



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES A PARTIR DE LA
EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO EN
ANCONCITO, PROVINCIA DE SANTA ELENA”

ESTUDIO DE CASO

Previo a la obtención del título de:

INGENIERA CIVIL

AUTORES:

MANRIQUE MUÑOZ VANIA LORENA
TIGRERO RODRÍGUEZ PAOLA DE LOS ÁNGELES

TUTOR:

MSc., ING. PROAÑO CADENA GASTÓN

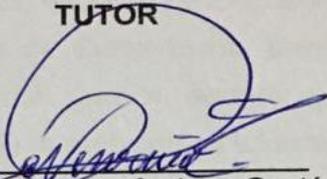
La Libertad, Ecuador

2019

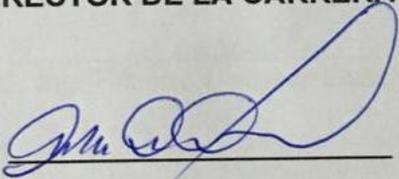
CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por Manrique Muñoz Vania Lorena y Tigreiro Rodríguez Paola de los Ángeles, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniera Civil.

TUTOR

f. 
MSc., Ing. Proaño Cadena Gastón

DIRECTOR DE LA CARRERA

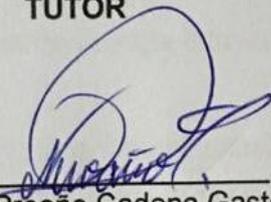
f. 
MSc., Arq. Rubira Gómez Gilda

La Libertad, a los once días del mes de Septiembre del 2019

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Estudio de caso "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES A PARTIR DE LA EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO EN ANCONCITO, PROVINCIA DE SANTA ELENA", elaborado por la Sra. Manrique Muñoz Vania Lorena y la Srta. Tigrero Rodríguez Paola de los Ángeles, egresadas de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingenieros Civiles, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR

f. 

MSc., Ing. Proaño Cadena Gastón

La Libertad, a los once días del mes de Septiembre del 2019

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Manrique Muñoz Vania Lorena y Tigrero Rodríguez Paola de los
Ángeles

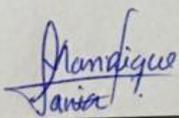
DECLARAMOS QUE:

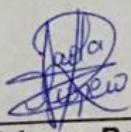
El Trabajo de Titulación, "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES A PARTIR DE LA EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO EN ANCONCITO, PROVINCIA DE SANTA ELENA" previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los once días del mes de Septiembre del 2019

EL AUTOR (ES)

f. 
_____ **Manrique Muñoz Vania Lorena**

f. 
_____ **Tigrero Rodríguez Paola de los Ángeles**

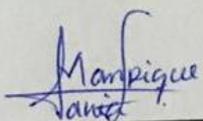
AUTORIZACIÓN

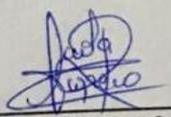
Nosotros, Manrique Muñoz Vania Lorena y Tigrero Rodríguez Paola de los
Ángeles

Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES A PARTIR DE LA EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO EN ANCONCITO, PROVINCIA DE SANTA ELENA", cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los once días del mes de Septiembre del 2019

EL AUTOR(ES):

f. 
Manrique Muñoz Vania Lorena

f. 
Tigrero Rodríguez Paola de los Ángeles



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
Creación: Ley No. 110 R.O. No. 366 (Suplemento) 1998-07-22

La Libertad, 09 de Julio del 2019

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

002-GNPC-2019

En calidad de tutor del trabajo de titulación denominado "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES A PARTIR DE LA EVALUACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO EN ANCONCITO, PROVINCIA DE SANTA ELENA.", elaborado por las estudiantes MANRIQUE MUÑOZ VANIA LORENA y TIGRERO RODRIGUEZ PAOLA DE LOS ANGELES, egresadas de la CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL, de la Facultad de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio URKUND, luego de haber cumplido los requerimientos exigidos de valoración, el presente proyecto ejecutado, se encuentra con 4% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,

ING. GASTÓN NICOLAS PROAÑO CADENA.

REGISTRO SENESCYT: 1021-11-1087952

TUTOR

AGRADECIMIENTOS

A Dios inicio agradeciendo por la sabiduría y fortaleza reflejada a diario por demostrarme que cada sacrificio fue necesario para poder lograr mi objetivo; por brindarme la familia que poseo para impulsarme a continuar.

A mi esposo Boris el que siempre confió en mí y me incitó para culminar mi etapa universitaria; a mi madre Domitila que formó la mujer que ahora soy, y a mis padres por el apoyo absoluto.

A los docentes, quienes contribuyeron con sus sabios conocimientos día a día para forjarme como una nueva profesional durante mi etapa académica, especialmente a mi tutor el Ing. Gastón Proaño Cadena, por tener siempre la predisposición en el desarrollo de este trabajo de titulación y compartir conmigo el intelecto que posee en base a su experiencia como profesional; y a su vez a la Arq. Gilda Rubira de Candell por demostrarnos interés en que la carrera prospere conjuntamente con sus estudiantes, que encamina a la excelencia académica.

A quienes con su ayuda y motivación formaron parte de mi desarrollo estudiantil, y aportaron a que mi titulación sea una realidad.

Vania Manrique Muñoz

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome el ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo.

A mis padres Pablo Tigreiro, Carmen Rodríguez y a mi querida hermana Ingrid Tigreiro, quienes siempre han estado predispuestos apoyarme en todo lo que necesite.

A mi tutor el Ing. Gastón Proaño, por tener siempre la voluntad y vocación en el desarrollo de esta tesis y compartir todo su conocimiento que posee en base a su experiencia como profesional; agradecer a la Directora de la Carrera, Arq. Gilda Rubira de Candell porque siempre está pendiente de los estudiantes de la carrera que ella preside.

No ha sido sencillo el llegar hasta aquí, pero gracia a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco y hago presente mi gran afecto hacia ustedes.

Paola Tigreiro Rodríguez.

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mi esposo Boris Ligorguro Álvarez, quien deposito toda su confianza y amor en mí para que pueda llegar al final de mi carrera estudiantil y con ella obtener mi título universitario, ayudándome a dejar de lado cualquier dificultad que se presentara en el camino, empujándome a continuar y confiar siempre en Dios.

A mi madre Domitila, quien me forjó con su tenacidad, constancia y amor incondicional a ser la mujer con principios enseñanzas y valores que se requiere para lograr todas y cada una de mis metas trazadas.

También va dedicado a mis padres Lorena Muñoz y Jaime Manrique, por creer en mí e impulsarme a completar esta etapa de mi vida.

A mis suegros la Sra. Gloria Álvarez y el Sr. Iván Ligorguro quienes con su cariño, respeto y estima ayudaron en el proceso de mi profesión.

Gracias a todos por la confianza que ahora ven reflejada.

Vania Manrique Muñoz

DEDICATORIA

La presente tesis la dedico a toda mi familia, principalmente a mis padres que han sido un pilar fundamental en mi formación como profesional, por brindarme la confianza, consejos, oportunidad y recursos para lograrlo.

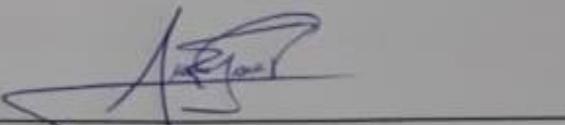
A mi querido tío, Cesar Augusto Tigreiro Herrera quien hoy lamentablemente ya no está entre nosotros, él fue y será motivación frecuente en mi vida por todo lo que hizo cuando más necesitábamos.

A mis compañeros, amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías, tristezas y a todas aquellas personas que durante estos arduos y largos años estuvieron a mi lado apoyándome para que pueda cumplir con esta meta.

Paola Tigreiro Rodríguez.

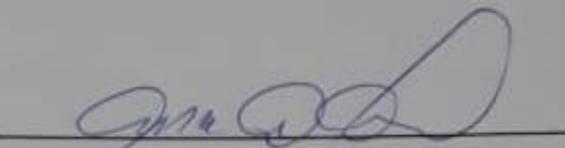
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.



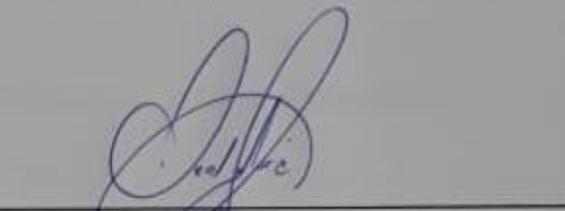
ING. JUAN GARCÉS VARGAS, MSc.
DECANO DE LA FACULTAD

f.



ARQ. GILDA RUBIRA GÓMEZ, MSc.
DIRECTOR DE CARRERA

f.



ING. KERVIN CHUNGA MORÁN, Ph.D.
COORDINADOR O DOCENTE DEL ÁREA

f.



