26,565	0,500	26,57

Para la obtención de los parámetros geotécnicos en el limo se procedió a dibujar los valores de los esfuerzos principales con la diferencia de que para el limo no se tiene valores de confinamiento es decir el esfuerzo menor ó σ_3 vale 0 porque no tienen confinamiento y el valor de σ_1 lo obtenemos del ensayo de corte directo. Procedemos a dibujar los círculos solo con los valores de los esfuerzos principales calculados de las muestras 1 y 2.

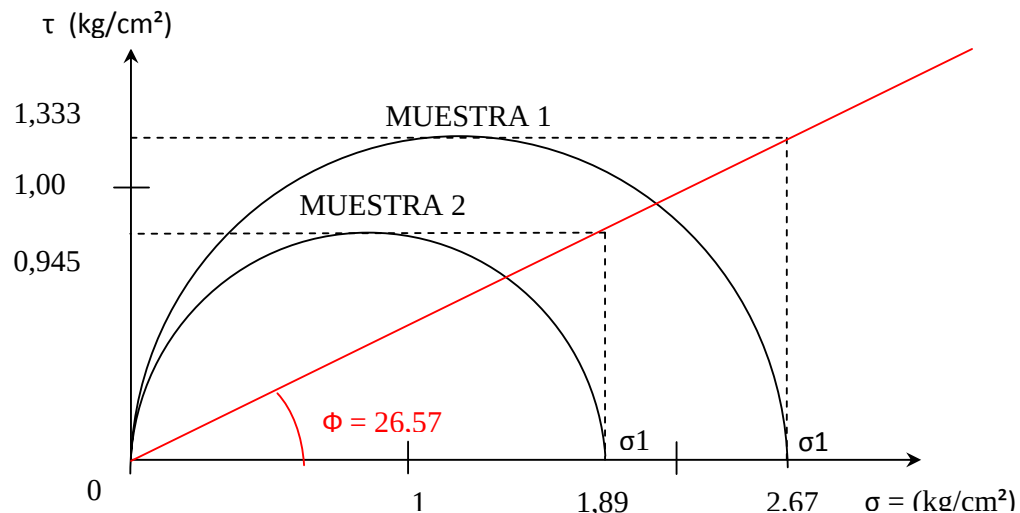


FIG 2.21 REPRESENTACION GRAFICA DE ESFUERZOS ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE, EN DONDE SE TIENE $C = \tau = \frac{1}{2} \sigma$ Y $C = \sigma \tan\Phi$

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

TABLA 2.13 ENSAYO TRIAXIAL EN LA ARCILLA [13]

b) ARCILLA color verdosa

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

MUESTRA No	σ_1 kg/cm ²	σ_3 kg/cm ²	C= kg/cm ²	$\Phi(^{\circ})$	$2\theta (^{\circ})$	observaciones
MUESTRA 1	3,74	1		12,8	102,8	Valor errático
MUESTRA 2	3,97	2	0,332	12,8	102,8	
MUESTRA 3	5,54	3	0,332	12,8	102,8	

En la tabla 2.13 existe un valor errático, muy probablemente por la mala toma de la muestra o el traslado incorrecto hacia el laboratorio, que dio como resultado el gráfico de un círculo fuera de los límites de la zona de falla del material, por lo que sus resultado no se considera, se toma en cuenta únicamente las otras dos muestras restantes

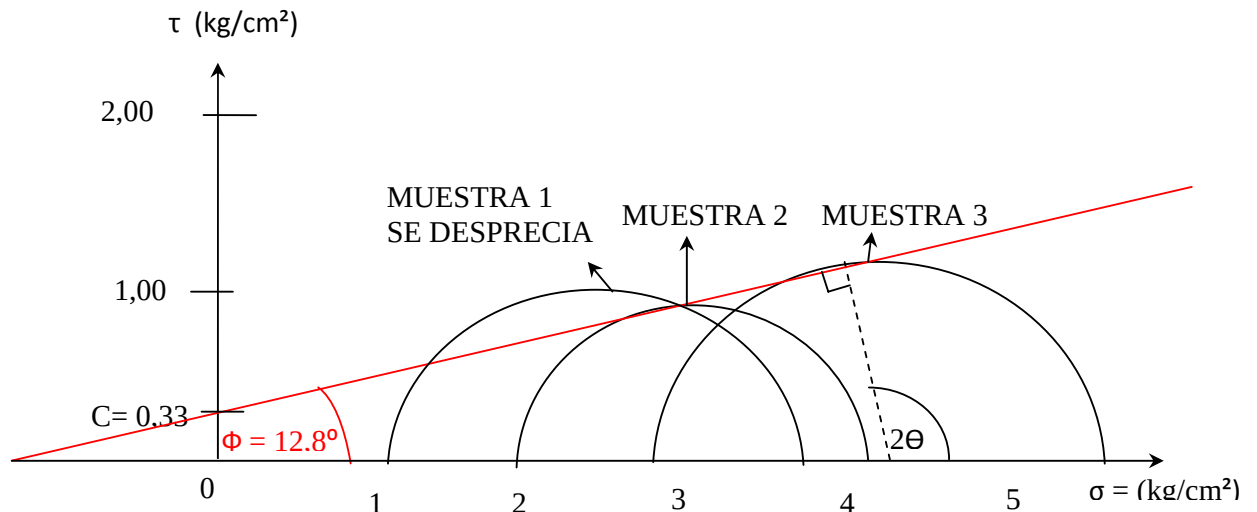


FIG 2.22 REPRESENTACION GRAFICA DE ESFUERZOS, ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL [13].

CALCULO DE C=cohesión

PLANO DE FALLA EN LA MUESTRA

MUESTRA No	$\theta(^{\circ})$	Tan $\theta (^{\circ})$	σ_n (kg/cm ²)	τ_n (kg/cm ²)	observaciones
MUESTRA 1	75,030	3,740	2,066	1,336	
MUESTRA 2	77,200	1,985	2,767	0,961	

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

MUESTRA 3	77,200	1,847	3,989	1,238	
$C = \tau - \sigma \tan \theta$	$\sigma_n = (\sigma_1 + \sigma_3)/2 + (\sigma_1 - \sigma_3)/2 \times \cos 2\theta$ $\tau = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 \times \sin 2\theta$				

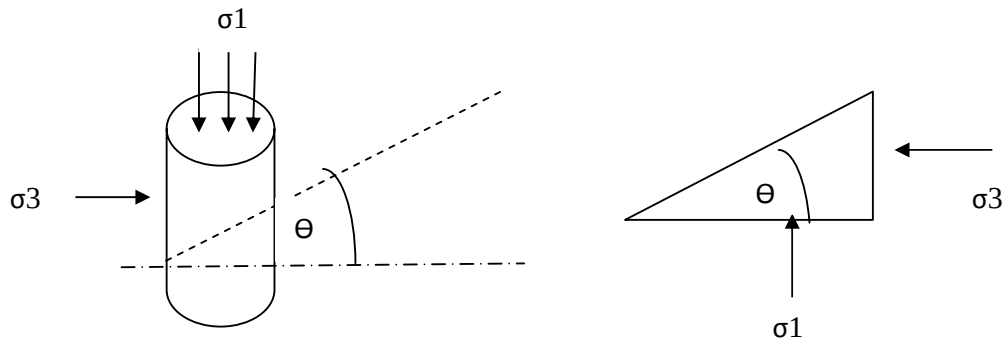


FIG 2.23 REPRESENTACION GRAFICA DEL PLANO DE FALLA EN LA MUESTRA Y LOS ESFUERZOS PRINCIPALES EN ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL [13].

c) c y Φ DEL COLUVION

Aquí se realizaron las siguientes consideraciones:

$$c = 0 ; \Phi = 15^\circ \text{ a } 32^\circ$$

Estos valores son proporcionados por Hidropaute

2.18 PESO UNITARIO DE LOS MATERIALES DE LA BRECHA DE FALLA

1) LIMO

$$\text{Peso unitario limo} = 1,90 \text{ gr/cm}^3 = 1900 \text{ K gr/m}^3 = 18639 \text{ Nw/m}^3 = 18,639 \text{ KNw/m}^3 = 19 \text{ KNw/m}^3$$

2) ARCILLA

$$\text{Peso unitario arcilla} = 1.9 \text{ gr/cm}^3$$

$$1900 \text{ K gr/m}^3 = 18639 \text{ Nw/m}^3 = 18,63 \text{ KNw/m}^3$$

En los materiales, el limo forma parte de la matriz del coluvión y parte de la brecha de falla, mientras que la arcilla forma únicamente parte de la brecha de falla y constituye el material más débil de acuerdo a los resultados obtenidos en las tablas 2.12 y 2.13

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.19 RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES GEOFISICAS

En la zona No 2 se realizaron por parte de Hidropaute, estudios geofísicos únicamente mediante sondeos eléctricos, los mismos que aportaron en la determinación de los espesores de los estratos. En la Fig. 2.24 se representa las características hidrogeológicas internas en el Guarumales y observamos que en la zona No 2, en la perforación PI 9 la profundidad del nivel freático se encuentra a 32 m de profundidad y en la brecha de falla el agua se encuentra con una presión de poro de 190 KN/m². Para la perforación PEG 2 no se tiene certeza de la ubicación del nivel freático, el mismo se presenta muy variable, lo que nos indica de la posibilidad de cuerpos de agua colgados o de más de un nivel freático en esta zona. Cabe indicar que en estos sectores no se pudo realizar sísmica de refracción, por ser zonas habitadas y que podrían generar deslizamientos durante estas investigaciones a causa de las explosiones, por lo que se realizó solamente en la parte superior de los tanques de agua potable de la zona No 1 siguiendo una línea denominada SRGU-1 (sísmica de refracción Guarumales 1).

FIG 2.24 RESULTADOS HIDROGEOLOGICOS OBTENIDOS EN LAS PERFORACIONES PEG 2 Y PI 9 [3].

2.20 RESUMEN DE FACTORES DESESTABILIZANTES EN LA ZONA No 2

Las principales causas de inestabilidad en la ladera son:

- Orientación de las discontinuidades NNW es la misma orientación de las pendientes del talud.
- Erosión lateral que producen las quebradas Q3 (Ventanillas) y Q2 (Taller automotriz).
- Infiltración en las quebradas Q2 y Q3 al interior del talud, que provocan movimientos continuos de las masas.
- Presión activa de tierras, debido a la existencia de varias masas deslizantes en la parte superior del talud.
- Construcción de la vía de acceso en la parte inferior del talud.
- Presencia de agua al interior del talud que produce deformaciones continuas en la masa deslizante y provoca aceleración en los movimientos en las épocas de lluvia al sobrepasar de frontera de 340 mm/mes de pluviosidad [3].
- La brecha de falla aflora en su parte superior en la vía Guarumales Méndez, específicamente en la cota 1885. Mientras que en la parte inferior

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

se localiza a la altura de los muros de gaviones a unos 30 m. de la orilla del río Paute en la cota 1345 m.s.n.m.

- Por lo tanto, se puede concluir que:
 - La brecha de falla es un paleosuelo natural formado hace mucho tiempo sobre el cual sobrevino el coluvión y su profundidad máxima registrada ocurre en la perforación PI9 y es de 77 m. mientras que la distancia aproximada desde su afloramiento en la parte superior en inferior es 1529 m. Lo cual nos indica que ningún círculo de falla cortaría la superficie de falla existente en esa longitud.
 - La forma de un paleosuelo es con varias microcuencas, lo cual favorece a la estabilidad del talud.
 - Esta forma de paleosuelo se puede comprobar en las observaciones de los resultados obtenidos en los inclinómetros instalados a lo largo y ancho de todo el campamento, los mismos que nos indican movimientos diferentes en algunos sectores de las zonas consideradas como de alto riesgo.
 - Las teorías de Movimiento de Guarumales son 2:
 - 1) TEORIA 1: Debido a la geología estructural de su superficie, es decir un paleosuelo formado por microcuencas.
 - 2) TEORIA 2: Condicionamiento de flujos preferencial de aguas subterráneas, que se traducen en los diferentes movimientos de ciertos sectores, los mismos que se mueven de manera distinta a otros inmediatamente colindantes con estos.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPITULO III

DESARROLLO CONCEPTUAL Y ANALISIS DE FACTORES QUE CAUSAN INESTABILIDAD EN LA ZONA No 2 EN GUARUMALES

3.1 INTRODUCCION A LOS DESLIZAMIENTOS

Las principales causas de deslizamientos en Ecuador básicamente se debe a:

- Altas precipitaciones pluviométricas, situaciones estacionales o de lluvia intensa, etc.
- Conformación Litológica y Geológica, se ubican entre estas, taludes morfológicamente inestables, meteorización, falta de sujeción en la superficie, estratificación desfavorable, orografía acusada, entre otros.
- Geomorfología
- Sismología
- Actividad volcánica.
- Falta de acción preventivas en zonas identificadas como de alto riesgo.
- Antrópicas. cuando se realizan movimiento de tierras por construcción de obras de ingeniería como infraestructura, vías, tal es el caso del campamento de Guarumales. Variación de las condiciones freáticas a causa de las construcciones realizadas por el hombre.
- Los graves problemas que ocasionan son:
 - Pérdidas de vidas humanas.
 - Incomunicación y las consecuencias que esta ocasiona.
 - Impactos ambientales y daños irreparables que transforman el medio.
 - Impactos sociales, económicos en pérdidas materiales millonarias en destrucción de infraestructura vial, comunicaciones, eléctricas, viviendas, animales, terrenos de cultivo, que desaparecen repentinamente, etc. Impactos en la productividad y otros que alteran el curso de la sociedad afectada.

3.2. CLASIFICACION DE LOS DESLIZAMIENTOS:

En el siguiente cuadro se resumen los tipos de fallas existentes y su definición
[18]

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

TABLA 3.1
Clasificación de fallas

Tipo de falla	Forma	Definición
Desprendimientos	Caída libre	Desprendimiento repentino de uno o más bloques de suelo o roca que descienden en caída libre.
	Volcadura	Caída de un bloque de roca con respecto a un pivote ubicado debajo de su centro de gravedad.
Derrumbes	Planar	Movimiento lento o rápido de un bloque de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana.
	Rotacional	Movimiento relativamente lento de una masa de suelo, roca o una combinación de los dos a lo largo de una superficie curva de falla bien definida.
	Desparramamiento lateral	Movimiento de diferentes bloques de suelo con desplazamientos distintos.
	Deslizamiento de escombros	Mezcla de suelo y pedazos de roca moviéndose a lo largo de una superficie de roca planar.
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.
Flujo	De escombros	Suelo o suelo-roca moviéndose como un fluido viscoso, desplazándose usualmente hasta distancias mucho mayores de la falla. Usualmente originado por exceso de presiones de poros.
Repteo		Movimiento lento e imperceptible talud abajo de una masa de suelo o suelo-roca

3.3 FACTORES DESENCADENANTES DE MOVIMIENTO EN LA ZONA No 2

DEFINICION: Los deslizamientos son un conjunto de materiales, rocas y de tierra que luego de reunir ciertas condiciones en el suelo, acumular humedad y tener la pendiente topográfica inestable según el material que compone el talud, ocurren debido a la gravedad, redistribuyen suelo y sedimentos en procesos que pueden ser violentos o graduales.

Las condiciones de inestabilidad que reúne el suelo son:

a) **GEOLOGICAS:**

- Tipo y calidad de material que conforma el talud
- Orientación de las discontinuidades.
- Combinación de las anteriores con factores externos como lluvia.

b) **HIDROLOGICAS:**

- Debido fundamentalmente a lluvias excesivas (durante un largo período de tiempo)
- Inundaciones (producen saturación del material en contacto con el agua, incremento de peso volumétrico, disminución de esfuerzo efectivo).

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Períodos cortos de tiempo de lluvia pero de intensidad alta.
- c) SISMICAS:
 - Sismos (activan o inician un deslizamiento al perder cohesión y disminuir los esfuerzos resistentes al corte en el talud).
- d) TOPOGRAFICAS:
 - Pendientes naturales (producen erosión, escorrentía superficial) aunque taludes con poca pendiente pueden ser susceptibles de deslizamiento por las otras condiciones.
- e) OTRAS:
 - Antrópicos: intervención del hombre al construir carreteras, edificaciones u obras que alteran las pendientes naturales (cortes y rellenos), además deforestación.

3.4 FACTORES GEOLÓGICOS

Analizando lo que ocurre en el talud de la zona No 2 mediante los gráficos en la Fig. 2.12 (en el capítulo anterior) se observa:

En la perforación PI9 la medición con el inclinómetro colocado a 72° NW dirección del eje A, se aprecia que desde la lectura inicial el 16 Agosto de 1995, hasta el 19 de marzo de 1998 se produce un desplazamiento uniforme y total de 35 mm, en la brecha de falla a 76 m de profundidad, mientras que en la superficie desde la lectura de inicio se ha desplazado 40 mm. Esto nos indica que superficie y brecha de falla se mueven casi al mismo tiempo en esta dirección, mientras que en el eje B colocado a 90° del eje A existe en el coluvión una superficie que hace deslizar en diferentes formas a la profundidad entre 19 m y 25 m, debido a la presencia de fragmentos de esquistos cuarcíticos cloríticos alterados menores a 10 cm envueltos en matriz limosa, que provocan deslizamientos de 30 mm en la primera superficie y 50 mm en la segunda, en la brecha de falla se tiene un desplazamiento total de 70mm desde el inicio. Si relacionamos las fechas con la cantidad de movimiento, los máximos desplazamientos coinciden con los meses de febrero de 1997 a mayo del mismo año que son los meses de mayor lluvia, igual ocurre en marzo de 1998 que es el máximo valor de 70 mm ocurrido hasta entonces en ese punto.

En figura 2.20 se grafican los desplazamientos del mismo inclinómetro PI9, pero desde diciembre de 1999 hasta enero del 2001, en donde en el eje A con dirección $N62^\circ W$ en el lapso de 1 solo mes desde el 15 de Noviembre al 15 de diciembre del 2000 se produce un desplazamiento de 22 mm, tomando en cuenta que noviembre y diciembre no son meses de lluvia, es necesario correlacionar la

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

acumulación de lluvia diaria con los movimientos que ocasionan desplazamientos considerables.

El material existente en la brecha de falla es entonces el factor más importante para la ocurrencia de los deslizamientos, esto se confirma con el análisis del laboratorio realizado por Hidropaute y que fue tratado en el punto 2.17.

3.5 FACTOR LLUVIAS:

Para la evaluación de los deslizamientos en la zona No 2, son necesarios los datos sobre intensidad y duración (umbrales) de la lluvia y relacionarlos con los desplazamientos y tipo de material, así como la lluvia acumulada de varios días puede ser causa de deslizamiento por saturación, creado flujos superficiales de agua [19].

La relación intensidad o cantidad de lluvia con la ocurrencia de deslizamientos nos proporciona una idea de los valores de pluviometría en los que se produce mayor o menor movimiento [20].

Para cumplir con el objetivo de establecer correlaciones de acumulación de lluvia, nos basamos en la tabla de datos de lluvia general (proporcionada por el departamento de mantenimiento civil de Hidropaute), con la que se procede a elaborar un nuevo cuadro, en el que se suman los datos de lluvia diaria en períodos de lluvia acumulada de 7 días, y en períodos de dos días (Anexo A), se identifica con color rojo los datos que sobrepasen los valores de 70 mm en 7 días y 20 mm en 2 días en este nuevo cuadro, se trabaja con estos porque son valores sugeridos por Hidropaute y supuestos como valores frontera para la activación de alarmas de evacuación del personal, basado en la ocurrencia del flujo de escombros y desaparición de la antigua bodega de Hidropaute con grandes pérdidas económicas y que tuvo lugar el día 18 del mes de abril de 1998 en la quebrada Ventanillas frontera de la zona No 2, en donde reunió las características indicadas.

Esta investigación del factor lluvia, se centrará en analizar si los valor de 70mm en 7 días y de 20 mm en 2 días, son los umbrales que disparan un flujo de escombros (según Hidropaute) en la zona en estudio, para ello se procede a graficar los valores del cuadro general de lluvias mes a mes desde febrero de 1998 hasta agosto del 2008. En la Fig. 3.1 se observa la pluviosidad de abril de 1998, mes de la ocurrencia del flujo de escombros, en donde solamente el día 18 del mes de abril, permanecen arriba del acumulado de 70 mm en 7 días, y solo 3 días antes del día 19 superan la acumulación de 20 mm en los 2 días anteriores previos al flujo, por lo tanto es necesario investigar que ocurre con valores más bajos y más altos de acumulación de lluvia que la barrera de 70mm. Se procede a realizar cuadros de acumulación de lluvia en 5 días en el mismo mes de abril de 1998 y se grafica el resultado (Fig. 3.2), aquí observamos que ningún día

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

supera esta barrera, pues si bien son menos días lo que se quiere es observar el comportamiento de este umbral respecto a la acumulación de lluvia y el valor del día 18 casi es de 63,50 mm y casi llega a la barrera de los 70 mm, mientras que los días anteriores se alejan de la barrera. Si se realiza el acumulado de 9 días, el día 18 tiene un valor de 77,90 y supera la barrera de los 70 mm. y su gráfico se presenta en la Fig. 3.3. Finalmente se obtiene la acumulación de 11 días en el mismo mes de abril en donde el día anterior (día 18) se obtiene el valor de 105,10 mm. Y los valores anteriores casi todos superan los 100 mm.

Pudiera ser entonces que la acumulación de lluvia este causando problemas de saturación del material coluvial compuesto por el coluvio y la matriz limosa, esta última muy susceptible de alcanzar humedades altas y provocar el flujo que ocurrió.

Si la acumulación de lluvia puede ser un factor que desencadene flujos, las lluvias cortas y de alta intensidad constituyen un peligro inminente por no dar el tiempo suficiente a que el agua circule y se generen presiones de poros excesivas.

En la Fig. 3.1 se observa que el día 18 de abril es el único días que supera la barrera de los 70 mm de agua y a lo largo del tiempo se repite varias veces esta ocurrencia de fenómeno por lo que no es un valor determinante o que sea considerado como representativo o único de un evento como el flujo ocurrido. Con color rojo se marcan todos los valores que superan los 70 mm en el anexo A y son muchos. Si acortamos el período de acumulación a 5 días se puede observar que ninguno de los 10 días anteriores acumula 70 mm y un solo día anterior acumula 63,50 mm, por lo que será necesario analizar qué fue lo que ocurrió en ese día anterior.

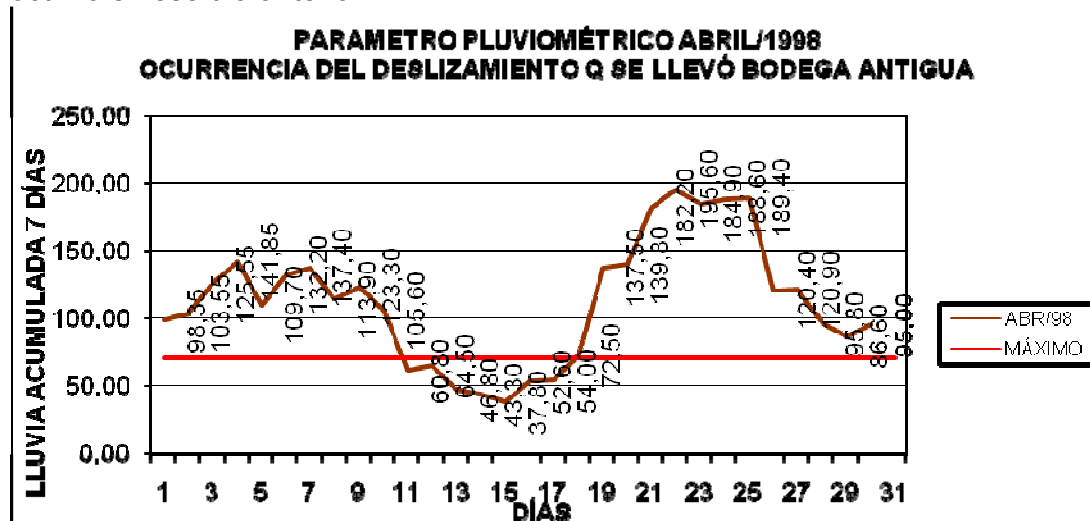


FIG. 3.1 GRAFICA DE LLUVIA ACUMULADA EN 7 DÍAS EN EL MES DE ABRIL DE 1998 MES DEL DELIZAMIENTO (Datos de lecturas proporcionadas por el Departamento de Mantenimiento Civil de Hidropaute).

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La Fig. 3,2 nos indica que si disminuimos el tiempo de acumulación, disminuyen los días de lluvia que cumplan las características de superación de las barreras que nos imponíamos, debido a que son pocos los días de lluvia que fueron considerados como tormenta por Hidropaute y que sobrepasaron la barrera de los 70 mm y mientras menor el número de días menos posibilidad de alcanzar esta barrera.

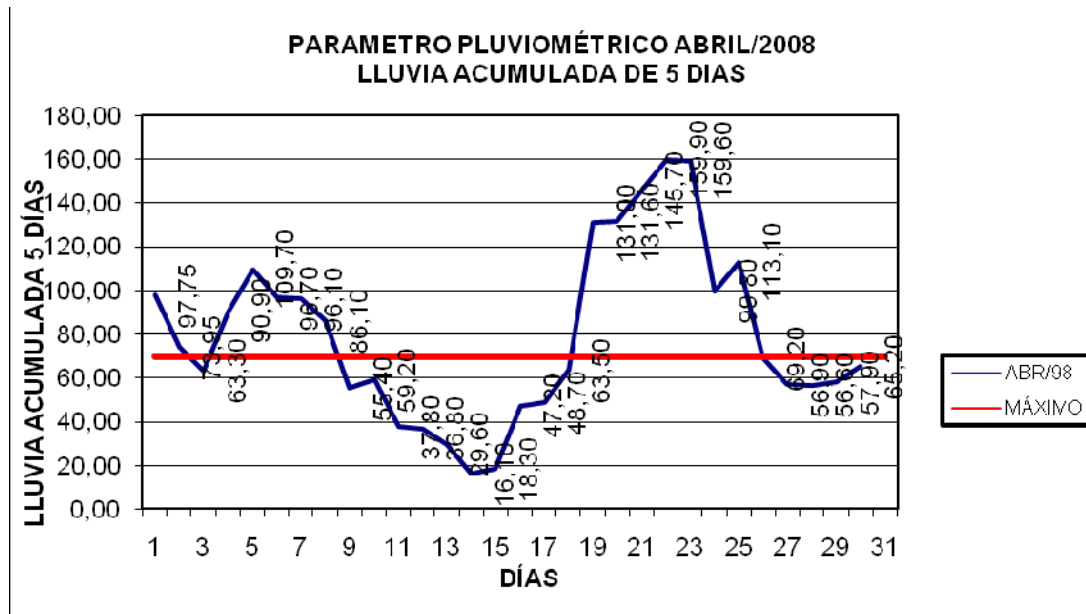


FIG. 3.2 GRAFICA DE LLUVIA ACUMULADA EN 5 DÍAS EN EL MES DE ABRIL DE 1998 MES DEL DELIZAMIENTO (Datos de lecturas proporcionadas por el Departamento de Mantenimiento Civil de Hidropaute).

Si por el contrario se incrementa el número días de acumulación como es el caso de la Fig. 3.3 en 9 días son el 16, 17 y 18 de abril (ver anexo B), que apenas sobrepasan la barrera de los 70mm, si bien son 9 los días que se toman en cuenta debería ser notoria su acumulación en 2 días más que los que propone la barrera como umbral en los 7 días, lo cual no ocurre.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

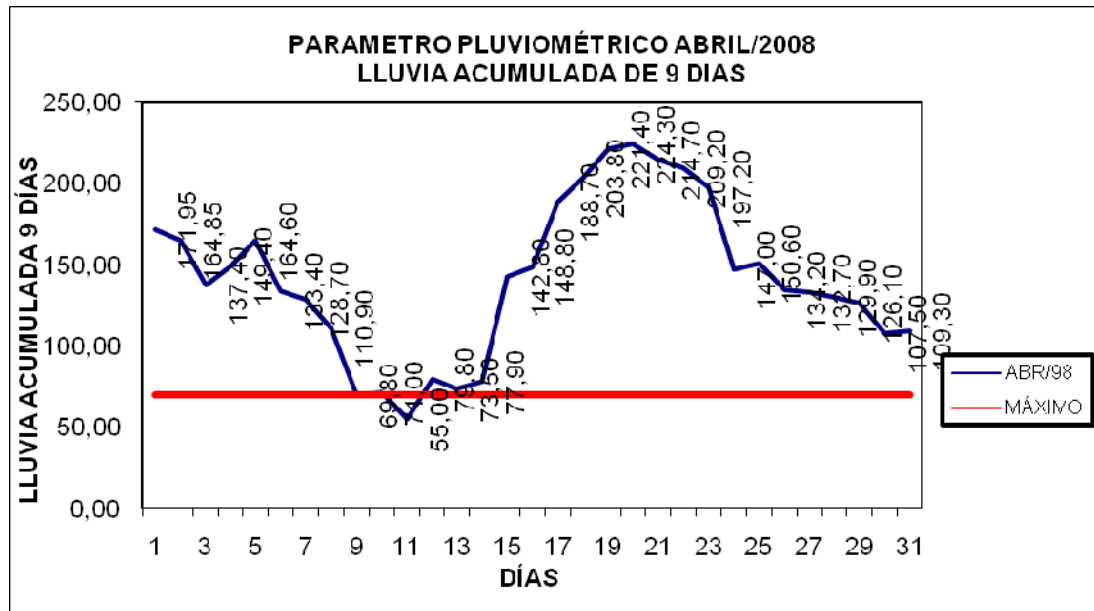


FIG. 3.3 GRAFICA DE LLUVIA ACUMULADA EN 9 DÍAS EN EL MES DE ABRIL DE 1998 MES DEL DELIZAMIENTO (Datos de lecturas proporcionadas por el Departamento de Mantenimiento Civil de Hidropaute).

Se investiga qué ocurre si el período de lluvia acumulada es de 11 días.

La Fig. 3.4 indica que en 11 días se acumularon 105,10 mm en el día 18 previo al flujo de escombros y que los días anteriores mantienen valores parecidos e inclusive superan este valor y no ha ocurrido ninguna inestabilidad en la zona No 2 ni antes ni después del evento. Si se continúa tomando períodos de tiempo más grandes por ejemplo 15 días el comportamiento es muy similar a los anteriores, es decir para 15 días que también se realizó el análisis en el día 18 se tiene 179,20 mm, los días anteriores tienen valor similar y superior (ver anexo C) y los posteriores también superan este valor y no existió evento parecido.

Se investiga entonces que ocurrió con las lluvias horarias del día 18 de abril desde las 22:00h hasta el momento que ocurrió el flujo de escombros el 19 de abril dentro de las 00:00 hasta la 01:00 horas de la madrugada. Para este análisis se hará referencia a la Fig. 3.5 proporcionada por el Departamento de Mantenimiento Civil de Hidropaute, en donde se observa que en las 00:00 horas del 19 de abril de 1998 existe una lluvia de 16,1 mm hasta la 01:00 horas, valor que es excesivamente alto para el medio y conjuntamente con los valores que le anteceden desde las 10:00 de la noche del 18 de abril suman 35,50 mm acumulados en 3 horas que es más de lo que se acumula en un día de algunas fechas en el año. Se pidió información a Hidropaute sobre la ocurrencia de este tipo de lluvia y se confirma que este valor de 16,10 mm en 1 hora es un valor de lluvia horaria que posiblemente se repite en 50 años.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

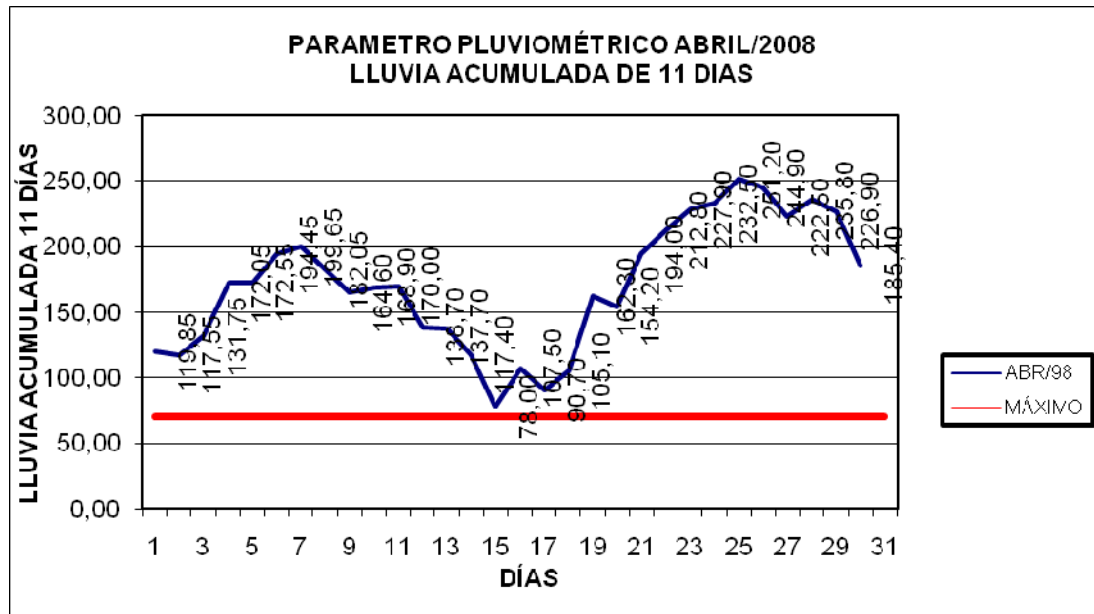


FIG. 3.4 GRAFICA DE LLUVIA ACUMULADA EN 11 DÍAS EN EL MES DE ABRIL DE 1998 MES DEL DELIZAMIENTO (Datos de lecturas proporcionadas por el Departamento de Mantenimiento Civil de Hidropaute).

En la Fig. 3.5 se presenta la lluvia horaria que provocó el represamiento primero de la quebrada Ventanillas a causa de un deslizamiento en las paredes de la quebrada y luego dio origen a el flujo de escombros por la rotura de este represamiento.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Precipitación Horaria - 18 a 19 de Abril de 1998.