AB. VICTOR CORONEL ORTIZ, MSc.
SECRETARIO GENERAL

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	VI
DEDICATORIA.....	VIII
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	X
ÍNDICE GENERAL.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVIII
RESUMEN.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1.....	3
1. MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Planteamiento del problema.....	5
1.3 Formulación del problema.....	6
1.4 Justificación del tema.....	7
1.5 Objetivos.....	8
1.5.1 Objetivo general.....	8
1.5.2 Objetivos específicos.....	8
1.6 Hipótesis.....	9
1.7 Metodología y estructura del trabajo.....	9
CAPÍTULO 2.....	11
2. MARCO TEÓRICO.....	11

2.1 Terminología en el análisis de estabilidad del talud.....	11
2.1.1 Causas de inestabilidad.....	11
2.1.2 Escorrentía superficial del agua lluvia.....	13
2.1.3 Evacuación de aguas servidas (AA.SS.).....	16
2.1.4 Subpresión hidráulica.....	17
2.1.5 Erosión.....	18
2.1.6 Sismotectónica.....	25
2.1.7 Sismicidad.....	30
2.1.8 Fallas geológicas.....	33
2.1.8.1 Fallas activas e inactivas.....	33
CAPÍTULO 3.....	42
3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	42
3.1 Descripción general.....	42
3.1.1 Ubicación de la zona de estudio.....	42
3.1.2 Climatología de la zona.....	45
3.1.3 Temperatura.....	45
3.1.4 Precipitación.....	48
3.1.5 Viento.....	49
3.1.6 Marea.....	51
3.2 Geología.....	52
3.2.1 Geología regional.....	52
3.2.1.1 Los cerros de la cordillera de Chongón-Colonche.....	52
3.2.1.2 Formación Piñón (Jurásico-Cretáceo).....	53

3.2.1.3 Formación Cayo (Cretáceo Superior).....	53
3.2.1.4 Miembro Guayaquil.....	54
3.2.1.5 Formación Tosagua (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior)...	54
3.2.1.6 Miembro Zapotal (Oligoceno Superior).....	55
3.2.1.7 Depósitos Coluviales (Cuaternario).....	55
3.2.1.8 Depósitos Aluviales (Holoceno).....	56
3.2.2 Geología local.....	57
3.2.2.1 Formación Tablazo (Plioceno y Holoceno).....	58
3.2.2.2 Grupo Azúcar (Paleoceno Inferior).....	58
3.2.2.3 Grupo Ancón (Eoceno Medio y Superior).....	59
3.2.2.4 Formación socorro (Eoceno Medio y Superior).....	60
3.2.2.5 Formación seca (Eoceno Superior).....	61
3.3 Amenazas geológicas en el área de estudio.....	61
3.4 Fallas locales.....	62
3.4.1 Identificación de fallas.....	63
CAPÍTULO 4.....	65
4. METODOLOGÍA Y FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	65
4.1 Metodología.....	65
4.1.1 Metodología aplicada.....	65
4.1.1.1 Descripción de la metodología aplicada.....	65
4.1.1.2 Identificación del material.....	66
4.1.1.3 Descripción del macizo rocoso.....	78
4.1.1.4 Caracterización geomecánica de las discontinuidades.....	80

4.1.1.5 Flujo de agua en el macizo rocoso.....	89
4.1.1.6 Toma de datos.....	90
4.1.1.6.1 Datos en superficie.....	90
4.1.1.7 Clasificación RMR.....	103
4.1.1.8 Clasificación SMR.....	107
4.1.1.8.1 Índice SMR.....	108
4.1.1.8.2 Clases de inestabilidad.....	111
4.1.1.8.3 Métodos de sostenimiento propuesto por el SMR.....	112
4.1.1.8.4 Herramienta SMRTool.....	113
CAPÍTULO 5.....	115
5.CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	115
5.1 Identificación del afloramiento.....	115
5.2 Levantamiento topográfico.....	115
5.3 Toma de datos y análisis geotécnico en el afloramiento.....	117
5.3.1 Litología.....	117
5.3.2 Número y orientación de familia de discontinuidades.....	120
5.3.3 RQD.....	122
5.3.4 Abertura.....	123
5.3.5 Forma y rugosidad.....	124
5.3.6 Relleno.....	124
5.3.7 Resistencia.....	125
5.3.8 Meteorización.....	126
5.3.9 Continuidad.....	126

5.3.10 Filtraciones.....	126
5.4 Clasificación del Macizo Rocoso.....	127
5.4.1 Clasificación Geomecánica del afloramiento.....	127
5.4.2 Clasificación SMR	128
CAPÍTULO 6.....	133
6. DISEÑO DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD DEL MACIZO ROCOSO EN EL ÁREA DE ESTUDIO DEL SECTOR 9 DE OCTUBRE DE LA PARROQUIA ANCONCITO.....	133
6.1 Medidas de estabilización	133
6.1.1 Métodos de estabilización.....	133
6.1.2 Métodos de estabilización recomendado en el sitio de estudio.....	134
CAPÍTULO 7.....	140
7.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	140
7.1 Conclusiones.....	141
7.2 Recomendaciones.....	142
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA	142
ANEXOS	144
SIMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	153
GLOSARIO.....	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Datos geológicos y sismotectónicos en el Ecuador.....	29
Tabla 2.2 Terremotos más potentes que han afectado a Ecuador.....	29
Tabla 3.1 Coordenadas del sitio de estudio.....	44
Tabla 3.2 Temperaturas promedios de la parroquia Anconcito.....	46
Tabla 3.3 Datos de TSM.....	48
Tabla 3.4 Datos del viento del 2018.....	50
Tabla 3.5 Altura de marea.....	51
Tabla 4.1 Escala de meteorización de las rocas sedimentarias lutríticas.....	69
Tabla 4.2 Grado de meteorización de los labios de las discontinuidades.....	70
Tabla 4.3 Valoración del Grado de meteorización (Bieniawski, 1989).....	70
Tabla 4.4 Identificación de los suelos cohesivos.....	72
Tabla 4.5 Resultados de la resistencia por el ensayo de rebote.....	75
Tabla 4.6 Clasificación y valoración de Bieniawski de la calidad de macizo rocoso según el Índice RQD.....	77
Tabla 4.7 Clasificación y valoración Bieniawski de la resistencia de la roca.....	78
Tabla 4.8 Clasificación y valoración de Bieniawski de las continuidades.....	82
Tabla 4.9 Clasificación del tamaño del macizo rocoso según el número de discontinuidades.....	89
Tabla 4.10 Clasificación de espaciado y valoración de Bieniawski.....	94
Tabla 4.11 Persistencia de discontinuidades según sus longitudes.....	95
Tabla 4.12 Escala de Rugosidad.....	96
Tabla 4.13 Descripción y valoración Bieniawski de la rugosidad.....	97
Tabla 4.14 Descripción y valoración Bieniawski de las aberturas.....	99
Tabla 4.15 Escala Modificada de Wentworth.....	100
Tabla 4.16 Descripción y valoración Bieniawski del relleno.....	101
Tabla 4.17 Descripción y valoración Bieniawski de la presencia de agua.....	102
Tabla 4.18 Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).....	104
Tabla 4.19 Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR.....	105
Tabla 4.20 Valores del SMR para cada tipo de rotura.....	111
Tabla 4.21 Clases de inestabilidad según el SMR.....	111
Tabla 4.22 Medidas de corrección de taludes en roca.....	112

Tabla 5.1 Datos del área de estudio ESTACION 0+350.00.....	117
Tabla 5.2 Datos estructurales de discontinuidades.....	122
Tabla 5.3 Conteo de fracturas y clasificación del tamaño del macizo rocoso según el número de familia de discontinuidades.....	123
Tabla 5.4 Valores de aberturas mediante las discontinuidades.....	123
Tabla 5.5 Valores de forma y rugosidad de las discontinuidades.....	124
Tabla 5.6 Relleno en las discontinuidades.....	125
Tabla 5.7 Valores de la resistencia por el ensayo de rebote.....	125
Tabla 5.8 Grado de meteorización.....	126
Tabla 5.9 Parámetros de Macizo Rocosos.....	127
Tabla 5.10 Análisis de estabilidad - familia 1.....	129
Tabla 5.11 Análisis de estabilidad - familia 2.....	130
Tabla 5.12 Análisis de estabilidad - familia 3.....	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Inicio de precipitación.....	15
Figura 2.2 Precipitación máxima.....	15
Figura 2.3 Precipitación posterior.....	16
Figura 2.4 Caídos de roca relacionados con la erosión diferencial en el talud en corte de una vía.....	19
Figura 2.5 Esquema general de una cárcava de erosión.....	20
Figura 2.6 Formación de una cárcava de erosión en la entrega de una alcantarilla en una carretera.....	20
Figura 2.7 Proceso de falla de un tañud por erosión marina.....	21
Figura 2.8 Deslizamientos relacionados con el flujo interno del agua y la erosión interna.....	21
Figura 2.9 Formación de cárcava de erosión por drenaje deficiente en una vía.....	22
Figura 2.10 Erosión por afloramiento de agua subterránea.....	22
Figura 2.11 Fallas de rellenos en vías.....	23
Figura 2.12 Deslizamiento de la presa de San Fernando en California en 1971. (Seed y Harder, 1990).....	24
Figura 2.13 Evolución neodinámica de los Andes.....	25
Figura 2.14 Mapa sismotectónico del Ecuador.....	27
Figura 2.15 Deslizamiento progresivo en el sismo de Alaska de 1967. (Seed y Wilson, 1967).....	31
Figura 2.16 Fallas en los cortes de vías u obras lineales.....	32
Figura 2.17 Deslizamiento rotacional.....	32
Figura 2.18 Mapas de antiguas masas continentales.....	35
Figura 2.19 Distribución de los continentes.	35
Figura 2.20 Límites de África y América.....	36
Figura 3.21 Registros geológicos provocados por la glaciación de Gondwana.....	36
Figura 2.22 Subducción entre placas Nazca y Sudamericana.....	37
Figura 2.23 Área del Ecuador con sus fallas principales y ambiente tectónico.....	37

Figura 2.24 Soluciones para mecanismos focales de terremotos.....	38
Figura 2.25 Corrientes convectivas del magma.....	38
Figura 2.26 Tipos de esfuerzo.....	39
Figura 2.27 Tipos de fallas.....	39
Figura 2.28 Plano de falla normal.....	39
Figura 2.29 Diferentes fallas normales.	40
Figura 2.30 Plano de falla inversa.	40
Figura 2.31 Diferentes fallas inversas.....	41
Figura 3.1 Mapa político del Ecuador	42
Figura 3.2 Mapa de los cantones de la península de Santa Elena	43
Figura 3.3 Sitio de estudio y condiciones del terreno.....	43
Figura 3.4 Sitio de estudio en la parroquia Anconcito.....	44
Figura 3.5 Clasificación Climática Koppen.....	45
Figura 3.6 Temperatura promedio – nov.2018.....	47
Figura 3.7 Temperatura promedio – dic.2018.....	47
Figura 3.8 Temperatura promedio – enero 2019.....	47
Figura 3.9 Temperatura promedio – Feb. 2019.....	47
Figura 3.10 Temperatura promedio – marzo 2019.....	48
Figura 3.11 Temperatura promedio – abril 2019.....	48
Figura 3.12 Mapa de isoyetas de Anconcito.....	49
Figura 3.13 Rosa del viento.....	49
Figura 3.14 Promedio del viento en el mar.....	50
Figura 3.15 Mapa geológico con escala 1:2'000.000.....	56
Figura 3.16 Descripción geológica.....	57
Figura 3.17 Mapa geológico del cantón Salinas.....	57
Figura 3.18 Tipos de fallas locales.....	64
Figura 3.19 Mapa geológico de la península de Santa Elena.....	64
Figura 4.1 Martillo de Schmidt y sus componentes (sección longitudinal)....	73
Figura 4.2 Gráfico de Miller	73
Figura 4.3 Funcionamiento general del martillo Schmidt (Malhotra y Cancino, 2004).....	74
Figura 4.4 Ubicación de los puntos 1, 2 y 3 donde se realizó el ensayo de rebote en el sector 9 de Octubre.	75

Figura 4.5 Ubicación de los puntos 4, 5 y 6 donde se realizó el ensayo de rebote en el sector 9 de Octubre.	76
Figura 4.6 Ensayo de rebote con el martillo de Schmidt en el sector 9 de Octubre.....	76
Figura 4.7 Valor del número de rebotes obtenido in situ.	76
Figura 4.8 Orientación de una discontinuidad.....	80
Figura 4.9 Ondulación.....	83
Figura 4.10 Apertura de la roca.....	83
Figura 4.11 Familia de discontinuidades.....	88
Figura 4.12 Determinación del espacio en discontinuidades.....	94
Figura 4.13 Tamaño de discontinuidades.	95
Figura 4.14 Lámina de la escala de rugosidad.....	97
Figura 4.15 Esquemas de campo.	99
Figura 4.16 Ejemplos de clases de macizos rocoso.....	106
Figura 4.17 Hoja de cálculo SMR.....	114
Figura 5.1 Levantamiento topográfico en el sector 9 de Octubre.....	116
Figura 5.2 Distribución de estaciones para la obtención de perfiles.....	116
Figura 5.3 Afloramiento donde se obtuvieron los datos para realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso.....	118
Figura 5.4 Columna lito-estratigráfica de la zona de estudio.....	119
Figura 5.5 Familia 1.....	120
Figura 5.6 Familia 2.....	121
Figura 5.7 Familia 3.....	121
Figura 5.8 SMR Familia 1.....	129
Figura 5.9 SMR Familia 2.....	130
Figura 5.10 SMR Familia 3.....	131
Figura 6.1 Muro de gavión.....	135
Figura 6.2 Esquema de gavión.....	135
Figura 6.3 Estabilización de un talud mediante escollera.....	136

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA: “ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES A PARTIR DE LA EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO EN ANCONCITO, PROVINCIA SANTA ELENA”

Autores: Manrique Muñoz Vania Lorena
Tigrero Rodríguez Paola de los Ángeles

Tutor: MSc, Ing. Gastón Proaño Cadena

RESUMEN

El objeto de la presente tesis es analizar la estabilidad del macizo rocoso en el barrio 9 de Octubre aledaño al sector del puerto Anconcito, en una extensión perimetral de 60.78ml. Estimándose un área de estudio aproximada de 224.70 m².

“La erosión marina y el sucesivo deslizamiento del estrato rocoso originan inestabilidad del estrato rocoso a través de planos de fallas lístricas ocasionadas por fallas geológicas de tipo normal”. (Chunga, 2009).

Estos deslizamientos y desprendimientos de estratos rocosos afectan directamente al sector del puerto Anconcito, destruyendo en ocasiones redes eléctricas, caminos vecinales y viviendas.

Este talud tiene una tasa de velocidad de deslizamiento continua, la misma que incrementada por factores tales como, las altas precipitaciones durante la estación lluviosa, la alta posibilidad de que ocurran terremotos locales de magnitudes mayor a Mw=5, o las amplificaciones de ondas sísmicas provocadas por terremotos lejanos con magnitudes mayores de Mw>7 como el terremoto en la ciudad de Pedernales en el año 2016.

El perfil costero del sector del puerto de Anconcito está en constante cambio, por lo tanto, requiere ser motivo de un profundo análisis, que permita determinar técnicas adecuadas para la recuperación de zona de playa, y la estabilización de taludes que contribuyan a la disminución de continuos

deslizamientos y/o desprendimientos de rocas, particularmente en el sector 9 de Octubre.

Palabras Claves: Geología, socavación, acantilado, deslizamientos de tierra, estratigrafía, terremotos, ingeniería sísmica, estabilización de suelos.

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

THEME: “ANALYSIS OF STABILITY OF SLOPES FROM THE GEOMECHANICAL EVALUATION OF THE ROCKY MACIZO IN ANCONCITO, PROVINCE SANTA ELENA”

Authors: Manrique Muñoz Vania Lorena
Tigrero Rodríguez Paola de los Ángeles

Tutor: MSc, Ing. Gastón Proaño Cadena

ABSTRACT

The object of the present study will be the neighborhood on bordering October 9 to the sector of the Port Anconcito, in an extension perimetral of 60.78ml. There being estimated an approximate area of study of 224.70 m².

“The erosion marinades and the successive slide of the rocky stratum they originate instability of the rocky stratum across planes of faults lístricas caused by geological faults of normal type” (Chunga, 2009).

These slides and detachments of rocky strata concern directly the sector of the port Anconcito, destroying in occasions electrical networks, local ways and housings.

The speed rate of slides of masses of land can be increased by such factors as, the high rainfalls during the phenomenon of the child, the high possibility that there happen local earthquakes of moderate magnitudes Mw=5, or the amplifications of shock waves provoked by distant earthquakes with major magnitudes of Mw>7 in 2006.

The coastal profile of the sector of the Port Anconcito, must be a motive of a deep analysis, which allows to determine technologies adapted for the recovery of beach zone, and the stabilization of banks that allow the decrease of continuous slides and / or rock falls.

***Key words: Geologyl, socavation, cliff, land sliding, stratigraphy,
earthquakes, seism engineering, soil stabilization.***

INTRODUCCIÓN

El macizo rocoso se define como un conjunto de materiales rocosos que se presenta en la naturaleza y en todo tipo de ambientes geológicos, que están afectados por planos de discontinuidades o planos de debilidad que separan los bloques de la matriz rocosa. Ambos conjuntos, tanto la matriz rocosa y las discontinuidades conforman el macizo rocoso. Un macizo rocoso es un medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo conformado en conjunto tanto por bloques de matriz rocosa y distintos tipos de discontinuidades que afectan al medio rocoso. El conjunto de discontinuidades y los bloques de matriz rocosa, gobiernan el comportamiento mecánico global de macizo rocoso, es así, que para el estudio del comportamiento mecánico de un macizo rocoso se debe analizar las propiedades de la matriz rocosa y de sus discontinuidades. Por lo tanto, el estudio de los macizos rocosos es indispensable mediante la determinación de su comportamiento apoyado por la mecánica de rocas.

En base a trabajos de campos, se sustentará el análisis in situ de ciertos parámetros geomecánicos, los cuales ayudarán en la definición global con el comportamiento del macizo rocoso, y así determinar el comportamiento geomecánico y la calidad del macizo rocoso en el sector 9 de Octubre de Anconcito donde se desarrolla la presente tesis.

Los desprendimientos o deslizamientos de los macizos rocosos, tienden a ser dinamizados por las corrientes de agua originadas ya sea por lluvias o por el oleaje que golpea el pie del talud; el mismo que con el transcurrir de los años, va produciendo el desprendimiento del suelo fértil, y ponen en peligro toda estructura o infraestructura ubicada dentro de la zona afectada. Este proceso es también llamado erosión, y para evitar su avance, es necesario ejecutar la estabilización de taludes; con esto se disminuye el riesgo presente y se disminuye el peligro de pérdidas materiales o humanas que este tipo de riesgos generan.

En el sector 9 de Octubre de Anconcito el macizo ha sido afectado por trabajos antrópicos y el impacto por agentes exógenos, siendo el más frecuente la erosión del pie del talud debido al trabajo de las olas actuales.

Los tipos de discontinuidades, las zonas críticas del talud y las respectivas familias, se detalla en el capítulo 4 en base al trabajo de campo realizado.

CAPÍTULO 1

MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

En la superficie de la tierra, todo terreno que tiene una pendiente distinta a la línea horizontal posee de un talud. Los taludes se caracterizan por tener formas, alturas, tipo de material y discontinuidades que controlan la estabilidad.

Los taludes en macizo rocoso suelen encontrarse en muchas obras de ingeniería civil, así como también en obras de minería. La ingeniería de taludes rocosos en la actualidad representa uno de los campos de estudio más importante en obras que se vinculan a la ingeniería civil. El análisis de estabilidad de un talud es un aspecto importante en la geotecnia ya que esta permite su construcción de forma segura, de acuerdo a su geometría y tipo de material, ya sean estos taludes permanentes o temporales.

Para diseñar un talud y garantizar que sea estable, se debe aplicar conocimientos de las áreas como geología, hidrogeología, geotecnia y mecánica de rocas, que puedan inferirse del material que conforma el talud; para esto se asignará la metodología basada en el diseño de estabilidad de talud mediante protección para la defensa litoral.

Las discontinuidades del macizo rocoso y la afectación por fallas geológicas, son parámetros que se utiliza en la evaluación geomecánica del macizo rocoso como parte de la investigación realizada en esta tesis.

El ángulo de inclinación de un talud es otro de los parámetros geométricos básicos el mismo que permite definir la superficie exterior que tendrá el talud. El ángulo de inclinación estará en función de la resistencia a la compresión del material que conforma el talud, por tanto, es importante determinar el tipo de roca y las afectaciones que tendría la misma para poder estimar en buena forma los parámetros de resistencia a la compresión

C y ϕ del macizo rocoso. Los factores geológicos como la presencia de planos de estratificación, zonas de debilidad y anisotropía presente en el macizo rocoso que conforma el talud; permiten complementar y establecer con los criterios geotécnicos, el comportamiento mecánico del macizo rocoso que permita obtener parámetros para establecer su estabilidad en el tiempo.

Entre los factores básicos a contemplar en la evaluación del macizo rocoso, se considera el factor medioambiental que tiene como elementos al clima e hidrogeología, así como las acciones de las olas y corrientes marinas, influencia del flujo subterráneo, precipitaciones, grado de humedad o desecación de los materiales registrados.