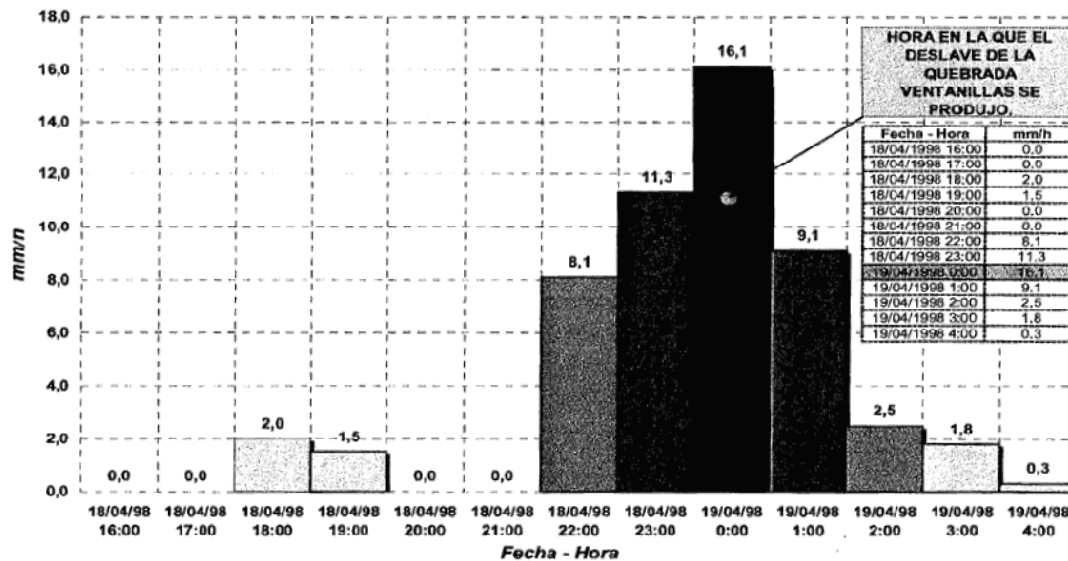


FIG. 3.5 GRAFICA DE LLUVIA HORARIA DESDE LAS 16:00 DEL 18 DE ABRIL DE 1998 HASTA LAS 04:00 HORAS DEL 19 DE ABRIL (Datos de lecturas proporcionadas por el Departamento de Mantenimiento Civil de Hidropaute).

Si bien este umbral horario de 16,10 mm de lluvia produjo que las paredes de la quebrada Ventanillas se deslicen y caigan en el interior represando el cauce de la quebrada, el valor horario que le antecede de 11,30 mm tampoco es bajo, por lo que se puede concluir que aportó también para la ocurrencia del flujo. Por lo que se puede concluir que este umbral de lluvia acumulada de 35 mm en 3 horas, podrá ser comprobado y corregido o afirmado mediante el análisis con la ocurrencia de más eventos de esta naturaleza.

De este análisis se puede concluir lo siguiente:

- Este flujo de escombros fue inducido por lluvias cortas y localizadas de intensidad alta, y ocurrió al mismo tiempo que se presenta el máximo de la lluvia horaria sobre los 16mm.
- La lluvia antecedente no es un factor mayor en la ocurrencia de deslizamientos, excepto en casos de movimientos del talud que ocurren bajo lluvias de relativamente baja intensidad. En estos casos solo la lluvia antecedente de de unos cuantos días parece ser significativa.
- Una intensidad de lluvia de aproximadamente 16mm/hora parece ser el valor de un umbral arriba del cual ocurren flujo de escombros en la superficie del talud. La acumulación de 35mm de lluvia en el lapso de 3 horas incrementa dramáticamente el riesgo de deslizamientos en las

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

paredes de las quebradas de la zona No 2, conforme crece la intensidad horaria respecto a este umbral.

- La lluvia de 24 horas que refleja lluvias cortas de intensidad alta, se puede usar como un indicador de probabilidad de deslizamientos.
- Una lluvia de acumulada de 70 mm en 7 días, es muy improbable que provoque un flujo de escombros como el ocurrido, debido al extenso análisis realizado desde el año 1998 hasta el año 2008 que comprueba que no ocurrieron eventos similares a pesar de haber alcanzado este valor.
- Las paredes de las quebradas Ventanillas y del taller Automotriz, parecen ser zonas de debilidad respecto a este tipo de lluvia cortas y de alta intensidad

3.6 FACTOR SISMICO:

Según las estadísticas mundiales de los 25 deslizamientos más desastrosos ocurridos en el siglo XX [25], el 36% fueron por sismos, solo 4% más debajo de los producidos por lluvia.

En un sismo se generan fuerzas inerciales dentro del talud, las mismas que determinan el incremento de esfuerzo cortante actuantes en la potencial superficie de deslizamiento.

Como se indica en la Fig. 3.6, el efecto de un sismo genera una fuerza horizontal a favor del deslizamiento igual al peso de la masa por deslizarse multiplicado por el coeficiente sísmico del lugar. Para que ocurra el deslizamiento basta que las fuerzas actuantes y las resistentes en la zona de falla sean iguales [19].

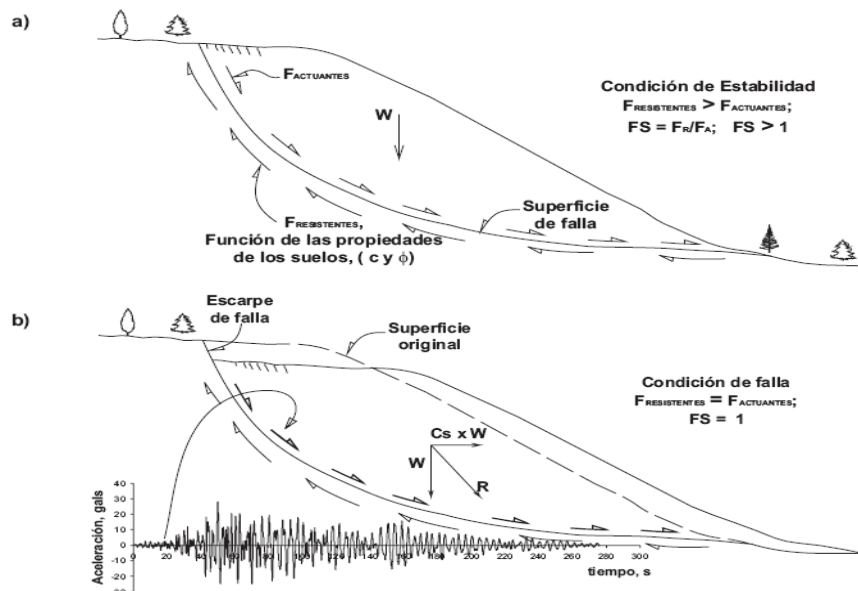


FIG 3.6: REPRESENTACION DE FUERZAS ACTUANTES Y RESISTENTES QUE SE GENERAN a) antes del sismo b) durante el sismo. [19].

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

En suelos no cohesivos, la mayoría de las fallas en taludes debido a sismos son producidas por licuefacción (caída brusca de la resistencia al corte en un suelo granular en condiciones no drenadas).

Para el análisis de la zona No 2 se consideraron únicamente componentes horizontales de sismo, debido a que si se hacen actuar componentes verticales, estas favorecen a la estabilidad del talud, incrementando la fuerza normal a la zona de falla por lo que se necesita mayor esfuerzo cortante para producir desplazamiento.

Los valores de sismo considerados fueron 0,18 g (0,18 de la aceleración de la gravedad) para el caso en el que el nivel freático se encuentra al nivel de la base de la brecha de deslizamiento y el material aún no esté saturado, este se convierte en la fuerza horizontal más grande que puede soportar el talud en estas condiciones, debido a que su factor de seguridad llega a $F_s = 1,004$.

Si el nivel freático sube a la parte superior de la brecha de falla y satura el material limo arcilloso soporta hasta una fuerza de 0,17g antes de que su factor de seguridad baje de 1. Cuando el nivel freático sube y se encuentra a 9 m de profundidad desde la superficie, punto considerado por Hidropaute como crítico el factor de seguridad es de 1 con una fuerza horizontal por sismo de 0,5 g, de aquí en adelante es decir si sigue subiendo el nivel freático el factor de seguridad continua bajando comprobándose este como el nivel freático a 9 m de profundidad de la superficie como el más crítico y que concuerda con el obtenido por Hidropaute en sus investigaciones.

El desarrollo de este estudio con sismo esta conjunto con el realizado sin sismo en el capítulo IV con los resultados y gráficos obtenidos.

3.8 FACTORES TOPOGRAFICOS Y GEOMETRICOS (altura e inclinación):

Mediante los mapas topográficos se pueden identificar deslizamientos ayudados de la escala y el intervalo de las curvas de nivel y se verifica de acuerdo a [19]:

- Topografía evidente: pendientes empinadas curvas de nivel poco espaciadas, topografía con pequeñas elevaciones o montículos dentro de la masa deslizante (curvas de nivel siguen patrón irregular) y no simétrico con depresiones poco profundas), presencia de masa separada y características de flujo en la parte baja.
- Curvas de nivel onduladas: vías locales dañadas con niveles desiguales y otros lineamientos superficiales como líneas de transmisión o cercas.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Movimientos menores o irregulares en zonas de pendientes empinadas, acantilados, bancos, áreas de concentración de drenaje.
- Factores geológicos (presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía del talud).

La investigación del talud de la zona No 2, se evaluó mediante un monitoreo de tipo directo como el geodésico satelital (realizado por Hidropaute), aunque se puede usar también métodos directos como el monitoreo óptico mecánico y el sistema integrado de alarma aunque a estos métodos directos se pueden acompañar de los métodos indirectos como percepción remota, Sistema de Información Geográfica y tratamiento digital de imágenes ópticas de alta resolución [24].

Para llegar a dar un diagnóstico verdadero del talud de la zona No 2, se necesita determinar la geodinámica es decir su comportamiento tensional se requieren reunir todos los datos topográficos, geológicos, de aguas superficiales, aguas subterráneas, fallas, factores externos, mecánica de suelos, con la finalidad de comprender lo que en el talud ocurre y estructurar una solución adecuada al mismo.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPTULO IV

MODELIZACION DEL TALUD Y ANALISIS DE ESTABILIDAD.

4.1 INTRODUCCIÓN AL ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LA ZONA No 2

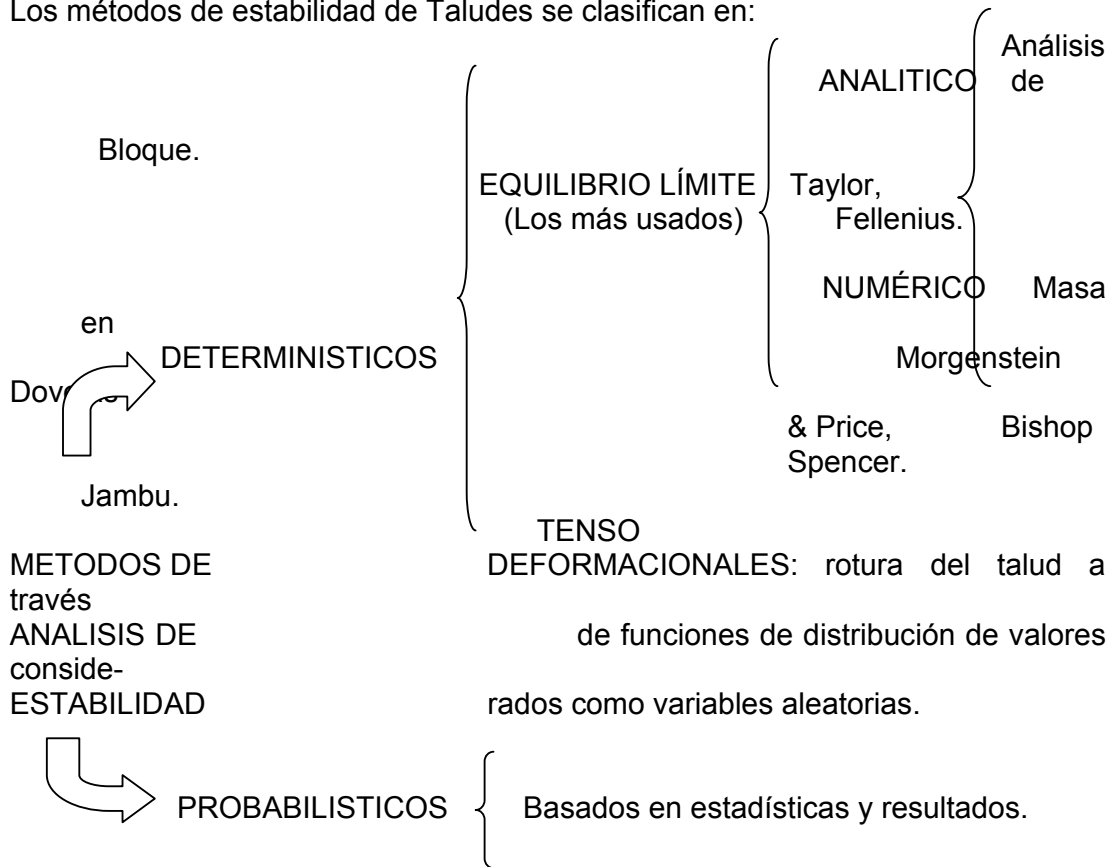
Previo al análisis numérico en la zona No 2 es necesario definir:

- 1) Modelo geométrico del talud
- 2) Eje de seccionamiento en el modelo geométrico
- 3) Determinación del perfil del talud
- 4) Materiales y propiedades geomecánicas de los estratos.
- 5) Selección del método de análisis de estabilidad

Los métodos que se utilizarán para resolver el problema de estabilidad de un talud en general, se pueden clasificar en la tabla 4.1

TABLA No 4.1 CLASIFICACION DE LOS METODOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES Y SUS CARACTERÍSTICAS

Los métodos de estabilidad de Taludes se clasifican en:



Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Para el cálculo de la estabilidad de la zona No 2, en donde se han realizado, perforaciones, ensayos de laboratorio, mediciones en la instrumentación, es decir se han definido los parámetros resistentes y físicos, se usará fundamentalmente el método determinístico basado en equilibrio límite en el cual se emplea el cálculo mediante el criterio de resistencia de Morh Coulomb, el más conocido para suelos dado que la brecha de falla está compuesto por arcilla limosa.

El análisis se centrará en obtener resultados de variaciones del factor de seguridad respecto a la variación del nivel freático y la variación del factor de seguridad respecto a la variación de los parámetros geomecánicos no definidos mediante pruebas de laboratorio en el material del coluvión, y que se mantiene la incertidumbre sobre sus valores reales en Hidropaute, con este análisis se espera contribuir a despejar las dudas sobre el valor real o más aproximado a la realidad que debe tener este material, en base al comportamiento del talud en los registros de medición.

También se realiza un análisis del comportamiento del factor de seguridad respecto a la lluvia pero simulada como carga sobre el nivel freático habitual de 32 m. de profundidad. Esta carga se la da encima del nivel freático de 32 m y su valor se calcula en base a la tormenta que produjo el flujo de escombros del 18 de abril de 1998.

4.2 METODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE

Estos métodos se basan en la estática, es decir en el equilibrio de fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que causarán el movimiento en una masa inestable, para lo que requieren realizar ciertas consideraciones, tales como:

- Determinar la superficie teórica de rotura del Talud
- Considera el criterio de falla de Mohr-Coulomb.
- Encuentra un factor de seguridad (FS), [4].
- El factor de seguridad hallado se asume que es igual para todos los puntos a lo largo de toda la superficie de falla, por lo tanto representa un promedio del valor total en toda la superficie de falla [21].
- Continúa buscando superficies de falla hasta encontrar la que produzca el menor FS y esa superficie de falla será la potencial superficie de rotura.

Sin embargo debemos tomar en cuenta las limitaciones que estos métodos tienen en su análisis, estas son:

- No consideran las deformaciones debido a que están basados en la estática.
- Por lo tanto, si no se consideran deformaciones, en muchos casos la distribución de presiones no son reales.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

4.3 DETERMINACION DEL MODELO GEOMETRICO PARA EL ANÁLISIS

Previo al análisis numérico del talud, es necesario realizar algunas consideraciones que permitan definir el seccionamiento del talud, es decir el perfil, su dirección, orientación, razones o causas para su ubicación en la zona No 2

Para llegar a determinar el perfil que servirá para las diferentes condiciones de análisis se revisaron los levantamientos topográficos realizados por el cuerpo de Ingenieros del Ejército y digitalmente se adoptó el realizado por Hidropaute. Este último contiene parte del talud Occidental del centro de operaciones y en el talud oriental el campamento de Guarumales contiene las zonas 1 y la 2 en análisis. Este levantamiento está comprendido entre las coordenadas 9714000 y 9715500 (latitud), 777000 y 779000 (longitud).

Ahora definimos los límites de la zona 2 comprendidos al norte por la zona 1, al sur por la quebrada del taller automotriz, al este por la carretera a Guarumales y la quebrada Ventanillas, y al oeste por el río Paute. Luego, de revisar todos los perfiles realizados por Hidropaute y digitalizados en Autocad y que son los cortes en distintos lugares del talud de Guarumales, de los mismos observamos la formación de microcuencas en el interior del talud entre la zona del coluvio y la roca firme y que es la zona del paleosuelo zona causante de la inestabilidad en el talud.

4.4 ELECCION DEL EJE DE SECCION EN EL TALUD DE LA ZONA No 2.

En el archivo del levantamiento topográfico total del talud de Guarumales se dibujó una línea de corte que se llamará I-I que va desde el río Paute cruza por los lugares de mayor pendiente al pie del este talud, cruza también la vía a la casa de máquinas y la vía hacia el taller Automotriz, atraviesa la infraestructura del taller automotriz pasa por el PI9 que es la perforación inclinométrica PI9 en donde se tiene la mayor cantidad de datos de perforación y es una de las más importantes perforaciones de todo el campamento de Guarumales y que contiene una gran información en lo referente a la conformación interna del talud en cuanto a su litología, pasa por las antiguas bodegas HPSA, atraviesa la quebrada Ventanillas, continua ascendiendo hasta llegar a la carretera principal Guarumales Méndez que de acuerdo a observación es en donde aflora la brecha de falla a unos 5 metros fuera de la vía y casi al pie de la continuación del talud. Sumando un total de recorrido de 1529,04 m y con una dirección N 47° 20' 18,2" O y va desde la cota 1315 a la altura del estribo izquierdo del puente que comunica el Talud de Guarumales con el edificio de Control y el patio de maniobras en el flanco izquierdo de Guarumales y llega hasta la carretera Guarumales-Méndez en la cota 1885 m.s.n.m.

Los criterios seguidos para determinar esta línea son los siguientes:

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

1. Las direcciones de los vectores de movimiento interno registradas por el inclinómetro PI9 a lo largo de todo este tiempo, además es la perforación con la mayor cantidad de datos de información que aporta a la conformación interna del talud.
2. Topografía y morfología, es decir la mayor pendiente del talud.
3. La dirección de los movimientos de las pilas topográficas determinadas mediante estación total ubicada en el talud izquierdo en el patio de maniobras.
4. La dirección del flujo de agua subterránea, deducida de las mediciones de temperatura de esta al interior de la zona No 2 y comprobada mediante resistividad eléctrica.
5. Las estructuras construidas y que son afectadas como el taller Automotriz y las bodegas HPSA.
6. Pasa por el lugar de mayores movimientos detectados en los últimos tiempos en la zona 2.
7. Atraviesa los afloramientos de la brecha de falla tanto en el pie como en la cabecera del talud o límites de la zona 2.

Los puntos anteriores se realizaron con la finalidad de que el perfil escogido represente al talud con el mayor detalle posible.

4.6 DETERMINACION DEL PERFIL DEL TALUD

El perfil del talud en análisis fue graficado mediante las distancias horizontales de las curvas de nivel del archivo del levantamiento taquimétrico total del campamento de Guarumales y de la diferencia entre pendientes a lo largo de la línea de trazo elegida para el análisis. Graficado en un archivo de Autocad y a una escala 1:5000 representa el corte de la montaña en su sección más crítica como lo indica la Fig. 4.1

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CENTRAL HIDROELECTRICA PAUTE
MACRODESILIZAMIENTO GUARUMALES
PERFIL TOPOGRAFICO 'I-I'

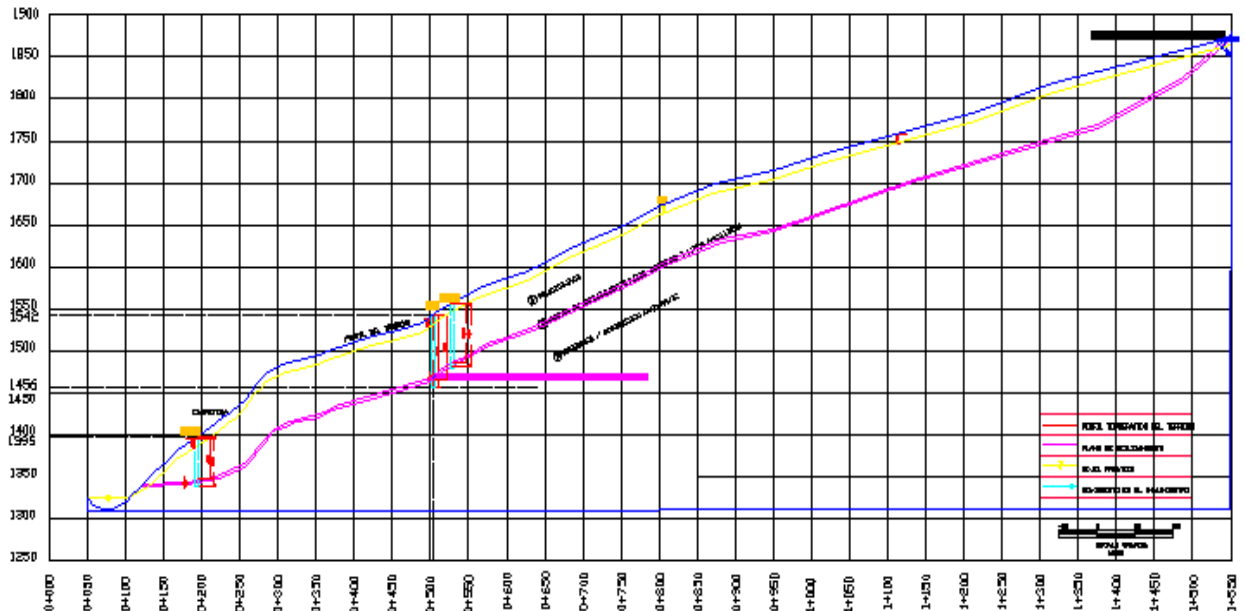


FIG. 4.1 OBTENCION DEL PERFIL DEL TALUD A TRAVÉS DEL CORTE I-I. GRAFICACION MEDIANTE DISTANCIAS HORIZONTALES ENTRE CURVAS DE NIVEL SOBRE EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO GENERAL DEL CAMPAMENTO DE GUARUMALES.

4.6 IDENTIFICACION DE LOS ESTRATOS DEL TALUD

Como ya se trató en el punto 2.16 y la tabla No 2.11, en todas las perforaciones realizadas en el talud de Guarumales se identificaron claramente 3 zonas.

Estrato No 1: denominada paleocoluvio y que tiene formas cóncavas y contiene el material deslizado desde la parte alta producto de la meteorización y está envuelto en matriz limosa, cubrió las capas que a continuación describimos.

Estrato No 2: Lo constituye la brecha misma de deslizamiento y conformada por limos arenosos y limos arcillosos y que tiene un espeso de 3m aproximadamente aunque en las partes bajas del talud disminuye de espesor.

Estrato No 3: Está formado por esquistos de la formación Aloe Paute y constituye la roca misma y por lo tanto la parte estable de este talud.

4.7 DETERMINACION DE LOS ESPESORES DE LOS ESTRATOS DEL TALUD

Para lograr determinar la forma interior del talud partimos del hecho de que se trata de un paleocoluvio metamórfico cuya característica es la formación de

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

cuenas cuya morfología se ha definido mediante los resultados de perforaciones (PI9, PEG 2), perforaciones para sub drenes, las mediciones inclinométricas, cartografía geológica, y mediante cálculos de geometría y trigonometría.

También se tomaron en cuenta perforaciones en la zona No1 que están muy cercanas al límite de la zona No2 como por ejemplo las perforaciones PEG 1 y PEG5, que nos proporcionan información importante de la forma al interior del talud sobre todo cuando estas atraviesan la brecha de falla y llegan a la roca. Cuando las perforaciones no llegan a la roca se asimilan estas como espesor mínimo de la potencia del estrato.

Además de lo acotado anteriormente nos basamos en informes de Hidropaute y del estudio realizado por Vásconez en el año 2000 [3], en donde se presentan las profundidades de Guarumales.

En la perforación PI9, se determinó claramente que a la profundidad de 74 m. existe una brecha de falla de espesor aproximado de 3 m y recorre desde la carretera Guarumales Méndez en el límite superior hasta la cota 1340 m.s.n.m cercana al río Paute en la parte inferior y su movimiento en esta zona fue comprobado cuando se realizó la instalación del inclinómetro PI9 (Fig. 2.12), por lo tanto se trata de una rotura de tipo plana por sus dimensiones. La forma de paleorelieve natural que tiene la roca base es en forma de microcuenas.

4.8 DETERMINACION DE LOS PARAMETROS GEOMECHANICOS DE LOS ESTRATOS

4.8.1 ESTRATO No 1: PARAMETROS c Y ϕ

Las características geotécnicas del coluvión que en inicio se recomendaron por parte de Hidropaute para el análisis de estabilidad de esta investigación fueron de tomar valores de $c=0$ y ϕ variable entre 15° y 32° . El valor de cohesión se considera igual a cero por la condición de unión de contacto entre rocas que puede existir en la profundidad de este estrato, es decir sin la presencia de matriz limo arenosa que resultaría en un valor nulo de cohesión. Esta es una hipótesis que se ha manejado para investigaciones anteriores por la incertidumbre de estos valores en este estrato, ya que aquí debido a la presencia de rocas de variable tamaño como se ha descrito en la tabla 2.11, no se pudo realizar ensayos SPT ni se completaron la toma de muestras ya que en muchos casos la presencia de bloques de roca grande impidieron estos trabajos, además de la variabilidad de materiales que hacen difícil trabajar con un solo tipo de material con parámetros bien definidos.

El peso específico del material de este estrato también es desconocido puesto que se compone de una matriz limo arenosa y de gran cantidad de fragmentos de rocas variables en tamaño y formas, sin embargo la sugerencia realizada por Hidropaute fue de la distribución de material en $1m^3$ es de

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

aproximadamente el 70 % compuesto por matriz limosa y el 30 % restante son fragmentos de roca en bloques, lo cual para un análisis de estabilidad con esta hipótesis resulta el sumar los pesos específicos de un limo arenoso ($\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$) en un 70%, más el peso específico de la roca esquistosa en un 30 % ($\gamma = 28 \text{ KN/m}^3$), lo cual resulta en un valor de peso específico de $\gamma = 21,70 \text{ KN/m}^3$, valor con el cual se realizaron los cálculos de factor de seguridad iniciales de este trabajo.

En el presente trabajo de investigación, se ha realizado combinaciones variando el ángulo de fricción Φ , el peso específico γ , e inclusive el nivel freático y se lo ha comparado con la variación del factor de seguridad, el mismo que debería estar cercano al equilibrio precario es decir cerca a 1,00 para que tenga el comportamiento que en la actualidad mantiene con movimientos constantes de las masas en base a un análisis retrogresivo y de variación de los parámetros en porcentajes que representan el desconocimiento real de estos. De manera que estas variaciones de parámetros nos dan una idea más clara de cuanto tienen que ser sus valores para comportarse de la manera que actualmente tiene el talud de la zona No 2.

Los resultados de los análisis se detallan más adelante en el ítem 4.12 y los valores con los que se deberían usar para los cálculos actuales y posteriores con la posibilidad abierta de que sean afirmados o refutados en base a investigaciones que se puedan realizar a futuro o con métodos más convincentes a los actuales.

4.8.2 ESTRATO No 2: BRECHA DE FALLA. PARAMETROS GEOMECHANICOS (C y Φ)

Estos datos se obtuvieron del ensayo de compresión simple en el suelo limo arenoso y del ensayo triaxial de la arcilla verdosa obtenidos en la perforación PI9 y que fueron analizados en el laboratorio de suelos de la Universidad Central en Quito. Se adoptaron los valores que son los menores de entre el limo y la arcilla (Ver tablas 2.12 y 2.13), los mismos que corresponden a la arcilla con $c = 0,332 \text{ kg/cm}^2$ y $\Phi = 12^\circ$.

Estos parámetros a diferencia del estrato No 1 están bien definidos por ensayos de laboratorio y no son objeto de variabilidad o cambio durante el análisis de estabilidad.

4.8.3 ESTRATO No 3: PARAMETROS C Y Φ DEL MACIZO ROCOSO

El estrato rocoso al estar compuesto por un esquistos clorítico serfítico verdoso muy foliado y ser una roca sana (Ver ítem 2.16 y tabla 2.11) su RQD es de 100%, lo cual nos hace referencia de una roca de excelente calidad de acuerdo a los datos de la perforación PI 9.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Para la obtención de los parámetros C y Φ no se realizará la caracterización de la parte rocosa del talud para clasificarla geotécnicamente y obtener su RMR¹² y a partir de esta obtener directamente los valores de C y para el estrato rocoso, trabajo ya realizado por Hidropaute sino que tomaremos los valores que han sido recomendados por esta institución y que fueron obtenidos a partir del Cuadro 3.13, pág. 159 del libro de Ingeniería Geológica de González Vallejo[4]. En este se obtiene que para roca formada por esquistos el valor de C está entre 250 y 300 Kp/cm², para el análisis se toma el valor más bajo de 250 Kp/cm² que realizando las transformaciones correspondientes según la tabla de conversión de unidades de presión del apéndice A pág. 696 del mismo libro se obtiene un valor de $C = 24525 \text{ KN/m}^2$. Mientras que para el valor de Φ se tiene un valor entre 25 y 35°.

4.9 CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL TALUD DE LA ZONA No 2 MEDIANTE EL METODO DE EQUILIBRIO LÍMITE.

Estos métodos se basan únicamente en la estática sin tener en cuenta las deformaciones, por lo tanto las distribuciones de presiones no son reales, lo cual constituye una limitación en estos métodos [21].

Los métodos de equilibrio límite se basan en la estática sin considerar las deformaciones y las distribuciones de presiones en muchos casos no son reales [21].

4.10 CONCEPTO DE FACTOR DE SEGURIDAD

$$F.S. = \frac{\sum \text{Resistencias disponibles al cortante}}{\sum \text{Esfuerzos al cortante actuantes}} \quad (4.1)$$

$$F.S. = \frac{\sum \text{de momentos resistentes disponibles}}{\sum \text{momentos actuantes}} \quad (4.2)$$

El factor de seguridad se asume que es igual para todos los puntos a lo largo de la superficie de falla, por lo tanto este valor representa un promedio del valor total en toda la superficie de falla [21].

4.11 CRITERIO DE ROTURA DE MOHR COULOMB

El criterio de rotura utilizado es el de Morh Coulomb que es un criterio lineal muy usado debido a la sencillez del mismo, expresa la resistencia al corte en un plano en un estado de tensiones triaxial y la relación entre el esfuerzo normal y el tangencial se expresa mediante:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \Phi \quad (4.3)$$

¹² RMR = ROCK MASS RATING (clasificación del macizo rocoso)

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

en donde:

τ = esfuerzo tangencial en el plano de rotura
 σ = esfuerzo normal en el plano de rotura
 c = cohesión
 Φ = ángulo de fricción

Si se expresa en función de los esfuerzos principales σ_1 y σ_3 se tiene

$$\sigma_1 = \frac{2c + \sigma_3 (\sin 2\alpha + \tan \Phi (1 - \cos 2\alpha))}{\sin 2\alpha - \tan \Phi (1 + \cos 2\alpha)} \quad (4.4)$$

Mediante la expresión 4.4 es posible encontrar el esfuerzo en cualquier plano con inclinación **[4]**.

4.12 METODOS DE FALLA USADOS EN EL TALUD

Para los cálculos del talud de la zona No2 se realizó mediante los métodos de:

1. Bishop simplificado
2. Morgenster and Price
3. Lowe y Karafiath.

4.12.1 BISHOP IMPLIFICADO

- ASUME QUE LAS FUERZAS VERTICALES EN LAS DOVELAS SON CERO
- RESUELVE LAS FUERZAS EN LA DIRECCION VERTICAL ELIMINANDO LAS FUERZAS LATERALES

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n [\bar{c} \Delta x_i + (W_i - u_i \Delta x_i) t_{\alpha} \bar{\phi}]}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i} [1/M_i(\theta)] \quad (4.5)$$

$$M_i(\theta) = \cos \theta_i \left(1 + \frac{t_{\alpha} \theta_i t_{\alpha} \bar{\phi}}{F} \right) \quad (4.6)$$

- SATISFACE : EQ. TOTAL DE MOMENTOS
EQ. FV
- NO SATISFACE : EQ. INDIVIDUAL DE MOMENTOS
EQ. FH

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- N + 1 ECUACIONES N + 1 INCOGNITAS

4.12.2 METODO MORGENTERN – PRICE

ASUME QUE LA INCLINACION DE LAS FUERZAS LATERALES SIGUE UNA FORMA DETERMINADA

$$\theta = \lambda_f(x)$$

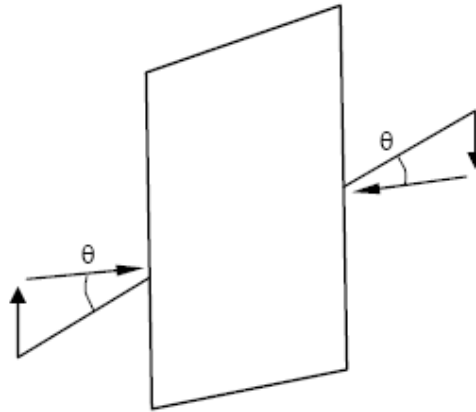


FIG. 4.2 DIAGRAMA DE FUERZAS EN UNA DOVELA EN EL MÉTODO DE MORGENTERN AND PRICE.

- SATISFACE TODAS LAS CONDICIONES DE EQUILIBRIO
- N ECUACIONES 3 N INCOGNITAS

4.12.3 METODO DE LOWE Y KARAFIATH

- SATISFACE TODAS LAS CONDICIONES DE EQUILIBRIO
- N ECUACIONES 3 N INCOGNITAS
- SATISFACE : $\sum FV$
 $\sum FH$
- NO SATISFACE : $\sum$ MOMENTOS
- 2 N ECUACIONES 2 N INCOGNITAS [22]

4.13 HIPOTESIS DE ANALISIS DE ESTABILIDAD

Se ha planteado diferentes condiciones de análisis para la estabilidad del talud en la zona No 2, estas son:

a) **HIPOTESIS No 1: ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DE LA ZONA No 2 CON LOS PARAMETROS PROPORCIONADOS POR HIDROPAUTE**

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

En este análisis de estabilidad se realiza con los parámetros geomecánicos, pesos específicos y nivel freático de 32m de profundidad en época que no es de invierno, condiciones obtenidas por Hidropaute a lo largo de estos años. En estas cabe indicar que para los estratos se consideraron los datos que se especificaron en el ítem 4.7.