En esta tesis estudiamos varios parámetros existentes en los macizos rocosos, siendo el elemento principal su estructura geológica, registros y grados de fracturación, estado de las superficies de discontinuidad, estado de superficie de ruptura, entre otros.

Dichos elementos son conocidos como condicionantes porque dependen del material del terreno, también denominados factores pasivos, y los elementos externos son denominados factores activos los cuales son las fuerzas externas provocadas por el hombre o medio ambiental, que modifican las características y propiedades del macizo rocoso y condicionan el equilibrio del talud.

La estratigrafía y litología del macizo rocoso son otras propiedades que condicionan la estabilidad del material del talud junto con su alternancia. La geometría del talud debe garantizar un equilibrio de masas o de volúmenes de talud que asegure obtener un adecuado factor de seguridad en conformidad con los criterios y normativas requeridos para evaluar la estabilidad del talud. También es conveniente lograr bajar la velocidad de la escorrentía del agua sobre el talud, para que la fuerza del agua en movimiento no sea capaz de generar erosión de la superficie del talud. Para lograr la determinación de la estabilidad de los taludes, se debe analizar en detalle, las condiciones de litología, estructura y meteorización de los materiales que conforman el talud, esta de conformidad con el modelo geológico que es el modelo aplicado en la presente tesis.

El suelo y las rocas son materiales extremadamente variables y heterogéneos, que tienden a sufrir alteraciones con el tiempo. Tal es el caso de los asentamientos y la meteorización de la roca del perfil costero del macizo rocoso que hay en el sector 9 de Octubre de Anconcito; los mismos que han sido afectados por varios años presentando diferentes cambios al que tenían tiempo atrás, estos cambios han sido provocados por la combinación de fenómenos tales como las variaciones del nivel del mar y cambios tectónicos de alzamiento y subsidencia a lo largo de la costa originando así las terrazas marinas.

En el caso de los suelos residuales, por la presencia de discontinuidades estructurales, son los que generan dificultad de manejo. En esta tesis se evalúa el efecto que tienen sobre los análisis de estabilidad, la incertidumbre existente en la determinación de los parámetros geomecánicos tomando como caso de estudio un talud en macizo rocoso del sitio evaluado.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad, los problemas de estabilidad de taludes, tanto los construidos por el hombre como los naturales, han sido motivo de análisis en distintos ámbitos de la actividad humana y en especial en la ingeniería civil. El incremento masivo de construcciones de obras civiles como carreteras, autopistas, puerto pesquero, desarrollo de áreas urbanas, etc., inciden a la alteración constante de la superficie natural del terreno. Cualquier construcción que requiera de superficies planas en zonas donde involucre cambio de pendientes, necesita implementar un estudio y análisis de la estabilización de los taludes que se deban construir.

Por lo regular, los taludes en ingeniería civil de acuerdo a su relación altura-inclinación deben ser proyectados a ser estables a largo plazo.

Existen varios factores que implican la problemática en los taludes del macizo rocoso existentes en la parroquia Anconcito, tal es el caso como el inadecuado asentamiento poblacional, ya que los mismos no implementan sistemas apropiados para la evacuación de agua natural (drenaje) como residual.

Otro factor que genera riesgo es la infiltración del agua en el suelo del talud puesto que no hay un sistema completo de red de alcantarillado en el sector a analizar. La degradación superficial dada por los agentes atmosféricos como la precipitación, viento, temperatura, humedad, etc. influyen también negativamente en la estabilidad del talud. De estos el agua superficial puede generar erosión del material rocoso.

La disposición y frecuencia de las superficies de discontinuidad y el grado de fracturación, en materiales blandos, así como la litología y el grado de alteración juegan un papel predominante en la evaluación de macizos rocosos, siendo estos los principales factores condicionantes de la estructura geológica del macizo.

Estos factores externos actúan sobre el macizo rocoso alterando sus propiedades y características, como también las condiciones de equilibrio del talud natural y el construido por el hombre.

Para el sector 9 de Octubre, dichos factores permitirán modelar su comportamiento, de tal forma que se establezca su tipo de deslizamiento y determine un correcto análisis del talud. La evaluación del macizo rocoso permite analizar la estabilidad del talud, así como también proponer un procedimiento de estabilización, mediante el uso de materiales de fácil colocación y bajo costo como es el método constructivo de gaviones.

1.3 Formulación del problema

Como problemática ante la estabilización de talud, nos enfocamos en el análisis geológico - geotécnico del macizo que se encuentra en el área del barrio 9 de Octubre del sector Puerto Pesquero de la Parroquia Anconcito del Cantón Salinas - Provincia de Santa Elena, se necesita el estudio pertinente de las características geomecánicas de las rocas con el propósito de darle el uso correcto a la estabilización del talud inestable que existe en este sitio, teniendo en cuenta el análisis previo para cumplir con una mayor seguridad con el fin de que éste disminuya el riesgo de falla.

Puesto que se han registrado varias presencias de deslizamientos; tal es el caso del primer deslizamiento asentado por el Análisis estructural de fallas

geológicas y potenciales deslizamientos en Anconcito, provincia de Santa Elena, donde el Ing. Kervin Chunga detalla los hechos suscitado el 12 de Agosto de 2010 y el 7 de Abril de 2011 en el que se produjo deslizamientos y desprendimientos de estratos rocosos, afectando al sector 2 de Febrero en donde se destruyeron redes eléctricas, camino vecinal y viviendas. De igual modo, el pasado 7 de Marzo del 2017 existió presencia de deslizamiento provocando la pérdida de masa del suelo que constituía parte de la carretera principal de acceso al puerto pesquero, provocando así el cierre de la vía, y poniendo en riesgo las viviendas aledañas al área de influencia directa y ser arrastradas por el deslizamiento; viéndose así también afectado económicamente el sector pesquero para la transportación de sus productos.

Se incluye como problemática en esta tesis la falta de los procedimientos que se aplican para el estudio del macizo rocoso puesto que estos no son diferenciados geomecánicamente, lo que en muchas ocasiones causan soluciones incorrectas, gastos innecesarios y riesgos en la seguridad laboral.

Para garantizar la seguridad y a su vez la estabilidad del talud, deben realizarse estudios con modelos probabilísticos del macizo rocoso con la finalidad de conocer cuáles son las características que posee, adicionar más datos geológicos y físico-mecánicos para determinar cuál será su comportamiento geomecánico de este macizo, los cuales ofrecen que los resultados obtenidos en esta investigación sean utilizados en la construcción de obras de estabilización.

1.4 Justificación del tema

La investigación de la estabilidad del macizo rocoso del sector 9 de Octubre en Anconcito está justificada por las premisas anteriores, puesto que el desconocimiento de los factores que condicionan las inestabilidades y/o causan los movimientos de masa trae como consecuencia no tomar las medidas correctas de prevención y corrección en los taludes afectados por los deslizamientos, manteniéndose latente los riesgos sobre los asentamientos, el sector comercial pesquero y trabajadores, además de contribuir al deterioro del entorno, perjudicando principalmente al turismo.

De tal manera esta investigación es importante y necesaria para obtener conocimientos plenos del terreno sobre el cual se desea ejecutar trabajos de ingeniería, tanto espigones adherentes como paralelos, para proteger la vía de acceso al puerto pesquero.

El llevar a cabo el presente estudio no es ajeno a lo descrito y se sustenta en que para el caso particular del diseño de labores superficiales (taludes); es necesario realizar una clasificación geomecánica (basándonos en los parámetros obtenidos de la caracterización del macizo); y según los resultados obtenidos aplicar el mejor análisis de estabilización de taludes para anticiparse al comportamiento que tendrán las actividades mencionadas y de esa manera aportar información valiosa para el diseño óptimo que minimice cualquier riesgo de inestabilidad que pueda presentarse.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Evaluar la estabilidad del talud ubicado en el barrio 9 de Octubre del sector Puerto Pesquero de la Parroquia Anconcito del Cantón Salinas - Provincia de Santa Elena, partiendo de un análisis geomecánico del estrato rocoso existente en la zona del estudio, delineando zonas críticas y propuesta de un diseño de estabilidad, para que implementen obras necesarias a fin de evitar desgracias y pérdidas mayores.

1.5.2 Objetivos específicos

- Evaluar estructuralmente al macizo rocoso, mediante el análisis geológico - geotécnico.
- Identificar los factores condicionantes y desencadenantes ya sean factores sísmicos, climáticos u oceanográficos, que tienen mayor influencia en la alterabilidad del material rocoso que conforma el talud, incluyendo su estabilidad.
- Proponer un sistema constructivo adecuado de la solución o mejora del talud objeto del presente estudio.

1.6 Hipótesis

Se pretende mediante el estudio geotécnico a realizarse en el macizo rocoso obtener los datos correctos sobre las propiedades del terreno y sus características geomecánicas. Conociendo la información y los parámetros requeridos para el adecuado método probabilístico mediante el análisis geológico – geotécnico enfocados al tema; se aspira mejorar el comportamiento y la resistencia del mismo, evitando con esto fallas y deslizamientos a futuro en presencia de fenómenos naturales que pudiesen afectar al macizo rocoso.

1.7 Metodología y estructura del trabajo

Para efectuar la tarea planteada se emplea una metodología integral de investigación que consta de trabajos analíticos y experimentales. La metodología que se desarrolla puede ser aplicada en la caracterización geomecánica de macizos rocosos.

Para el desarrollo de la tesis se planificó cuatro etapas de trabajo. A continuación, se describen las etapas de trabajo detalladamente.

Primera etapa:

En esta etapa se realizó la investigación bibliográfica sobre el tema, en la que se analiza el estado actual de estudio en el sector 9 de Octubre delimitando el área específica de la presente investigación; que está condicionado por la existencia del talud de alta pendiente y el criterio de implementación en macizos de rocas sedimentarias y comportamiento geomecánico mediante el registro de datos en el campo.

Segunda etapa:

Se realizó la parte experimental de la investigación, que permitió obtener los datos necesarios, para realizar la caracterización geomecánica. Incluyendo los siguientes aspectos:

1. Estudio y evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas del macizo rocoso mediante el método probabilístico. Para el empleo de las metodologías geológicas, se practica la proyección estereográfica

y el ensayo de resistencia a la compresión del macizo rocoso, consiguiendo las características del mismo. Usar en los casos necesarios la determinación complementaria de las propiedades físico-mecánicas de las rocas. Se da uso a la aplicación Rock Mass Rating – Slope Mass Rating.

Mediante el levantamiento geológico se analizó el estudio del fracturamiento del macizo rocoso, donde se incluye todas las superficies de debilitamiento presentes en los mismos. Se determinó parámetros como la abertura de las grietas, su espaciamiento, rugosidad, alteración, dirección, ángulos de buzamientos, grado de meteorización, entre otros aspectos.

2. Se determinó las causas tales como las geológicas, sísmicas, oceanográficas principales que afectan la estabilidad del macizo rocoso, así como el mecanismo que activan su potencial inestabilidad.

Tercera etapa:

Teniendo como base los resultados obtenidos de la caracterización del macizo rocoso se seleccionan criterios geomecánicos-estructurales para el análisis de estabilidad de taludes. Con el mapa lito estratigráfico, se determina los parámetros para su respectiva caracterización y así evidenciar la comparación de este método geológico y la proyección estereográfica, para así partir del valor RMR y obtener la clasificación geomecánica SRM, con la finalidad de adaptarla al uso de taludes. En base al estudio, análisis y evaluación geomecánica del macizo rocoso, se propone la metodología de estabilización de espigones adherentes y paralelos, aplicando criterios geológicos - geomecánicos de base naturalista.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Terminología en el análisis de estabilidad de talud

2.1.1 Causas de Inestabilidad

Son diversos los factores que actúan como desencadenantes para la inestabilidad del talud que estudia esta tesis, ya que intervienen en el sector 9 de octubre de la parroquia Anconcito factores geológicos como el exógenos, endógenos; a su vez los de ambientes artificiales, la variación del nivel freático, la geometría y sobrecargas.

Los factores exógenos son los procesos de origen externo o aquellos que se obtiene su energía por fuentes externas de la Tierra, tal es el caso del efecto del sol: que produce el calentamiento diferencial de la atmósfera teniendo lugar la diferencia de las presiones, que impulsa el ciclo hidrológico que compromete la transferencia de la humedad de los cuerpos del agua a la atmósfera terrestre y nuevamente al océano, etc. A su vez intervienen los agentes externos como el agua y sus corrientes, las olas, el viento, la intemperie y el agua subterránea.

Tienden a suprimir todo desnivel en la superficie de la Tierra los procesos exógenos. La presencia de la erosión, la deposición desigual y el movimiento de la corteza son desarrollados por la desigualdad de la superficie.

También existe la superficie nivelada, el cual es el proceso en donde se suprimen las irregularidades superficiales de la Tierra, a dicho efecto se lo denomina como gradación. Este proceso es guiado por la gravedad, y se desarrollan en dos categorías: degradación y agradación.

Degradación. – Proceso en el que el material de las tierras altas es eliminado por los agentes geomorfológicos dando a lugar la reducción de la altitud, esto es lleva a cabo mediante la erosión, la resistencia a la intemperie y el desperdicio de masa.

Agradación. – Proceso de deposición de sedimentos. Cuando las condiciones son favorables, los agentes de transporte pierden su poder de transporte, dichos materiales que son transportados se depositan ya sea en la tierra, o en el mar como es el caso del talud analizado en esta tesis.

Por consiguiente, aquellos que se rellenan gradualmente con deposiciones de sedimentos en los tramos bajos son mediante el agua subterránea, la corriente del agua, las olas, el viento, marea, etc.

Los factores endógenos o también conocidos como hipogénicos son el sistema en el que se reconoce su origen en el interior del planeta (dentro de la corteza terrestre) ya sean estos causados por temperaturas extremas y las altas presiones allí producidas, dando al caso los plegamientos, el vulcanismo y las fallas ocasionadas por las presiones internas de la deriva continental. Las fuerzas que producen los procesos endógenos son los causados por fuerzas del interior de la Tierra, tanto de arriba como de debajo de la superficie de la misma.

A esto se debe la presencia de fenómenos como los terremotos, el surgimiento y existencia de continentes, valles oceánicos, metamorfismo de rocas preexistentes, el desplazamiento y la deformación de la corteza terrestre ya sea horizontal o verticalmente, entre otros.

Las principales características que tienen los relieves son resultados de los procesos endógenos, y estos son causados por la energía térmica principalmente de la corteza. Dicha energía proviene de la desintegración de elementos radiactivos y la diferencia de la gravedad, por ello se desarrollan los terremotos, movimientos tectónicos y vulcanismo.

Los factores del ambiente artificial son los que han sido creados o provocados por el hombre, ya sean por el incremento de la población, la basura, pesca irresponsable, el incremento de la población, la contaminación ya sea del aire como la del agua. Siendo estos los factores predominantes que interviene a que la estabilización del talud ubicado en el sector 9 de Octubre de la parroquia Anconcito disminuya progresivamente.

La variación del nivel freático dados por situaciones estacionales o diversas obras realizadas por el hombre también infiere como factor en la inestabilidad del talud.

La inestabilidad del talud también tiene como otro factor a la geometría del macizo rocoso, en la que involucra su altura, inclinación y orientación. En este procedimiento se incluye el análisis de las discontinuidades que tiene el macizo al ser modificada sus propiedades, lo cual provoca que este disminuya su resistencia a la roca original; y se agiliza el desencadenamiento de inestabilidades cuando el ángulo de intersección de ambas inclinaciones sea más pequeño.

Este mecanismo se verá favorecido durante la circulación de agua de infiltración por medio de las discontinuidades, que suelen presentarse durante los periodos de lluvia.

Cuando hay homogeneidad en los terrenos, cada uno de los tipos de materiales tendrá una altura crítica y un ángulo máximo, siendo aquí el punto donde ocurra un desequilibrio gravitacional, con posible rotura.

Las sobrecargas es un factor muy importante a tomar en cuenta en el análisis de estabilidad, puesto que la vía de acceso al puerto que fue construida en el sector 9 de Octubre se vio afectada, logrando con ello producir el movimiento del macizo, colapsar el talud y perder parte de la misma vía, incluyendo además los otros factores mencionados. Aquí influyó la sobrecarga en la parte superior, situación que es ocasionada por la mala construcción o equívocos asentamientos por parte de la población al realizarlos en terrenos inestables.

2.1.2 Escorrentía superficial del agua lluvia

Es el producto de la precipitación de aguas lluvias que no se infiltran el terreno y se conducen hacia una red de drenaje sobre la superficie del terreno por medio de la acción gravitatoria, cabe recalcar que no todas las precipitaciones producen escorrentía ya que el almacenaje en los suelos puede absorber las ligeras lluvias.

Una de las causas de la escorrentía superficial es la erosión, existiendo algunos tipos tales como la erosión de salpicadura, erosión de lámina y erosión de barranco.

- La erosión de salpicadura da al producto de la colisión mecánica entre la superficie del suelo y una gota de lluvia, logrando así que ciertas partículas del suelo queden suspendidas en la solución del agua superficial.
- En la erosión de lámina se denomina al transporte terrestre de escorrentía que no posee un canal determinado.
- A la erosión de barranco se efectúa cuando la corriente de escorrentía es tan fuerte que corta parte del suelo y genera un pequeño riachuelo con canal bien definido; en este caso pueden ser transportadas en un diminuto espacio de tiempo las cantidades masivas.

La escorrentía lleva partículas del suelo con tamaños variables en el intervalo 0,001 mm. y 1 mm. de diámetro. Las partículas que frecuentan precipitarse o asentarse son las más grandes en pequeñas distancias de transporte, a diferencia de las partículas diminutas las cuales pueden recorrer más distancia al suspenderse en la columna del agua.

Hay circunstancias para asociar los impactos ambientales con la escorrentía, como es el caso del transporte de contaminantes sobre el agua superficial, suelo y subterránea. Dentro de los contaminantes que crean el mayor impacto sobre las aguas superficiales provenientes de la escorrentía, están las diversas sustancias que se derivan del petróleo, fertilizantes y herbicidas.

Las fases de escorrentía superficial se clasifican en:

- **Inicio de la precipitación:** Al cesar la evapotranspiración, las aguas meteóricas generadas al tiempo que el proceso de precipitación es obstruido por el suelo, la vegetación, los cuerpos de aguas superficiales y las superficies de agua libre; aquí es donde una cantidad considerable de agua se infiltra, abasteciendo la capacidad de almacenamiento provocando que el agua excedente se mueva de manera superficial en forma de escorrentía directa cuya acción alimenta la fuente de aguas superficiales.

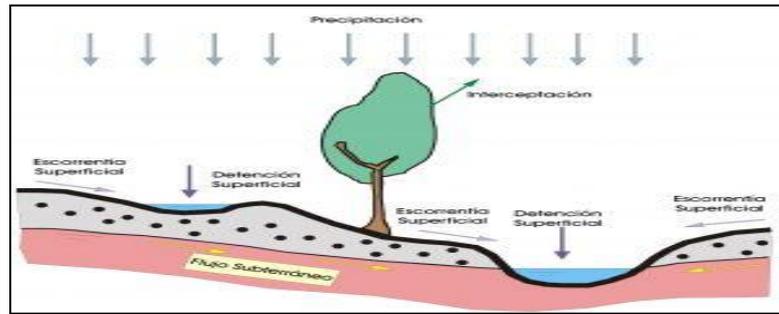


Figura 2.1.- Inicio de precipitación.

Fuente: Fibras y normas de Colombia.

Las corrientes subterráneas aportan continuamente a los flujos de agua superficial y sigue sin interrumpir el descenso de los niveles piezométricos de la capa freática tal como se indica en la figura 2.1.

- **Precipitación máxima:** Al momento que la precipitación se prolonga por cierto periodo de tiempo, se intercepta poca agua en la cubierta vegetal generando que la mayor parte de las aguas meteóricas alcancen el suelo y que a su vez las capas superficiales del mismo sean saturadas. Cuando se encuentra con el suelo saturado, cierta parte de las aguas que fueron producto de la precipitación se infiltran alimentando la escorrentía hipodérmica, originando así un aumento del nivel piezométrico. Aquellas aguas que no fueron infiltradas en el suelo producen escorrentía superficial, presentando en esta etapa su valor máximo, sin embargo, aumenta ligeramente la escorrentía subterránea.