El estrato No 3 al tratarse de una roca conformada por esquistos de excelente calidad fue considerada como parte estable dentro del programa SARMA que realizó los análisis en mayo de 1992 y no necesitó introducir datos referentes a este material. A diferencia de los métodos de equilibrio límite que pueden considerar todos los estratos que componen un talud y cada uno con distintas características.

En el estrato No 2 que lo conforma la brecha de falla está compuesta por limo y por arcilla, pero el material que presenta los valores más bajos en cuanto a resistencia al corte es la arcilla como se analizó en el punto 2.17

Cabe indicar que no se tienen datos claros y definidos del estrato No 1, es por esta razón que surgió la necesidad de establecer las siguientes hipótesis variacionales con la finalidad de establecer el rango en el que podrían estar estos valores.

b) HIPOTESIS No 2: ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DE LA ZONA No 2 VARIANDO PARAMETROS DE PESO ESPECIFICO, COHESION Y ANGULO DE FRICCION DEL COLUVION.

En esta hipótesis se consideran variable el parámetro de resistencia de ángulo de fricción Φ , C está definida como igual a cero por las condiciones anotadas en el punto 4.7.1, es variable también el peso específico del material por estar compuesto de una matriz limo arcillosa y bloques de roca esquistosa variables entre 0 y 50 cm de diámetro, y el análisis se realiza también variando el nivel freático desde 77 metros de profundidad es decir de manera que el agua no afecte a la zona de falla sino este ubicada en la roca por cuanto la brecha se ubica desde los 74 m de profundidad hasta los 77 m como máximo, esto con la finalidad de obtener un factor de seguridad en condiciones secas de la brecha de falla o como si no existiera el nivel freático en la zona de debilidad. Luego el nivel freático se analiza a los 32 m de profundidad, es decir en condiciones de época no invernal. El siguiente análisis es a los 27 m de profundidad, ya que de acuerdo a hipótesis de Hidropaute cuando el nivel freático sube a 27 m, comienzan los movimientos considerables y de acuerdo a los registros en inclinométricos, piezométricos, topográficos y geodésicos, las condiciones de movimiento cambian, se incrementa la velocidad de movimientos en los puntos de referencia y por lo tanto la aceleración en estos se incrementa notablemente.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La siguiente condición de nivel freático se establece a los 20 m de profundidad con el fin de ir variando de aquí en adelante cada 5m y analizar el comportamiento del factor de seguridad. Finalmente se llega a los 15 m. de profundidad de nivel freático en el cual de acuerdo a hipótesis de Hidropaute ya se habría producido la falla del talud.

Todas estas hipótesis serán confirmadas o refutadas de acuerdo a los resultados de los análisis y se aportará con un rango de valores posibles de los parámetros mencionados que debería tener el coluvión para generar las condiciones de movimiento permanente que mantiene en la actualidad.

Slide es el programa computacional basado en métodos de equilibrio límite para análisis de deslizamientos de superficies de falla circulares y no circulares, que se utilizará para el análisis de todas estas hipótesis.

c) HIPOTESIS No 3: ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DE LA ZONA No 2 OBTENIENDO EL FACTOR DE SEGURIDAD CON LA MÁXIMA LLUVIA ACUMULADA CALCULADA COMO PESO.

Como se analizó en la sección 3.4 la acumulación de lluvia diaria, no es un factor determinante para el flujo de escombros, pero puede resultar importante en cuanto a la acumulación de carga de agua como peso debido a la poca permeabilidad del coluvión que permite evacuar los caudales de manera lenta, pues en las pruebas con trazadores realizadas por Hidropaute se demostró que desde la parte superior del talud hasta el pie del mismo tarda 9 días en salir el agua en la parte inferior. Por esta razón se tomará la lluvia acumulada de 9 días máxima ocurrida antes del flujo de escombros y transformarla en peso para calcular el factor de seguridad y analizar su variación con los días anteriores y tratar de encontrar alguna relación con la cantidad de movimiento que se produce al interior del talud lo que numéricamente confirmaría la hipótesis de movimiento debido a la lluvia pero acumulada.

Para cumplir con esta hipótesis se basa en el cálculo realizado en la sección 2.7 de que el caudal de infiltración subterránea representa el 19,33% del promedio de lluvia anual, porcentaje que se usa para determinar la cantidad de infiltración con el máximo valor de pluviosidad acumulada.

d) HIPOTESIS No 4: ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DE LA ZONA No 2 CALCULANDO EL FACTOR DE SEGURIDAD CON LA MÁXIMA CARGA QUE PUEDE SOPORTAR SOBRE SU SUPERFICIE.

La máxima carga que puede soportar el talud sobre su superficie antes del ocurriramiento de su falla nos da una idea, más clara de que si se coloca peso sobre esta no se logra estabilidad debido a la componente horizontal que se genera en dirección del deslizamiento, lo cual favorece a la inestabilidad.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

e) HIPOTESIS No 5: ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DE LA ZONA No 2 CALCULANDO EL FACTOR DE SEGURIDAD CON LA INFLUENCIA DE SISMO.

Para cumplir con el objeto de esta hipótesis ya se determinará los resultados de ángulo de fricción con el que se va a trabajar para el coluvio, así como su peso específico y la variable sería el nivel freático que determine el comportamiento del talud en condiciones sísmicas para obtener al menos el equilibrio límite, lo que nos indicará hasta qué grado de sismo en función de la aceleración de la gravedad es capaz de resistir.

4.14 RESULTADOS DE LAS HIPOTESIS:

a) HIPOTESIS 1: PARAMETROS PROPORCIONADOS POR HIDROPAUTE

Los parámetros correspondientes al primer estrato compuesto por roca cuyo material es el esquisto de excelente calidad, se definió mediante los parámetros c y Φ dados en la página 159 del libro de Ingeniería Geológica de Gonzales Vallejo [4], para peso específico de este mismo material se usó del mismo libro en la página 128 los valores dados en la tabla 3.2, por cuanto no se cuenta con información de ensayos realizados en este estrato. Para el segundo estrato que lo conforma la brecha de falla compuesta por arcilla (se realizó un ensayo triaxial, ver punto 2.17) y limo arenoso (se tiene un ensayo de corte simple) que es el mismo material de la matriz del coluvión, por lo que se elige a la arcilla que es el material de más bajos parámetros de resistencia como el material más susceptible a fracasar primero y la brecha entera se modela con sus parámetros debido a la distribución heterogénea de esta en la brecha de falla. Para el coluvio se recibió la información de Hidropaute que en 1 metro cúbico el 60% corresponde a matriz de limo y el 40% restante constituye bloques de roca y se calcula su peso específico. Para C se considera igual a 0 y Φ el que se estima en informes del INECEL [1] que es de 26°.

En la tabla 4.2 se resumen los parámetros para la determinación del factor de seguridad del talud en condiciones de época no invernal (En las mejores condiciones que se espera que el talud pueda tener).

TABLA 4.2 PARAMETROS DE INGRESO PARA CALCULO MEDIANTE EL PROGRAMA SLIDE

ESTRATO No	γ = peso específico (KN/m ³)	C = cohesión (KN/m ²)	Φ = ángulo de fricción (°)
1 coluvión	22	0,00	26,00
2 brecha de falla	19	32,57	12,80
3 Estrato Rocoso	28	24525	30,00

4 Nivel Freático :	32 m. de profundidad
--------------------	----------------------

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

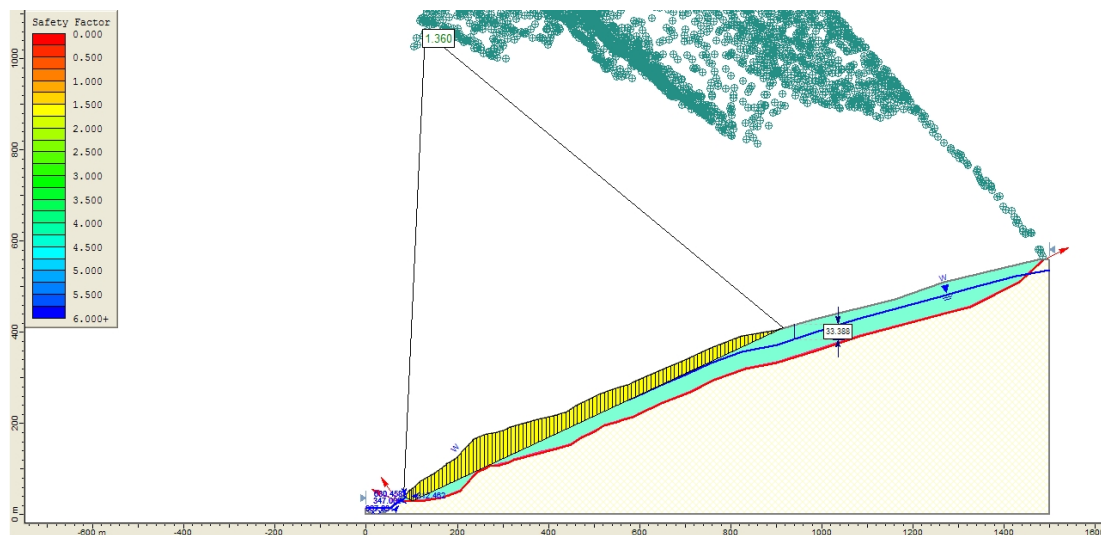
En estas condiciones cuando no existe presencia de lluvia ni condiciones sísmicas se obtuvo los factores de seguridad dados en la tabla 4.3 , con un número de dovelas de 100 y de superficies de deslizamiento de 5000.

TABLA 4.3 FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS

METODO	Bishop Simplificado	Lowe Karafiath y	GLE
FACT SEGUR OBTENIDO	1,3603	1,4194	1,3155

La salida gráfica se la realiza con los resultados de Bishop simplificado, mostrando el área de falla y la división en dovelas y el factor de seguridad para las condiciones dadas e incluye cota del nivel freático a una profundidad de 32m.

FIG. 4.3 SALIDA GRAFICA DE RESULTADO DE FACTOR DE SEGURIDAD CON LOS PARAMETROS INDICADOS EN LA TABLA



b) HIPOTESIS No 2: ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DE LA ZONA No 2 VARIANDO PARAMETROS DE PESO ESPECIFICO, COHESION Y ANGULO DE FRICCION DEL COLUVION.

En el anexo D se encuentra el detalle de los datos de variación de peso específico, ángulo de fricción y nivel freático y los resultados numéricos obtenidos. Los gráficos de estos resultados y la variación del factor de seguridad respecto a la variación de estos parámetros están en el anexo E. De todas estas combinaciones de parámetros, se observa tanto gráficamente como en resultados numéricos que cuando el ángulo de fricción del coluvio es de 22° y el

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

peso específico es de $\gamma = 22\text{KN/m}^3$ y el nivel freático está a 20 m. de profundidad desde la superficie o menos, el factor de seguridad es menor o igual a 1,10, lo que nos indica señal de inestabilidad si tomamos como referencia la definición de inestabilidad para valores de factores de seguridad menores de 1,10 del curso de explotación de canteras dado por Ing. MSc. Hernán Gavilanes J [22]:

(Inestable) $1,0 < FS < 1,10$ (Estable)

Por esta razón tomaremos como referencia estos valores de parámetros analizados para representarlos en las siguientes condiciones:

1) NIVEL FREATICO EN 77 m:

Esta condición asimila a no tener agua en la brecha de falla es decir el nivel freático está por debajo de la zona de falla y no satura el material, con lo que el factor de seguridad es de 1,307 cuando se incrementa el ángulo de fricción Φ a 22° en el coluvión.

Por lo que si se continua incrementando el factor de seguridad seguirá subiendo.

- Si se continúa subiendo el ángulo de fricción sube el factor de seguridad
- Ahora, si se sube el peso específico del coluvión el factor de seguridad tiende a decrecer, aunque se diga que la solución de Hidropaute es aumentar peso al coluvión para estabilizarlo, pues al realizar esto si bien la fuerza normal a la zona de falla se incrementa, también incrementa la fuerza de corte por la componente en este sentido de esta fuerza, lo cual refuta a esta hipótesis evidentemente.
- El resultado gráfico se observa a continuación en la Fig. 4.4

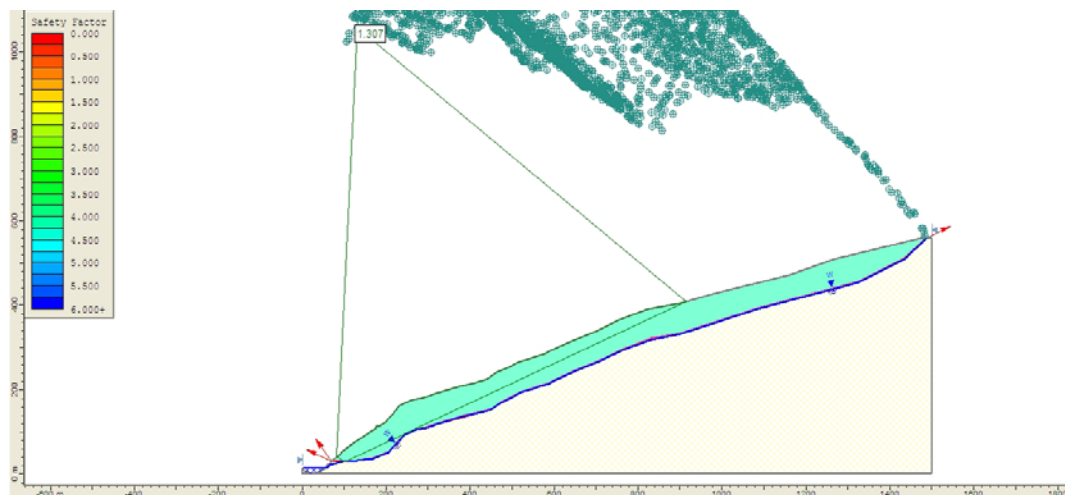


FIG. 4.4 SALIDA GRÁFICA CON NF= 77m PROF. DESDE LA SUPERFICIE

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2) NIVEL FREATICO EN 32 m:

Para el talud de la zona No 2 en condiciones de época no invernal y el nivel freático en su nivel habitual, se tiene:

- El comportamiento de la tendencia al crecimiento del factor de seguridad si se incrementa el ángulo de fricción continúa.
- De igual manera que cuando el nivel freático está en 77m, en 32 m también baja el factor de seguridad cuando se incrementa el peso del paleocoluvio.
- El resultado gráfico se visualiza en la fig. 4.5

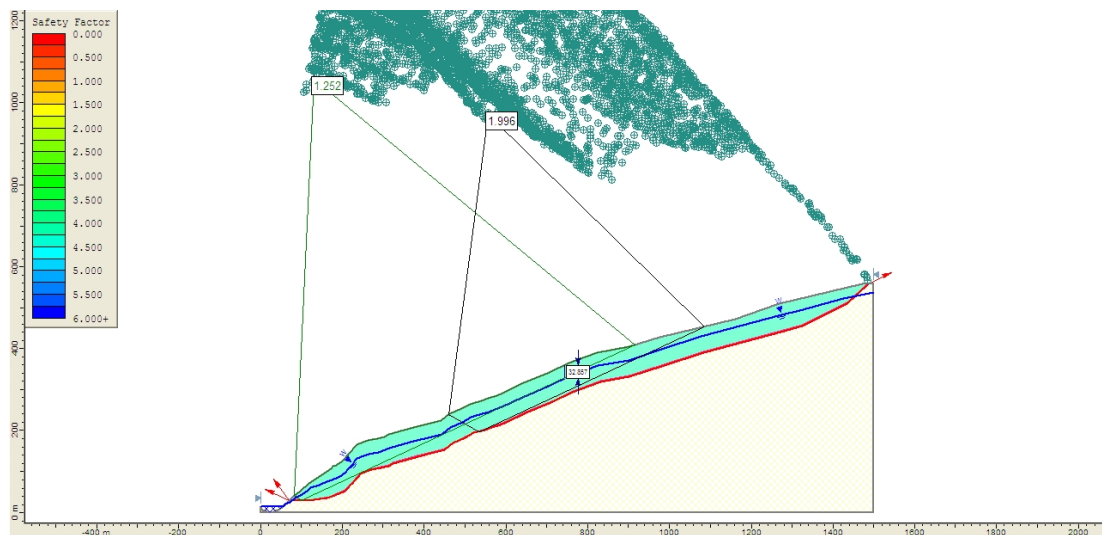


FIG. 4.5 SALIDA GRAFICA DE RESULTADO DE FACTOR DE SEGURIDAD CON NIVEL FREATICO EN 32 m Y VARIACION DE γ Y DE ϕ EN EL COLUVION.

3) NIVEL FREATICO EN 27 m:

Se puede apreciar en los gráficos del anexo E, que todos los puntos del factor de seguridad han sufrido un notable decremento, por lo que se podría concluir que es verdadero que cuando el nivel freático sube 5 m arriba de sus condiciones normales (época no invernal y NF = 32m), al caer el factor de seguridad notablemente es posible que se produzcan movimientos más acelerados en el talud. Si bien en la zona No 2 no se dispone de un piezómetro instalado esta hipótesis de los 5 m, es general para todo el talud de Guarumales.

- Se tiene la misma tendencia analizada con los niveles freáticos anteriores.

Las variaciones de peso específico y de ángulo de fricción del coluvión se continúan calculando y de igual manera los resultados se aprecian en los anexos

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

D y E., pero la Fig. 4.6 expresa el comportamiento del factor de seguridad con un $\Phi = 21 \text{ KN/m}^2$ y un $\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$.