El total de la escorrentía que fue generada en el ciclo, alcanza su valor máximo logrando el aumento en el caudal de las fuentes hídricas y aumento del recurso.

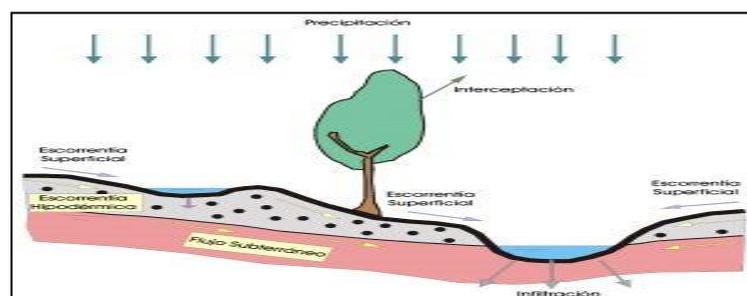


Figura 2.2.- Precipitación máxima.

Fuente: Fibras y normas de Colombia.

- **Precipitación posterior:** La escorrentía superficial desaparece inmediatamente al cesar la lluvia y se encuentran saturados de agua el suelo y el subsuelo. Donde se presentan sitios depresiones superficiales, ahí continúa la infiltración del agua, puesto que estancan el agua que alimenta tanto a la escorrentía subsuperficial, la humedad del suelo y las aguas subterráneas. Finalizando la precipitación aparecen de nuevo los procesos de evapotranspiración y el caudal que fueron alimentados por diferentes tipos de escorrentía entrando en régimen de decrecimiento.

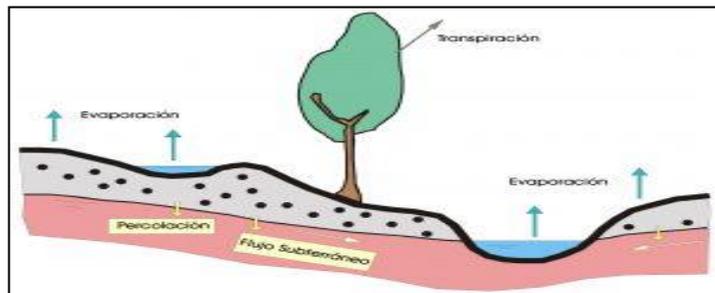


Figura 2.3.- Precipitación posterior.

Fuente: Fibras y normas de Colombia.

2.1.3 Evacuación de aguas servidas (AA.SS.)

Son aguas sucias o contaminadas correspondientes a la mezcla de desechos líquidos de viviendas, fábricas o industrias y aguas lluvias, las cuales llegan a la red de alcantarillado o en otros casos a los ríos, canales, mareas, etc.

De las aguas servidas encontramos material flotante como las grasas y aceites, también material coloidal y disuelto siendo estos sólidos en suspensión, patógenos u otras sustancias, y materiales sedimentables tal es el caso de las arenas.

El proceso de las aguas servidas colectadas en los sistemas de alcantarillados continúa al ser transportados a una planta de tratamiento para luego ser descargadas a ríos, para posteriormente tratarla y producir agua potable.

No obstante, existen descargas directas al ambiente las que provocan un serio daño ambiental desencadenando riesgos a la salud pública y en ciertos casos enfermedades.

Las aguas servidas se pueden clasificar según su cantidad y tipo de sustancias químicas que tienen, según las características del tipo bacteriológico; a su vez entre materia en suspensión, agua y materia disuelta, o el factor más conocido como es el de su procedencia.

Dichos factores los posee el sector 9 de Octubre, puesto que al pie del talud está el Puerto pesquero de Anconcito, en donde intervienen de manera directa a la estabilización del talud analizado.

Alrededor del puerto se logró inaugurar el 26 de Junio del 2014, la construcción del muelle del puerto pesquero artesanal de Anconcito, logrando con ello que el impacto de las olas y sus corrientes marinas disminuya en dicho perfil costero, incluyendo así el talud estudiado de la presente tesis.

Esto conllevó a que las corrientes del mar y sus olas ya no influyan de manera primordial en la inestabilidad del talud, puesto que la energía del mar en conjunto con sus propios factores sería disipada en el sitio, siendo el muelle el que almacene dicha energía y desprenderse de la misma sin que sufra deformaciones permanentes en el momento que cesen las fuerzas.

La parroquia Anconcito, enfocándonos directamente con el sector asignado a la tesis posee como problemática la falta de la adecuada red de alcantarillado, en la que no pueden conectarse los sistemas de aguas lluvias y aguas servidas de la población, provocando así la infiltración de las aguas residuales al suelo; y esto a su vez produce la alteración del macizo rocoso, provocando así su inestabilidad.

2.1.4 Subpresión hidráulica

El agua subterránea confinada actúa como subpresión sobre las capas impermeables, disminuyendo la resistencia al corte y ejerciendo presiones hidrostáticas sobre los contactos de cambio de permeabilidad. Estos esfuerzos de levantamiento, pueden inducir a deformaciones o rotura de los materiales y las presiones de poros disminuyen la resistencia de los suelos.

2.1.5 Erosión

Erosión superficial. - Es el desprendimiento, y depósito de partículas o masas pequeñas de suelo o roca, por la acción de las fuerzas generadas por el movimiento del agua. El flujo puede concentrarse en canales produciendo surcos y cárcavas. Las gotas de lluvia contribuyen al desprendimiento de las partículas o granos, lo cual produce sedimentación de materiales en el pie de talud. Los procesos de erosión son muy comunes en los suelos residuales poco cementados o en suelos aluviales, especialmente, en aquellos compuestos por limos y arenas finas donde la cobertura vegetal ha sido removida.

Erosión laminar. - El proceso de erosión laminar inicia por el impacto de las gotas de agua lluvia contra la superficie del suelo, complementada por la fuerza de la escorrentía que produce el lavado de la superficie del terreno como un todo, sin formar canales definidos. Al caer las gotas de lluvia, se levantan las partículas del suelo y se reparten sobre la superficie del terreno. La velocidad de las gotas de lluvia puede alcanzar valores hasta de 10 metros por segundo y su efecto es muy grande sobre las superficies expuestas y sin cobertura vegetal del talud. El proceso particularmente es grave cuando la pendiente del talud es grande, como es el caso de los taludes de cortes en obras viales. La erosión laminar en los taludes de alta pendiente puede generar procesos diferenciales de erosión, los cuales a su vez pueden activar caídos.

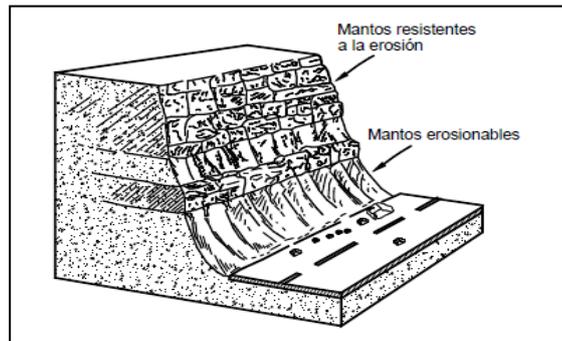


Figura 2.4.- Caídos de roca relacionados con la erosión diferencial en el talud en corte de una vía.

Fuente: Mecanismos de falla, Jaime Suárez.

Erosión en surcos. - Los surcos de erosión se forman por la concentración del flujo del agua en caminos preferenciales, éstos arrastran las partículas y dejan canales de poca profundidad, generalmente, paralelos. El agua de escorrentía fluye sobre la superficie de un talud y a su paso va levantando y arrastrando partículas de suelo, formando surcos (rills).

Los surcos forman una completa microrred de drenaje al profundizarse va capturando a los vecinos, formando surcos de mayor tamaño, los cuales a su vez, se profundizan o amplían formando cárcavas en forma de V que pueden transformarse en forma de U. inicialmente, la cárcava se profundiza hasta alcanzar una superficie de equilibrio, la cual depende de las características geológicas e hidráulicas, para luego iniciar un proceso de avance lateral mediante los deslizamientos de los taludes semiverticales, producto de la erosión.

La localización de los surcos, su profundidad y la velocidad del avance del proceso, es controlada por los fenómenos de tipo hidráulico y por la resistencia del material a la erosión. Los surcos de erosión pueden estabilizarse generalmente, con prácticas de agricultura.

Erosión en Cárcavas. - Las cárcavas constituyen el estado más avanzado de la erosión y se caracterizan por su profundidad, lo cual facilita el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos de masas de material, en los taludes de pendiente alta que conforman el perímetro de la cárcava.

Las cárcavas inicialmente tienen una sección en V, pero al encontrar un material más resistente o interceptar el nivel freático, se extienden lateralmente tomando la forma de una U, como se representa en la figura 2.5. Otro caso de cárcava que puede generar deslizamientos, se presenta en las entregas de alcantarillas como en la figura 2.6.

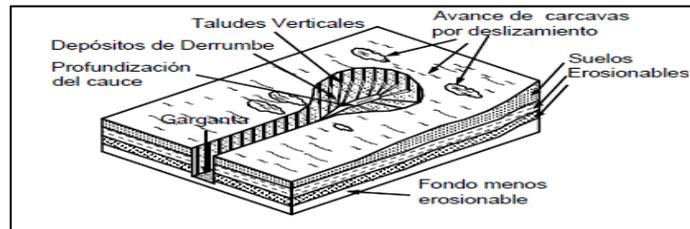


Figura 2.5.- Esquema general de una cárcava de erosión.

Fuente: Mecanismos de falla, Jaime Suárez.

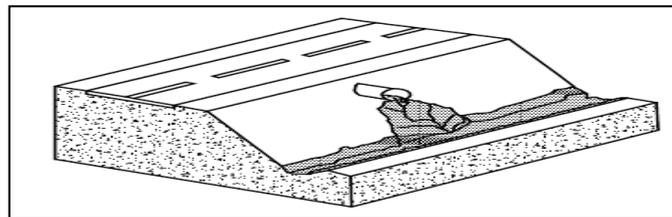


Figura 2.6.- Formación de una cárcava de erosión en la entrega de una alcantarilla en una carretera.

Fuente: Mecanismos de falla, Jaime Suárez.

Erosión en las costas.- El oleaje produce permanentemente erosión en los taludes costeros y la línea de la costa está estable en proceso de movimiento.

Las rocas más susceptibles al daño por el oleaje, son los esquistos, las lutitas, las areniscas, las limolitas y las pizarras (Cornforth, 2005). La erosión puede ser acelerada en el momento de las grandes tormentas o huracanes.

La erosión también ocurre por debajo del agua debido a las corrientes laterales. En ocasiones, se presentan grandes deslizamientos submarinos relacionados especialmente por la acción del hombre sobre el mar, en puertos, dragados, entregas de agua, etc.

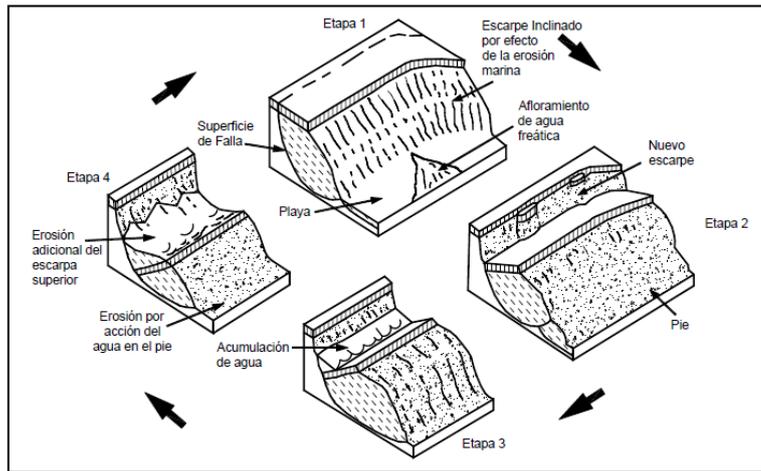


Figura 2.7.- Proceso de falla de un talud por erosión marina

Fuente: Mecanismos de falla, Jaime Suárez.

Nuestra área de estudio en el sector 9 de Octubre posee erosión litoral, lo que da a lugar la pérdida de resistencia a esta zona y a la modificación del estado tensional, lo que uniendo a la falta de apoyo del material suprayacente provocaría la inestabilidad siendo estos materiales blandos y alterables.

Erosión interna (Piping).- El agua al fluir por ductos concentrados dentro del suelo, produce erosión interna, la cual, da origen a los derrumbamientos o colapsos que pueden generar el hundimiento del terreno o la formación de una cárcava mostrada en la figura 2.8.

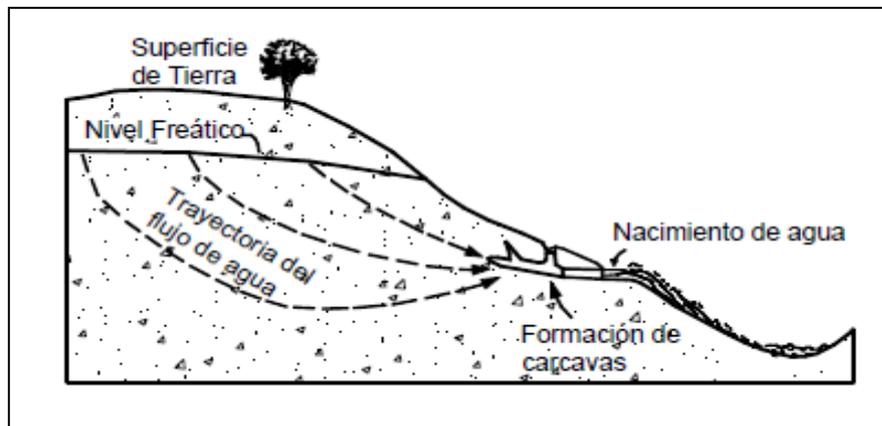


Figura 2.8.- Deslizamientos relacionados con el flujo interno del agua y la erosión interna

Fuente: Mecanismos de falla, Jaime Suárez.

Erosión por afloramiento de agua.- Se puede presentar erosión en los sitios de afloramiento de agua y formar pequeñas cavernas y/o taludes negativos, los cuales a su vez, pueden producir desprendimientos de masas de suelo. Los afloramientos pueden estar relacionados con las infiltraciones cercanas según la figura 2.9, o por presencia de los niveles freáticos de la figura 2.10.

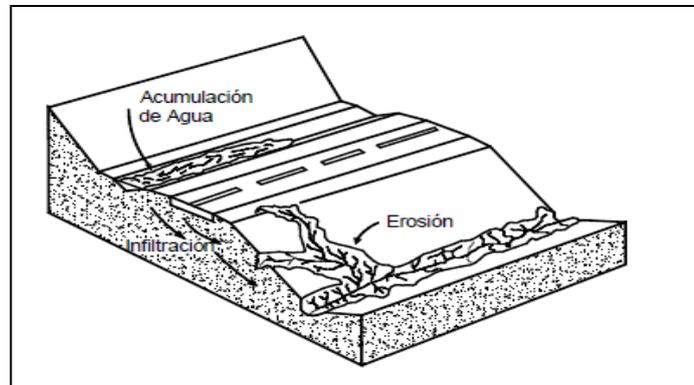


Figura 2.9.- Formación de cárcava de erosión por drenaje deficiente en una vía. El agua que se infiltra sobre la vía, genera erosión al aflorar sobre el talud debajo de la vía.

Fuente: Mecanismos de falla, Jaime Suárez.

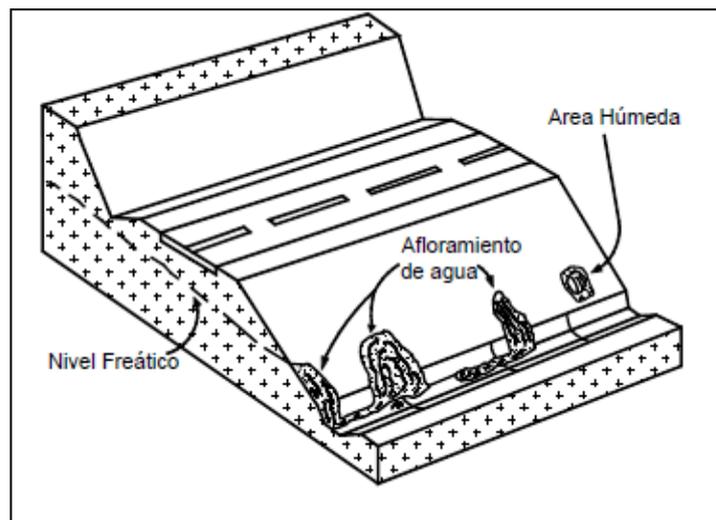


Figura 2.10.- Erosión por afloramiento de agua subterránea

Fuente: Mecanismos de falla, Jaime Suárez.

Las excavaciones para carreteras y obras de infraestructura.- La mayoría de las laderas naturales se encuentran en estado de equilibrio. La masa de la parte inferior de la ladera evita la posibilidad de movimientos. Al construir una vía, se rompe ese balance y se generan esfuerzos los cuales pueden

producir una falla de deslizamiento o de un deterioro de las condiciones de estabilidad, lo cual facilita la falla al infiltrarse el agua de las lluvias o al presentarse un sismo en el talud.

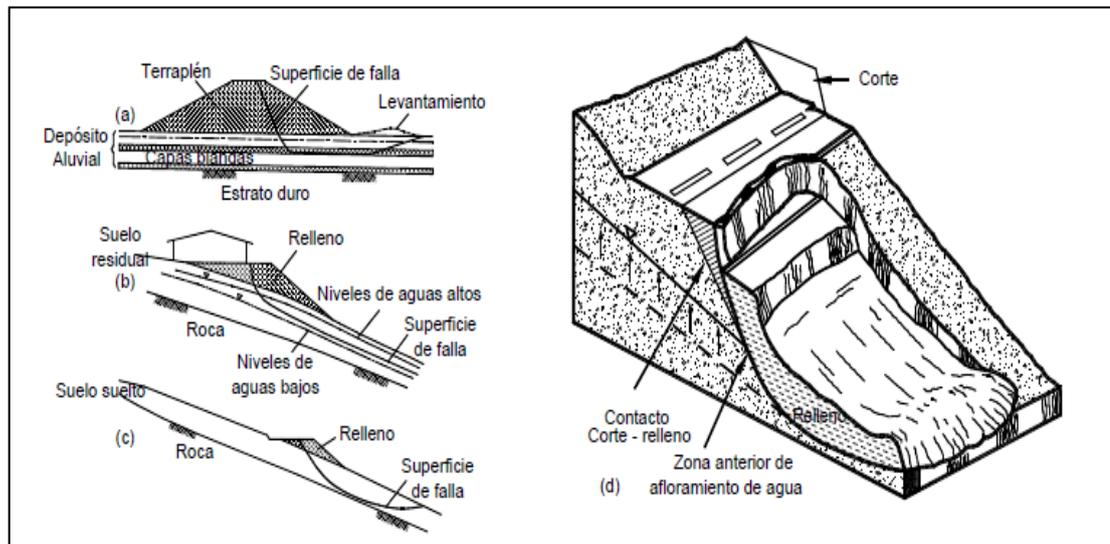


Figura 2.11.- Fallas de rellenos en vías

Fuente: Mecanismos de falla, Jaime Suárez.

En la sección 'a' de la figura 2.11 muestra la falla por capacidad de soporte, mientras que en la 'b' y 'c' representa el deslizamiento por aumento de esfuerzos, mientras que la gráfica 'd' indica el aumento de presión de poros por taponamiento de las corrientes de aguas subterránea.