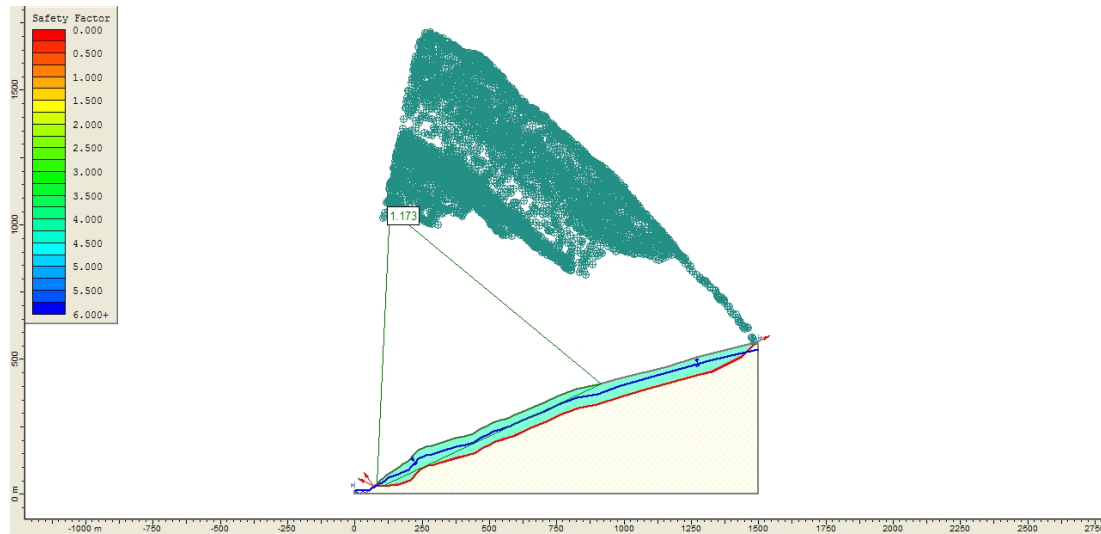


FIG. 4.6 SALIDA GRAFICA DE RESULTADO DE FACTOR DE SEGURIDAD CON LOS PARAMETROS INDICADOS EN LA TABLA

4) NIVEL FREATICO EN 20 m:

En esta hipótesis las mejores condiciones de análisis, es decir peso específico bajo ángulo de fricción el más alto entre los parámetros de este análisis, se tiene otra variación considerable del factor de seguridad en descenso, los cuadros del anexo D y gráficos del anexo E lo indican. Se puede entonces considerar que los parámetros para este rango de ángulo de fricción (15° y 21°) y para este rango de peso específico (24 KN/m^3 - 22 KN/m^3) son críticos cuando el nivel freático llega a 20 m. de profundidad desde la superficie, pues los resultados avalan que tienen decrecimientos importantes, variaciones de esta magnitud no ocurre en las otras hipótesis.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

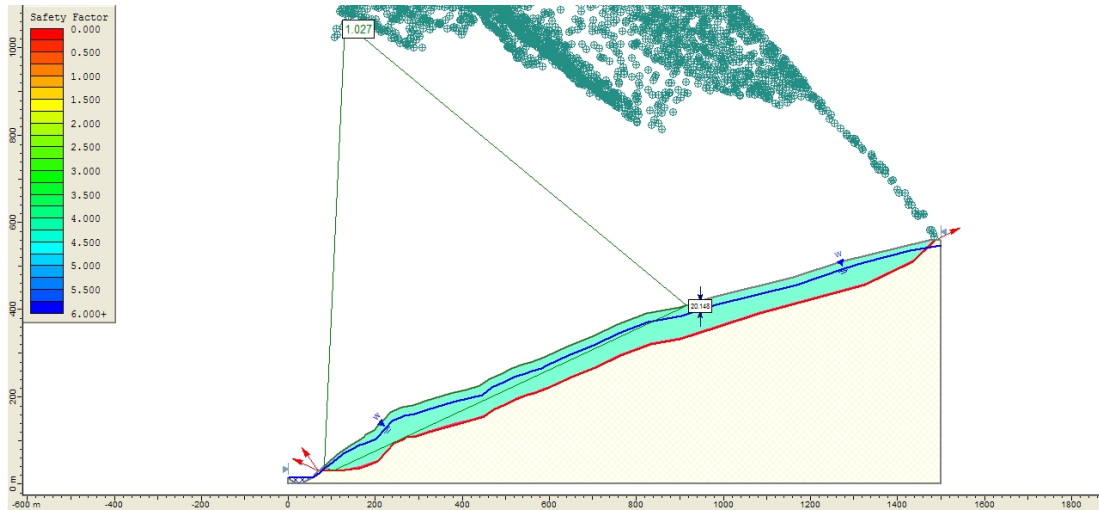


FIG. 4.7 SALIDA GRAFICA DE RESULTADO DE FACTOR DE SEGURIDAD DE 1.027 CON LOS PARAMETROS $\gamma = 22\text{KN/m}^3$ y $\phi = 19^\circ$, PARA UN NIVEL FREÁTICO DE 20 m DE PROF DESDE LAS SUPERFICIE.

5) NIVEL FREÁTICO EN 15 m:

Desde la condición anterior a la presente no existen cambios pronunciados o notorios en los resultados, pues las variaciones son pequeñas pero casi en todas ya habría fracasado el talud pues el factor de seguridad está por debajo o levemente superior al equilibrio precario. Esto nos indica que el nivel freático en esta zona al subir hasta alrededor de 15m. de profundidad desde las superficie, el factor de seguridad tiende al equilibrio precario como lo indica la fig. 4.8 en donde se obtuvo un FS = 1,03 para un $\phi = 21^\circ$ y $\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$. Si revisamos los datos de piezómetros aunque sea en la zona No 1 encontramos que este nivel en muy raras ocasiones ha sido superado, a pesar que existen datos de pozos piezométricos midiendo datos inferiores de niveles freáticos colgados, es decir acuíferos que se formaron y quedaron cercanos a la superficie y que permanecen allí, que son los únicos que superan este nivel pero que no representan el nivel freático general ni tampoco a los de esta zona que no cuenta con piezómetros , por lo que en las recomendaciones se recomienda su urgente instalación para monitorear esta zona con mayor precisión.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

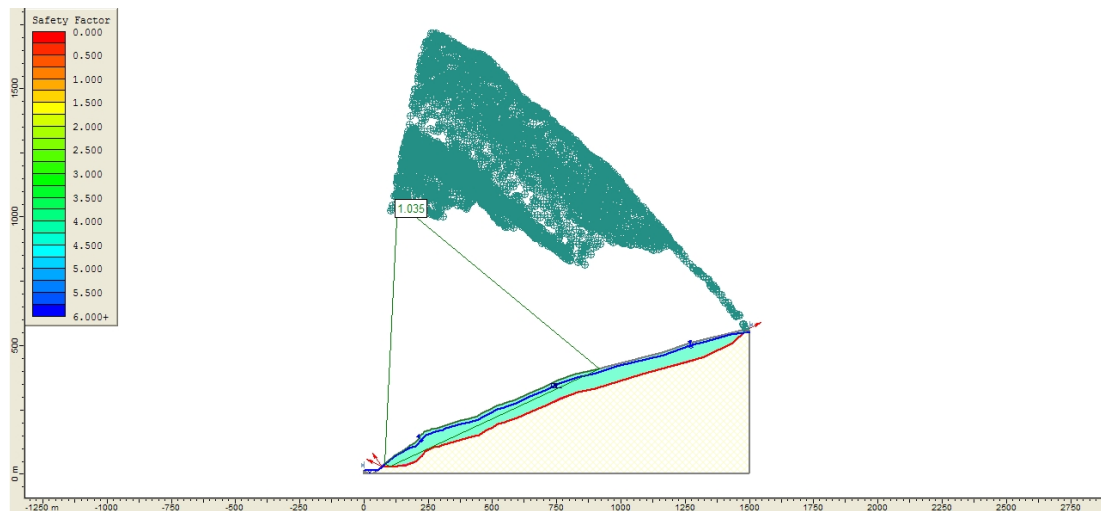


FIG. 4.8 SALIDA GRAFICA DE RESULTADO DE FACTOR DE SEGURIDAD DE 1.027 CON LOS PARAMETROS $\gamma = 22\text{KN/m}^3$ y $\phi = 21$, PARA UN NIVEL FREÁTICO DE 15 m DE PROF DESDE LAS SUPERFCIE.

6) NIVEL FREATICO EN 12 m:

De todos los resultados obtenidos en los anexos D y E se observa que el factor de seguridad continua siendo algo mayor que 1,00 y si se incrementa el valor del peso específico a 23 y 24 KN/m^3 este está por debajo de la unidad, de manera que concluiremos de la observación que:

- El peso específico está en 22KN/m^3 debido a que es el último valor para el cual mantiene factores de seguridad, mayor que la unidad.
En 12 m de profundidad de nivel freático se obtiene un factor de seguridad de 1,0283 con un ángulo de fricción de $\phi = 22$ y peso específico de $\gamma = 22\text{KN/m}^3$.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

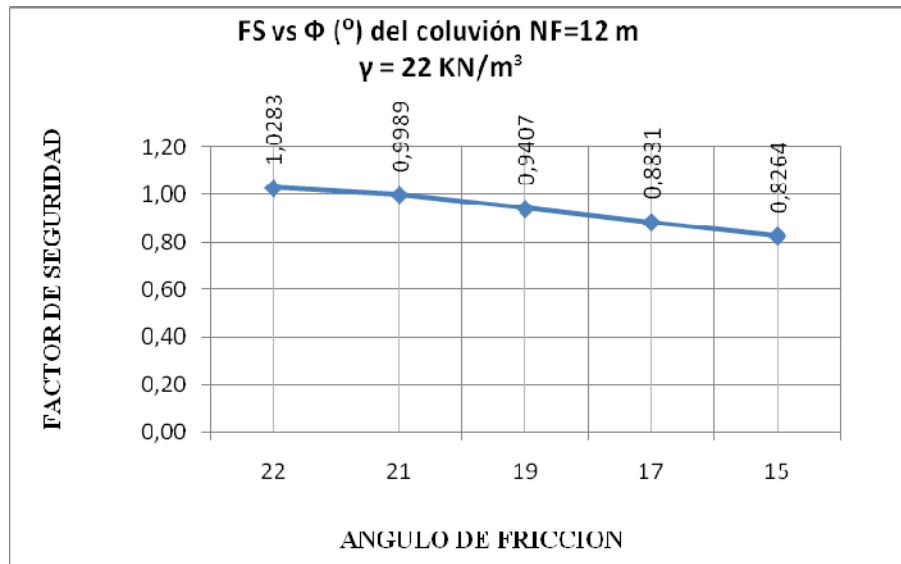


FIG. 4.9 RESULTADOS DEL FACTOR DE SEGURIDAD CUANDO EL NF= 12 m. DE PROFUNDIDAD MANTENIENDO $\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$ y variando Φ entre 15 y 22 .

7) NIVEL FREATICO EN 7,50 m:

Finalmente cuando el nivel freático llega a 7,50 m de profundidad desde la superficie el FS llega a 1,00 con un peso específico de $\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$ que es el valor máximo de Factor de seguridad igual o superior a la unidad que puede tener con los valores indicados. Los resultados obtenidos se encuentran en la Fig. 4.10 en donde $\Phi = 22$.

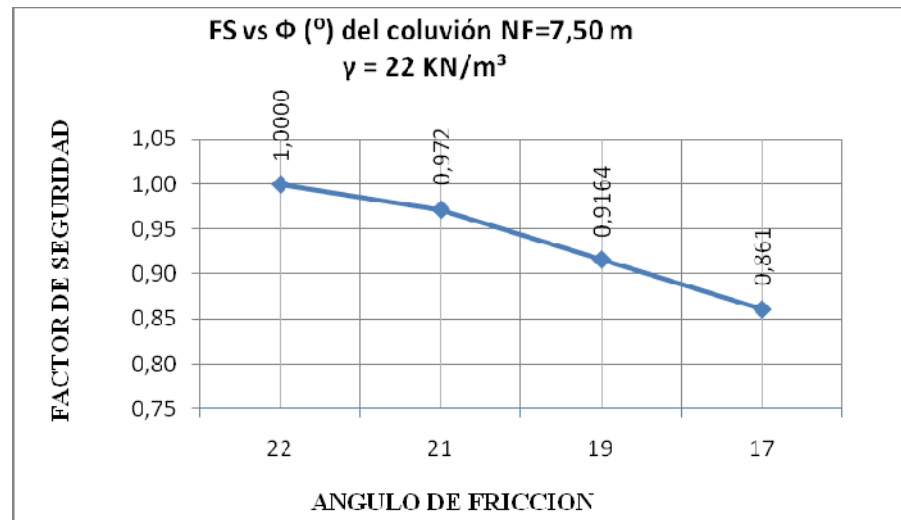


FIG. 4.10 VALOR MINIMO DE FACTOR DE SEGURIDAD CON LOS VALORES DE $\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$ Y $\Phi = 22$.

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- El valor máximo de ángulo de fricción es de 22° para que el factor de seguridad sea igual a 1,00, arriba de este valor implicaría que el factor de seguridad suba y el nivel freático también lo cual no es cierto pues provocaría la saturación en la superficie del coluvio y ocurriría lo mismo que el flujo de escombros acontecido en abril 18 de 1998.

c) HIPOTESIS No 3: ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DE LA ZONA No 2 OBTENIENDO EL FACTOR DE SEGURIDAD CON LA MÁXIMA LLUVIA ACUMULADA CALCULADA COMO PESO.

Se tomará como medida de cálculo la lluvia acumulada de 9 días, esta se transforma en peso, utilizando el caudal específico del ítem 2.7 se tiene:

$$Q = \text{Vol}/t$$

$$Q_{\text{esp}} = 0,0343 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t = 9 \text{ días}$$

$$\text{Vol} = 0,0343 \text{ m}^3/\text{s} \times 9 \times 60 \times 60 \times 24 = 26671,68 \text{ m}^3 \text{ en 9 días}$$

$$\text{Peso} = 26671,68 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ Kg}/\text{m}^3 = 26671680 \text{ Kg} \times 10 = 266716800 \text{ Nw} / 1000 =$$

$$P = 266716,8 \text{ KNw}$$

$$\text{Área de la zona No 2} = 0,434 \text{ Km}^2 = 434000 \text{ m}^2$$

$$\frac{266716,8 \text{ KNw}}{434000 \text{ m}^2} = 0,614554 \frac{\text{KNw}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Longitud del talud} = 1529,04 \text{ m}$$

$$\text{Carga por metro lineal} = 0,614554 \text{ KN}/\text{m}^2 \times 1529,04 \text{ m} = 939,68 \text{ KN}/\text{m}$$

FACTOR DE SEGURIDAD OBTENIDO:

$$F_s = 1,074$$

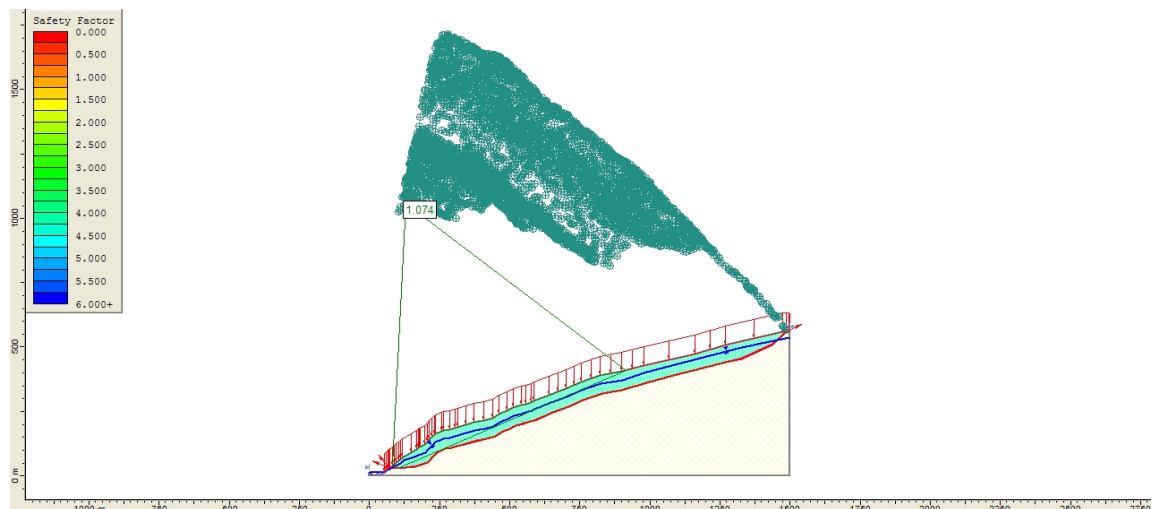


FIG. 4.11 FACTOR DE SEGURIDAD CALCULANDO EL CAUDAL ESPECÍFICO COMO PESO EN 9 DÍAS DE LLUVIA CON NIVEL FREÁTICO A 32 m DE PROFUNDIDAD DESDE LA SUPERFICIE.

Autor:



UNIVERSIDAD DE CUENCA

d) **HIPOTESIS No 4: ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DE LA ZONA No 2 CALCULANDO EL FACTOR DE SEGURIDAD CON LA MÁXIMA CARGA QUE PUEDE SOPORTAR SOBRE SU SUPERFICIE.**

Al tratarse el cálculo del talud, como resultante de las fuerzas estáticas, el valor que puede soportar es de hasta 4000 KN/m con un nivel freático de 32 m de profundidad, es decir en condiciones normales de época no invernal. Con lo que el factor de seguridad es de 1,00 como se indica en la fig. 4.14 y con la carga actuando en forma vertical a la superficie.

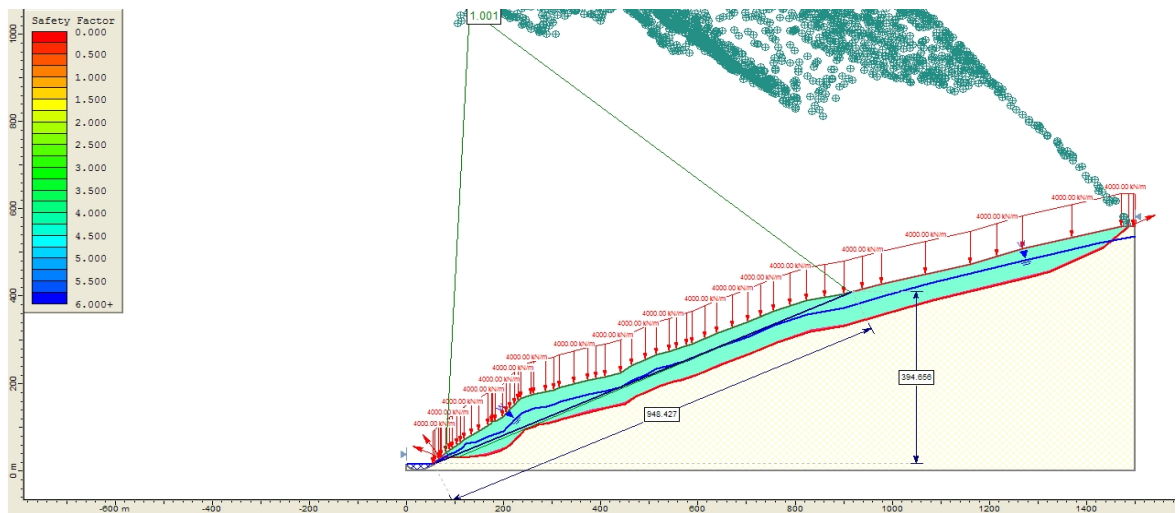


FIG. 4.12 PESO MAXIMO DE 4000 KN/m QUE SOPORTA EN LA SUPERFICIE PARA OBTENERSE UN FACTOR DE SEGURIDAD DE 1,00.

e) **CONDICIONES SÍSMICAS:**

Para las condiciones de sismo y variando el nivel freático desde 77m hasta los 15m. de profundidad desde la superficie, se obtuvieron los resultados que están resumidos en la tabla 4.4. En esta tabla se mantienen fijos los valores del ángulo de fricción del coluvión en 22° y el peso específico del mismo material en 22 KN/m³, valores que fueron determinados en el punto 7 de la hipótesis b del ítem 4.14, con lo que se obtuvo las cargas sísmicas horizontales máximas que podría soportar el talud.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

TABLA 4.4 RESULTADOS OBTENIDOS

γ = peso específico(KN/m ³)	NF=nivel freático prof (m)	Φ = ángulo de Fricción (°)	Carga Sísmica Horiz q soporta(g)	FS (factor de seg.)
22	77	22	0,13	1,002
22	32	22	0,10	0,990
22	27	22	0,09	0,990
22	20	22	0,05	1,008
22	15	22	0,03	0,996

Los datos obtenidos en la tabla 4.4 de la carga máxima horizontal, están expresados en función de la gravedad pero para poder tener una idea en la escala Richter en grados, se realizó la siguiente tabla de equivalencias que se la presenta también en forma gráfica en la fig. 4.11

TABLA 4.5 EQUIVALENCIA SISMICA DE COEFCIENTE A MAGNITUD EN ESCALA RICHTER.

COEFICIENTE SISMICO (g)	MAGNITUD DEL SISMO EN ESCALA RICHTER (°)
0,40	6,90
0,23	6,50
0,08	5,60
0,04	5,00

En la curva de la función de variación representada en forma gráfica en la Fig. 4.11 podemos representar los valores máximos con sismo que puede soportar el talud cuando su nivel freático varía como lo indica la tabla 4.4. En la siguiente figura se observa que máximo podría soportar un valor de 6 grados de intensidad en la escala Richter cuando el nivel de agua esté a 77 m de profundidad, mientras que soportaría únicamente un valor de 5 grados en la misma escala, como máximo cuando el nivel freático este a solo 15 m. de profundidad.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

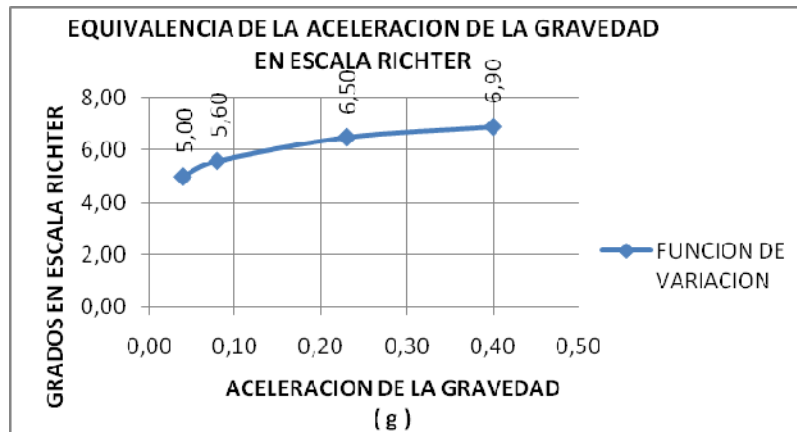


FIG. 4.13 CURVA DE ACELERACION DE LA GRAVEDAD VS INTENSIDAD SISMICA EN LA ESCALA DE RITCHER

El resultado gráfico del talud cuando está el nivel de agua a 15m de profundidad se presenta en la Fig. 4.14 en donde en estas condiciones se observa en la gráfica que el grado sísmico que soportaría para estar en equilibrio precario ($FS = 1$) es de 5 .

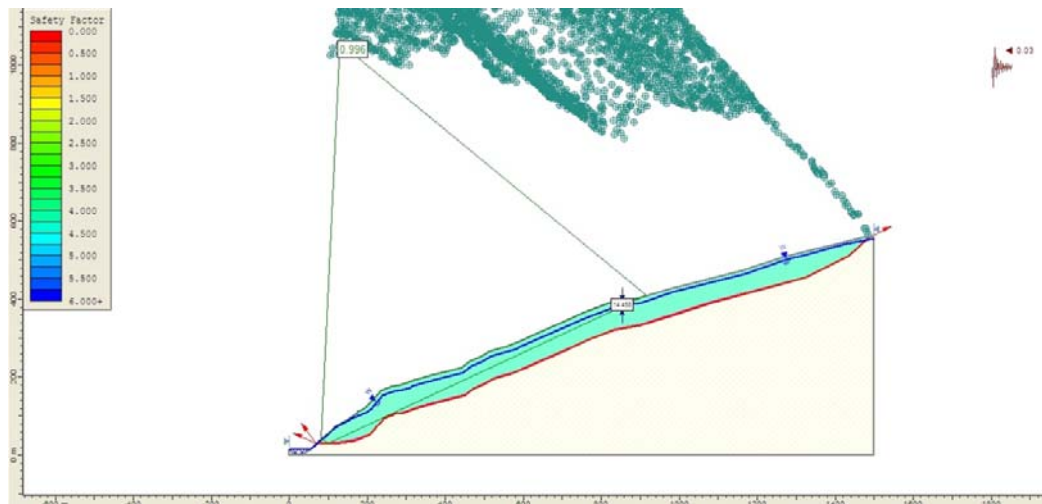


FIG. 4.14 SALIDA GRÁFICA CUANDO EL NIVEL FREATICO ESTA EN 15 m DE PROFUNDIDAD DESDE LAS SUPERFICIE EL MAXIMO VALOR DE SISMO QUE PUEDE SOPORTAR ES DE 0,3 g ES DECIR APROXIMADAMENTE UNOS 5 EN LA ESCALA DE RICHTER, AQUÍ EL FACTOR DE SEGURIDAD ES 0,99.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CAPITULO V

MEDIDAS PARA ESTABILIZAR EL TALUD DE LA ZONA 2 EN GUARUMALES

En cualesquier talud en donde se ha presentado movimiento, deformación o rotura, por cualesquier acción, es necesario devolver el equilibrio original o disminuir su riesgo de inestabilidad, a través de medidas que permitan disminuir las fuerzas desestabilizadoras o a su vez aumentar las fuerzas estabilizadoras.

Estas medidas estabilizadoras pueden ser [4]:

- Modificación de la Geometría del talud.
- Drenajes que permitan sacar el agua
- Introducción de elementos estructurales que den resistencia al terreno
- Construcción de elementos de contención como muros u otros.
- Protección superficial
- Bioingeniería
- Colocación de Geotextiles.
- Bulones y anclajes ecológicos de basura.

5.1 MODIFICACION DE LA GEOMETRIA DEL TALUD

Básicamente lo que se pretende mediante esta medida de estabilización a un talud, es la redistribución de fuerzas debidas a la gravedad, es decir que el peso del material se redistribuya y la pendiente del talud tome su ángulo de reposo natural del material, este es el ángulo del material para el cual alcanza la estabilidad.

5.1.1 DISMINUCION DE LA INCLINACION DEL TALUD

Siempre que sea posible realizarlo y dependerá de:

1. La cantidad de material que se tiene que remover.
2. Tipo de material.
3. Accesibilidad y viabilidad del trabajo.
4. Económicamente sea posible.
5. Los efectos que se causen no alteren definitivamente el medio ambiente o afecten a terceros.

5.1.2 ELIMINACION DE PESO EN LA CABECERA DEL TALUD

Reduce el ángulo general del talud y elimina peso de esta zona, disminuyendo las fuerzas desestabilizadoras [4]:

1. Si es accesible a la parte superior.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2. Sea posible expropiar terrenos.
3. No cause problemas ambientales o efectos secundarios.

5.1.3 AUMENTO DE PESO AL PIE DEL TALUD.

Aumenta las tensiones normales sobre la superficie de rotura haciendo que las fuerzas estabilizadoras se incremente y por lo tanto favoreciendo a la estabilidad, implica:

1. Ocupa mayor espacio y pérdida de terreno al pie del talud
2. De no existir quebradas, vertientes o ríos.
3. Cuando no se altere drenajes naturales.

Para el caso específico de la zona 2 de Guarumales no es posible disminuir la inclinación del Talud debido a la magnitud del mismo en cuanto a tamaño, tampoco es posible eliminar el peso de la cabecera por la accesibilidad y luego por la forma de sus picos, además el problema de inestabilidad que presenta el talud es en la parte baja y no en la cresta.

5.2 DRENAJES

Con esta medida se pretende eliminar el agua dentro del talud debido a que esta reduce la resistencia de algunos de los materiales y aumenta el peso en la masa inestable, lo ideal sería eliminarla por completo, pero en lo posible tratar de sacar la mayor cantidad de agua a fin de bajar las presiones intersticiales y el nivel freático para evitar saturación, que son los factores desestabilizadores en las superficies de rotura y grietas de tracción [4].

Los tipos de drenajes pueden ser:

- Superficiales: son cunetas, zanjas, canalizaciones y todo elemento que con el fin de evitar escorrentía, la filtración hacia las grietas y discontinuidades que pueden erosionar el material que contienen entre estas y provocar inestabilidad como es el caso de la zona No2 de Guarumales. Se las realiza en la cabecera del talud, costados o en el centro de acuerdo a la necesidad y en formas diversas como espina de pez, rectos, etc.
- Drenajes Profundos: son drenes sub horizontales, es decir con una pendiente de 0 a 8 grados de inclinación que permita la evacuación de agua que se ha infiltrado hacia el interior del talud, los mismos tienen que ser debidamente revestido mediante geotextil a fin de evitar taponamientos en los agujeros de ingreso al tubo, además del constante mantenimiento

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

a través de aire a presión desde el interior del tubo del dren para limpiar partículas de material que obstruyen los agujeros del mismo.



FOTOGRAFIA No 5: RECUPERACION Y MEDICION DE CAUDALES A TRAVÉS DE DRENES SUBHORIZONTALES. (Fotografías tomadas en campo, en visitas técnicas para el desarrollo del presente trabajo investigativo).

- Pozos verticales: Se realizan perforaciones hasta encontrar el nivel freático y se las profundiza hasta el nivel al cual se le quiere dejar el mismo, su función es drenar mediante bombas introducidas en su interior, las mismas que se accionan inmediatamente de activar una señal cuando el nivel freático a alcanzado una altura crítica de diseño. El diámetro de apertura va desde 30 a 150 cm superior [4]. El drenaje también puede ser realizado por gravedad a través de pozos que se comunican con el exterior al subir el nivel freático a la altura diseñada del pozo.

Este es el método más recomendable debido a la magnitud del talud en análisis, y consta sugerencias sobre drenes a ser colocados en la zona No2. Captación de aguas superficiales que están afectando a la estabilidad.

5.3 INTRODUCCION DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES RESISTENTES.

El objetivo es el de incrementar la resistencia al corte en la superficie de falla del talud mediante pilotes, micropilotes o incrementar las fuerzas de rozamiento tangenciales en la misma superficie de falla con anclajes o bulones.

Todos estos elementos atraviesan la superficie de deslizamiento hasta anclarse en la zona estable y su cantidad va en función al esfuerzo a resistir. En el caso de la zona No2 de Guarumales es difícil usar esta técnica puesto que se tiene un coluvión y no actuaría de manera total ya que se trata de partes de roca desintegrada que se deslizó por encima de la roca o zona estable.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

5.4 CONSTRUCCION DE ELEMENTOS DE CONTENCION.

Son elementos que se ubican en el pie del talud con la finalidad de contener y evitar la degradación de esta zona, y se los usa en deslizamientos superficiales, pero teniendo en cuenta que el deslizamiento del talud puede ser por encima o por debajo del muro. Son de diferentes tipos como flexibles o rígidos y por gravedad o pantalla y también los de tierra armada.

De hecho en Guarumales solo se construyeron muros de gaviones ubicados en la zona No1, pero no son para estabilizar el talud sino para evitar la erosión lineal causada por la crecida del río Paute en épocas invernales. Este método tampoco es aplicable para el caso considerado.

5.5 PROTECCION SUPERFICIAL

De todas las medidas esta es la más viable de realizarla, pues la escorrentía subterránea al ingresar aproximadamente el 20 % de la cantidad total de lluvia, causa problemas de estabilidad debido a la falta de vegetación sobretodo en las partes altas del talud, como se lo aprecia en la fotografía No 6.

Se debe realizar una reforestación de manera que cuando se presente lluvia esta no cause erosión y el agua de la escorrentía superficial sea absorbida en lo máximo posible dependiendo del tipo de vegetación a ser colocada, lo que requiere un estudio de vegetación existente en la zona que pueda aportar a este propósito.

La utilización de métodos de Bioingeniería constituye una fundamental herramienta para evitar la infiltración en cantidades que saturan el interior de los materiales que conforman el talud [23].

Aproximadamente el 40 % de la zona No 2 esta desforestada, lo que facilita el ingreso de agua al talud, con las consecuencias de movimientos en el mismo.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA



FOTOGRAFIA No 6: VISTA DE LA ZONA No 2 INCLUIDA EN EL CAMPAMENTO DE GUARUMALES, SE APRECIA FALTA DE VEGETACION EN LA PARTE SUPERIOR DE LAS ZONAS No 1 Y No 2

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.3 CONCLUSIONES.

6.1.1 SOBRE LA PARTE HIDROLOGICA:

1. El principal problema del talud de la zona No2 de Guarumales lo constituye las lluvias cortas y localizadas de alta intensidad.
2. Los lugares más susceptibles de deslizamiento cuando se producen este tipo de lluvias, son los taludes de las quebradas que limitan esta zona, pues fue lo que ocurrió cuando se produjo el flujo de escombros del 19 de abril de 1998, por lo que en las recomendaciones se menciona mediadas para estabilizarlas en el numeral 6.2.1.1 numeral 1. También son susceptibles los taludes de los caminos de acceso por la parte inferior del talud hacia las bodegas y taller automotriz pues a través del tiempo se han suscitado numerosos deslizamientos de sus taludes de acuerdo a información recibida de Hidropaute.
3. La lluvia antecedente no parece ser la causa de falla en los taludes de las quebradas y caminos de acceso al taller automotriz y bodegas HPSA por el pie del talud, excepto en los movimientos del talud general en donde en época invernal por la cantidad de agua acumulada de lluvia de varios días incrementa la velocidad de movimiento en la brecha de falla.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

4. Una intensidad de lluvia de 16mm/hora se establece como el valor de un umbral arriba del cual ocurren deslizamiento de los taludes de las quebradas que provoca embalsamiento en estas y luego ruptura abrupta para ocasionar flujo de escombros en la superficie del talud. La acumulación de 35mm de lluvia en el lapso de 3 horas incrementa dramáticamente el riesgo de deslizamientos en las paredes de las quebradas de la zona No 2, conforme crece la intensidad horaria respecto a este umbral.
5. Los taludes de las paredes de las quebradas Ventanillas y del taller automotriz, parecen ser zonas de debilidad respecto a este tipo de lluvia cortas y de alta intensidad.
6. La lluvia acumulada de 70 mm. en 7 días y de 20 mm. en 2 días, es muy improbable que provoque problemas de represamiento en quebradas o inestabilidad peligro de deslizamiento del talud general de la zona No 2, por lo tanto no es un límite arriba del cual se produzcan problemas, pues como se vio en los anexos B y C varias veces sobrepasaron estos límites dado por Hidropaute y no ocurrió un problema similar a lo largo de el extenso análisis realizado desde el año 1998 hasta el año 2008 que son los 13 últimos años.
7. En los análisis de las hipótesis sobre el talud, cuando se varia el nivel freático se representa la cantidad de pluviosidad que cae sobre este y la infiltración hace que suba el nivel freático, con lo que los valores obtenidos de factor de seguridad bajan cuando el nivel freático sube y el máximo valor de nivel freático al que se puede llegar es de 7,50m de profundidad desde la superficie.
8. De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis de las diferentes hipótesis se concluye que la causa principal de la activación de movimientos en la zona No 2, se debe fundamentalmente al evento ocurrido el 19 de abril de 1998, el mismo debió inestabilizar el cauce de la quebrada Ventanillas y ocasionar fisuras internas del cause de la quebrada debido a la fuerte erosión al momento del desfogue, estas permiten el paso del agua al interior del talud y se suman a las infiltraciones ya existentes que acumulan agua al interior del talud y debió dirigirse hacia la zona No 2 para desde el año 2000 activar los movimientos hasta la fecha.

6.1.2 SOBRE LOS PARÁMETROS GEOMECHANICOS:

9. La incertidumbre de los valores de peso específico y el parámetro de esfuerzo de Φ en el coluvión, así como de variación del nivel freático por no contar con piezómetros que determinen con exactitud el valor de este en las diferentes épocas invernales y no invernales, hacen necesarias las variaciones de estos parámetros, que da como resultado que los valores del factor de seguridad sean múltiples, con esta variación de parámetros se quiere representar la anisotropía interna del material coluvión, que se traduce también en anisotropía de esfuerzos internos del material en este estrato.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

10. El peso específico del material coluvión al ser una mezcla de aproximadamente 60% de matriz limo arenosa y 40% de roca esquistosa, lo cual da un peso específico de 22 KN/m^3 , es muy cambiante en su interior por lo que al tratarse de un coluvión es posible de que existan concentraciones de roca acumulada en cuyo caso subiría el peso específico de esa zona mientras que puede ocurrir lo contrario de que existan zonas con mayor concentración de matriz limo arenosa y en esta condición bajaría su peso específico al valor del limo, por lo tanto depende del modo de depositación de materiales al interior del coluvión, de manera que realizar un análisis con variabilidad de parámetros constituye una alternativa de análisis para establecer el resultado de factor de seguridad al tener diferentes condiciones, y de acuerdo a lo obtenido, de ninguna manera constituye una solución colocar peso sobre el talud de Guarumales en ninguna de las zonas debido a que disminuye el factor de seguridad, si se incrementa su peso por la razón de que al mismo tiempo que se aumenta la fuerza normal, también se incrementa la fuerza tangencial de corte, que provocaría el alcanzar la resistencia máxima al corte y el fracaso del talud. La hipótesis de que incrementando peso en el coluvión estabilizaría el talud fue una de las propuestas sugeridas por Hidropaute.
11. Los valores del ángulo de fricción del coluvión deben estar entre 19° y 23° de acuerdo a los análisis de estabilidad realizados, a pesar que el limo arenoso que es el material de la que está compuesta la matriz del coluvión tenga un ángulo de fricción de 26° de acuerdo al ensayo de corte simple que se realizó por parte de Hidropaute. Esta diferencia pudiera deberse a la existencia al interior del coluvio de partes huecas o zonas vacías que lo confirman las perforaciones realizadas en la zona en estudio y en zonas contiguas, pues el coluvión al tratarse de un antiguo deslizamiento de rocas desde la parte superior hacia la inferior, estas caen por acción de la gravedad y se acomodan dejando espacios vacíos entre sí y aún más grandes cuanto más grandes sean los bloques de roca de esquisto que hayan caído. Esta acción influye sobre el material al interior, por lo que las partes huecas son susceptibles de hundimiento y cuando tratamos de darle al coluvión un ángulo de fricción general y no solo de limo el valor de entre 19° y 23° pudiera estar acorde con la realidad del talud ya que en estos valores el factor de seguridad está cercano a 1 (equilibrio precario) por lo que si el talud está en movimiento tanto en su interior como en su exterior cuando se presenta una época invernal con movimientos mayores a épocas de poca lluvia.
12. Si el valor del ángulo de fricción del coluvión es de 22° en la realidad, tiene una variación de un 15 % aproximadamente más bajo que el ángulo de fricción del limo que es de 26° que se ha venido considerando hasta el momento. Este valor es inferior que el menor de los dos materiales de entre el limo y la roca esquistosa debido a la existencia de vacíos en el interior del talud como se lo anotó y por la densidad relativa de los materiales existentes en la capa de coluvión.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

6.1.3 SOBRE LOS SISMOS:

13. Para la condición de sismo ya se ha determinado el ángulo de fricción con el que debería tomar el coluvión para trabajar el factor de seguridad en el resto de cálculos, el mismo es de 22° y con un peso específico de 22 KN/m³. Los parámetros que varían son el nivel freático y la carga sísmica para encontrar el factor de seguridad para encontrar el equilibrio mínimo y definir el máximo sismo que pueden soportar.
14. Se debe indicar que la carga sísmica tendrá componente únicamente horizontal ya que si se coloca carga vertical el factor de seguridad se incrementa.
15. Indudablemente un talud se ve afectado por las condiciones sísmicas debido al esfuerzo cortante que se produce ocurriendo una licuefacción al interior del talud.

6.4 RECOMENDACIONES

6.2.1 MANEJO HIDROLÓGICO

6.2.1.1 EN QUEBRADAS

- 1) Realizar estabilización de taludes de quebradas mediante remoción de material en forma parcial o total cada cierto tramo en las quebradas que forman el límite de sector. Estos tramos deberán ser estudiados y analizados para determinar su susceptibilidad a deslizamiento y las zonas más riesgosas deberán ser tratadas con esta medida o al menos reducir la pendiente del talud, para evitar nuevamente un taponamiento de las quebradas que den lugar a un nuevo flujo de escombros.
- 2) En la quebrada Ventanillas se debe realizar una evaluación sobre el caudal que transporta esta desde la parte superior y cuanto llega a desembocar en el río Paute en la parte inferior, pues es la quebrada que mayor caudal transporta de las 5 existentes (su máxima diaria es 1,776 m³/s, [3]) existe infiltraciones al interior de su curso según MURUAIS (1980), la determinación de la cantidad de caudal que se filtra al interior estarían directamente afectando a la estabilidad del talud. Esto basado en el incremento de magnitud de los vectores de deslizamiento, el cambio de velocidades en las masas del talud, y el incremento de deslizamiento registrado en los inclinómetros desde el año 2000 hasta la fecha, que indican que la aceleración de las masas en los últimos años es producto de un cambio al interior del talud muy posiblemente producido por incremento de circulación de agua en su interior, a causa del flujo de escombros ocurrido en abril de 1998, el mismo que pudo haber causado daños y fisuras en el curso natural de la quebrada.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- 3) De existir agrietamiento o daño al interior de la quebrada se requiere realizar revestimientos o sellado de grietas mediante inyección, para evitar infiltración en las mismas y su posterior control mediante núcleos de perforación. Debido a que aportan directamente al caudal subterráneo que provoca inestabilidad en todo el talud.

6.2.1.2 EN EL TALUD

- 4) Es necesario disminuir el agua de escorrentía superficial que filtra al interior del talud y se convierte en agua de escorrentía subterránea y que influye en la estabilidad de la zona No2 para esto se requiere incrementar las captaciones de agua superficiales de ser posible con cunetas revestidas o al menos impermeables mediante el uso de geotextiles al interior de estas, y deberán ser ubicadas en las partes superiores de los taludes que se realizaron para la construcción de la carretera Guarumales Méndez. Luego de captar esta agua, deberá ser conducida a los drenajes naturales como las quebradas existentes o los puntos de recolección de agua contruidos por Hidropaute.
- 5) Urgentemente realizar perforaciones en el talud de las zona No 2 ya que esta no cuenta con drenajes de agua sub horizontales principalmente en la parte inferior, en donde el abrupto cambio de pendiente acelera velocidad del agua, y por ende causa erosión, y en la zona No 2 donde está el taller automotriz y las bodegas.
- 6) Realizar ensayos con marcadores o trazadores, a fin de determinar la dirección de flujo del agua subterránea, esto para definir la dirección a colocarse los sub drenes.
- 7) Instalar al menos un piezómetro en la zona No2, con la finalidad de determinar los niveles de agua que alcanza el nivel freático en las distintas condiciones meteorológicas y correlacionar con los datos del inclinómetro PI 9 que registra movimientos.
- 8) Realizar prospección geofísica mediante el método de resistividad eléctrica que permita confirmar datos sobre los espesores que conforman el talud y averiguar la existencia de niveles freáticos colgados o acuíferos libres, su posición dentro del estrato, el tamaño, la dirección del mismo y la cantidad de tubería requerida para mediante perforaciones sub horizontales evacuar la cantidad de caudal acumulado en estas zonas, pues de tratarse de un acuífero colgado se convierte en una represa de agua interna que al romperse su capa impermeable por causa de movimiento de la masa, produciría un deslizamiento de consecuencias lamentables. En la zona de Guarumales, en algunos sectores se ha determinado más de dos niveles freáticos al mismo tiempo, lo cual nos indica la existencia de

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

estancamiento de agua debido a la forma del paleocoluvio metamórfico, es necesario también saber si en la zona No 2 existe esta situación o sus movimientos están regidos solo por la variación de un solo nivel freático.

- 9) Se requiere la construcción de una galería de drenaje que capte el agua infiltrada no solamente de la zona No 2 sino que atraviese el campamento y sus instalaciones que presentan fisuras o indicación de movimiento, así como zonas críticas como sectores en los que se puede visualizar acumulaciones de agua en la parte superficial formando charcos que no se evacuan sino únicamente por evaporación que es cuando desaparecen y otros se mantienen permanentemente.

6.2.2 MANEJO SUPERFICIAL

- 10) Establecer una red de puntos con hitos de hormigón cada cierta distancia (cada 50 m. por ejemplo), esto además de los puntos T8 y PI9 ya existentes, aunque en las partes críticas en donde se ha ubicado al factor de seguridad menor como en la parte del pie del talud, o zonas de baja pendiente como el mismo taller y las bodegas, con el fin de que el control topográfico y geodésico mediante GPS sean quienes confirmen los movimientos mayores que se están dando en estos sectores. Asimismo, la parte superior del talud no puede ser descuidada en su comportamiento cinético, pues requiere situarse aquí puntos de control que ayudarían a establecer una correlación de movimientos entre la parte superior e inferior a más de la correlación que se pueda realizar con los datos que se obtienen permanentemente en los puntos intermedios T8 y PI9.
- 11) La información proporcionada por Hidropaute de la construcción de un túnel de desvío del río Paute que se está llevando a cabo en el talud izquierdo con el fin de evacuar por allí las aguas de este en caso de falla de alguna de las zonas del talud de Guarumales, se recomienda la aceleración en los trabajos de mismo a fin de evitar una eventual combinación de las condiciones analizadas como críticas que podrían ocurrir antes de la culminación del túnel, lo cual sería considerado como un verdadero colapso para el sistema energético del País al producirse una obstrucción en el curso actual del río Paute y producirse represamientos como los de la Josefina ocurrido el 29 de Marzo de 1993.

6.2.3 SOBRE BIOINGENIERIA:

Se recomienda realizar reforestación mediante bioingeniería en las partes superiores del talud en la zona No 2, como también en la zona No 1, con el fin de evitar excesiva infiltración de escorrentía superficial

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

hacia el interior para transformarse en escorrentía subterránea, que es una de las razones de la inestabilidad y que ocasiona movimientos permanentes que causan daños en las estructuras del taller automotriz y bodegas HPSA actuales del campamento de Guarumales. Como se observó en la fotografía No 6 de la existencia de zonas desforestadas principalmente en las partes superiores, deben ser recubiertas de vegetación preferentemente típica de la zona, a través de la siembra de plantas que permitan la erosión por lluvia de alta intensidad y localizada, de manera que sus raíces absorban agua rápidamente y a su vez permitan incrementar el esfuerzo de resistencia al corte al menos de hasta la profundidad que alcancen sus raíces.

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

REFERENCIAS

AUTOR

- [1] INECEL: PROYECTO HIDROELÉCTRICO LA SOPLADORA, *Estudios de factibilidad; Anexo 3-Geología y Geotécnica*, **43**, 3, mayo de 1992.
- [2] ECUAELECTRICIDAD: *Evolución del Macro deslizamiento de Guarumales, Período Diciembre de 1999-Enero del 2001*, Vásconez & Vásconez, **44** Abril del 2001
- [4] Luis I. González de Vallejo, Ferrer, Ortuño Oteo, *Ingeniería Geológica*, PEARSON/PRENTICE HALL, **744**, (2002).
- [5] Núñez del Arco Eugenio, *Geología del Ecuador*, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, **254**, pág.1, (2003).
- [6] Sauer Walter, *Geología del Ecuador*, Talleres gráficos del ministerio de Educación, Quito, 191, pág. 6-21.
- [3] Vázcones, F., *Análisis de la Peligrosidad de grandes deslizamientos en la república del Ecuador*, Junio del 2000.
- [7] Winckell, A., Zebrowski, C., Sourdat, M., *Las regiones y paisajes del Ecuador.*, Geografía básica del Ecuador-band IV-Geografía Física-Volumen 2, **417S**, , Quito, Centro ecuatoriano de investigación geográfica, (1997).
- [8] LITHERLAND, M., ASPDEN, J. JEMIELITA, R., *The metamorphic belts of Ecuador-Overseas Memor 11*, British Geological Survey: 147; Keyworth (Linney Color Print Ltda.) (1994)
- [9] ASPDEN, J. & LITHERLAND, M., *The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador.-Tectonophysics*, **205**, 187-204, Amsterdam (Elsevier) (1992).
- [10] ASPDEN, J., BERMUDEZ, R. VITERI, F., POZO, T., *La Geología y potencial mineral de la Cordillera Real, Ecuador- ODA/BGS, INEMIN: 116S; QUITO* (1990).
- [11] Braja M Das, *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, THOMSON/LEARNING, **594**, (2001).
- [12] Villegas, F., *Caracterización de los Sulfatos Masivos de Minas, Pilas y Guarumales, Cordillera Real. – Tesis de Grado EPN; Quito* (No publicado), (1993).
- [13] Mario H. López R., *Estudio Geológico Geotécnico del Macro deslizamiento de Guarumales*, **121**, Noviembre de 1995.
- [14] Pilger, R., *Kinematics of the south American Subduction Zone from Global Plate reconstructions-Geodynamics series*, **9**, 113-126, Washington, 1983.
- [15] Holting, B., *Hidrología*, 415S, 110 Fig, 40 Tab Stuttgart-ISBN 3-432-90794-X, Alemania, 1992.
- [16] MCGUFFEY, V., MODEER, V., KEITH TURNER, A., *Subsurface Exploration-In: KEITH TURNER, A., & SHUSTER, R., Landslides investigation and mitigation-Transportation research Board*,

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- National research council, Special report, **247**, 231-277, Washington D.C. ISBN 0-309-06151-2, (1996).
- [17] SLOPE INDICATOR CO.(1990): *Digital Inclínómetro Manual Model 50309-M Sensor 503009888*.-Seattle.
- [18] *Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable frente a los deslizamientos*, Cap. 3, Guía para identificar problemas de deslizamientos, **29**, 16, Enero 2006.
- [19] Manuel J. Mendoza López y Leobardo Domínguez Morales, *Estimación de la amenaza y el riesgo de deslizamientos en laderas*, **178**, pág. 147-152, México (2002).
- [20] Brand, E. W., "Predicting the performance of residual soil slopes", Proc. 11th Int. Conf. on Soil. Mechs. and Foundation Engrg., San Francisco, Balkema, Vol. 5, pp. 2541-2578, (1985).
- [21] Suarez, J., "Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales", Instituto de Investigaciones Sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de Suelos Ltda., Bucaramanga, Colombia, 548 pp. (1998).
- [22] Alva Hurtado Jorge E., Notas sobre análisis de estabilidad de Talud.
- [23] SOIL BIOENGINEERING MEASURES FOR HILL AND SLOPE STABILIZATION WORKS WITH PLANTS, Florin Florineth and Christoph Gerstgraser, Institute of Soil Bioengineering and Landscape Construction, University of Agriculture, Forestry and Renewable Natural Resources, Asenauerstraße 42, A-1190 Vienna, Austria.
- [24] Cacya Dueñas Lourdes D., "Métodos de evaluación de los deslizamientos", Compendio de trabajos de investigación CNDG – Biblioteca Instituto Geofísico del Perú, Vol. 5, pág. 183-194, (2004).
- [25] Schuster, R. L., "The 25 most catastrophic landslides of the 20th Century", Landslides, Proc. 8th Int.Conf. and Field Trip on Landslides, Granada, España, Balkema, pp. 53-62, (1996).
- [26] CURSO DE EXPLOTACION DE CANTERAS, Parámetros geotécnicos y estabilidad de taludes, Asociación de Mineros del Ecuador (AIME), Ing. MSc. Hernán Gavilanes J.
- [27] Braja M Das, *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, THOMSON/LEARNING, **594**, (2001).
- [28] Braja M Das, *Principios de ingeniería de cimentaciones*, Cuarta Edición, International THOMSON editores, **862**, (2001).

Autor:

Ing. Santiago Cevallos Andrade

123