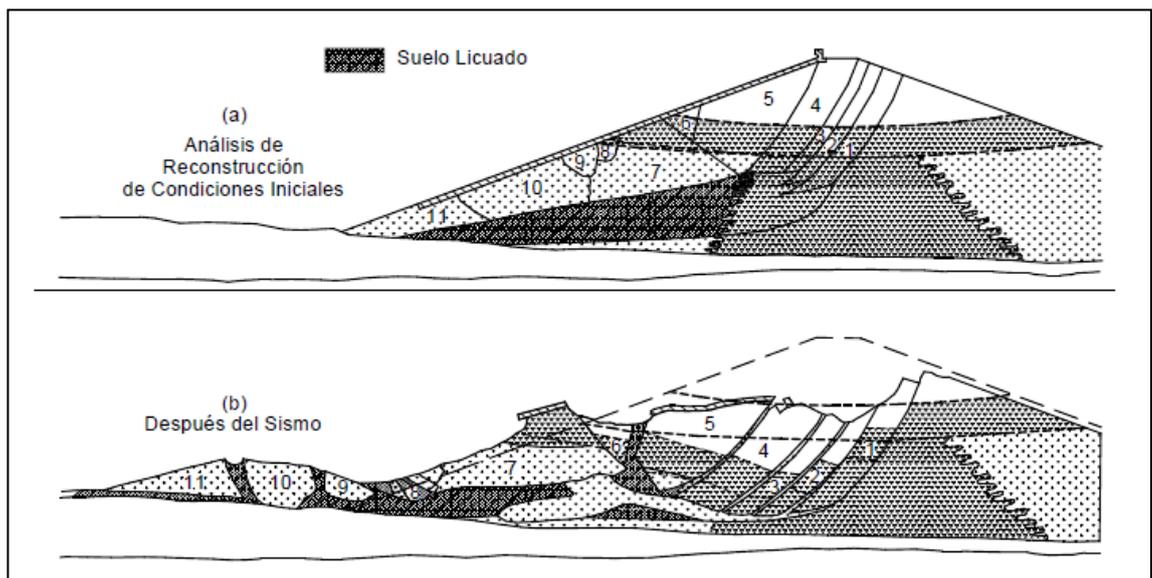
Entre los casos más comunes de deslizamientos, se encuentran los cortes en coluviones o talud, en esquistos y en lutitas. Los problemas pueden ser más complejos si existen condiciones de corrientes de agua o aguas artesianas. La erosión en el pie del talud puede producir un efecto similar.

Exposición o desconfinamiento de los niveles de agua por los cortes. -
Ocurre con mucha frecuencia que, al excavar un corte, se profundice por debajo del nivel de agua subterránea permanente u ocasional. Al cortar se desconfinan el suelo en la zona saturada y el suelo no confinado, puede tener la tendencia a fluir y se pueden generar derrumbes o flujos en la mitad o cabeza del talud.

Aplicación de cargas externas. - En ocasiones, se aplican cargas externas tales como: muertos de anclaje, cimentaciones de estructuras y otras cargas, que, por su naturaleza, pueden producir esfuerzos de cortante sobre el talud y afectar su estabilidad.

Cargue de la parte superior del talud. - Si el terreno en la parte alta del talud es cargado, el esfuerzo de cortante aumenta; al respecto, se conoce de un gran número de fallas en taludes, cuando se han colocado cargas sobre la cabeza o parte alta del talud. Para evitar incrementos significativos en los esfuerzos de cortante sobre el talud, se deben separar las cargas la mayor distancia posible de la cabeza del talud.

Los rellenos a media ladera o sobre la parte superior de un talud o ladera, son una causa común de deslizamientos como se muestra en la figura 2.12. El caso de desplazamientos más común es el de terraplenes sobre suelos blandos. En la sección 2.12.a, expone el análisis de reconstrucción de condiciones iniciales; y en 2.12.b, demuestra después del sismo.



**Figura 2.12.- Deslizamiento de la presa de San Fernando en California en 1971.
(Seed y Harder, 1990).**

Fuente: Mecanismos de falla, Jaime Suárez.

Taponamiento de los afloramientos de agua con rellenos. - Es una práctica común, especialmente en carreteras, la colocación de terraplenes a media ladera que taponan los afloramientos permanentes o estacionales de agua

subterránea. En las temporadas de lluvias, los niveles de agua ascienden y el relleno potencia los aumentos de presión de poros, lo cual produce falla.

2.1.6 Sismotectónica.

El primer paso en la evaluación de peligrosidad sísmica es la definición de fuentes de terremotos que puedan afectar a una región en particular. Estas fuentes son a menudo llamadas fuentes sismotectónicas o fuentes de terremotos activadas por esfuerzos tectónicos. La definición y entendimiento de estas fuentes es con frecuencia la mayor parte del análisis de peligrosidad sísmica y requiere conocimiento de la geología regional, local, sismicidad y tectónica (REITER, 1990).

El Ecuador está ubicado en el noroccidente de Sudamérica, la misma es una causa de que exista la particular disposición tectónica en la que todo el territorio continental está sujeto, provocando diferentes fenómenos de sismicidad y vulcanismo con alta actividad.

Los sismos tectónicos son los más comunes y ocurren en sitios donde la corteza de la tierra se rompe debido a las fuerzas provocadas por el movimiento de las placas que cubren la superficie de la tierra. La región costera en el Ecuador se considera altamente susceptible ya sean por eventos de terremotos por subducción y tsunamis.



Figura 2.13.- Evolución neodinámica de los Andes.

Fuente: La Hora. (PENNINGTON, 1981)

El proceso que causó la mencionada evolución neodinámica de Los Andes fue por la subducción de la placa oceánica de Nazca por debajo de la placa continental de Sudamérica como se indica en la figura 2.13.

Se determina con la presencia de una fosa tectónica paralela a la línea de la cota con dirección norte – sur aproximado, mediante los rasgos fisiográficos más importantes obtenidos de la subducción en Ecuador; mientras que son separadas por la depresión interandina por la cadena andina con las cordilleras Occidental y Real.

El proceso activo se inició hace unos 26 millones de años con el apareamiento de las placas de Cocos y Nazca, como resultado de una reorganización de la placa Farallón (Haríds-chumacher, 1976; Hey, 1977; Pennington, 1981).

Los responsables de los esfuerzos compresivos de dirección E – W que sobresalen en el territorio son el fenómeno de convergencia de la placa de Nazca y la placa Sudamericana; a pesar de que el campo de esfuerzos se encuentra alterados por los factores como:

- La interacción de las placas Cocos, Nazca, Caribe y Sudamérica (PENNINGTON, 1981). La subducción de la dorsal Carnegie que acompaña a la placa Nazca (Hey, 1977; Lonsdale, 1978).
- El ángulo de la placa en subducción bajo el continente en la parte norte de Los Andes (Hey, 1977; Lonsdale, 1978).
- Efecto de alta topografía compensada (Molnar y Taponnier, 1978; Sebrier et al, 1988).

Stuart Nishenko mediante sus estudios realizados, asignaron una probabilidad de entre 60% y 100% a la ocurrencia de un sismo de subducción con magnitud mayor a 7.0 frente a la costa norte de Ecuador entre 1989 y 1999 (NEIC-USGS). Esta predicción se cumplió el 4 de agosto de 1998 con el sismo de Bahía de Caráquez.

Para la obtención de las fuentes sismotectónicas se requiere identificar las fallas individuales que intervienen en el sitio donde es enfocado el análisis

de la tesis y las cuales son fallas generadoras de terremotos o lugares con rasgos estructurales en tectónicas, sísmicos o geofísicos homogéneos que afectan el área.

La probabilidad de que ocurran sismos de igual o mayor magnitud en la zona ha sido siempre alta. Sismos de este orden de magnitudes han ocurrido en la zona en 1906 como el terremoto de Esmeraldas, siendo dicho terremoto uno de los principales entre los diez más intensos a nivel mundial en los años 1933, 1942, 1956, 1958, 1979, 1998, 2016 y 2019.

El mapa sismotectónico del Ecuador y el mapa de zonación sísmica del Ecuador por la NEC-11 son contrapuestos, dicho que en ambos mapas clasifican a la zona costera del Ecuador como aquella que posee altos niveles de sismicidad, estando los valores de la aceleración entre 0,45g y 0,55g (gravedad), como se representa en la figura 2.14.

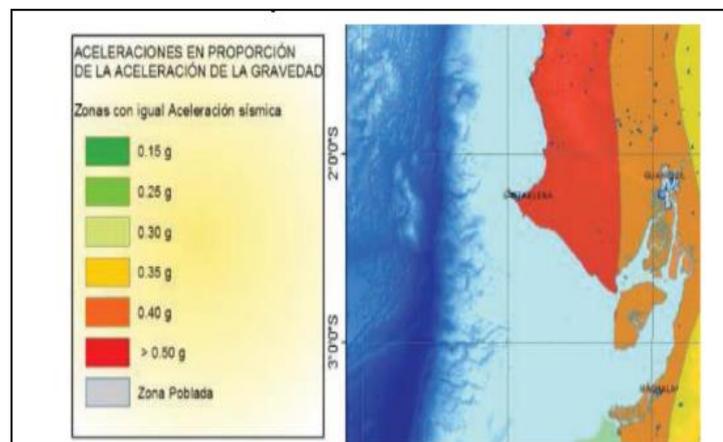


Figura 2.14.- Mapa sismotectónico del Ecuador.

Fuente: NEC – 11.

En la publicación basada en la estimación de máximos niveles de sismicidad para el Litoral Ecuatoriano a través de la integración de datos geológicos y sismotectónicos, se pueden especificar los terremotos de $6,9 \leq M \leq 8,8$ generados en la fosa Ecuador y con distancia focal ≤ 33 km de profundidad. Ms, magnitud ondas superficiales. Mw, momento de magnitud. Foco,

distancia hipocentral. H, altura máxima de ola de tsunami registrada en la línea de costa. It, escala de intensidad de Tsunamis Soloviev-Inamura.

Año	Mes	Día	Lat.	Long.	Fuente Sismogenética	Ms	Mw	Foco Km	H Mt	It
1877	10	11	2,30	-78,78	Fosa Ec-Col					
1901	1	7	-2,00	-82,0	Fosa Ec-Perú	7,6	7,0	25		
1901	1	8	-2,00	-82,0	Fosa Ec-Perú	7,1	6,7			
1906	1	31	1,0	-80,0	Fosa Ec	5,7	5,9	25		
1906	1	31	1,0	-81,5	Prisma Acreción	8,6	8,8	25	5	3
1906	2	7	1,0	-81,0	Prisma Acreción					0,5
1907	6	1	0,00	-82,0	Fosa Ec	7,4	6,9	33		
1933	10	2	-2,2	-81,04	Fosa Ec	6,9	6,6	10	0,2	
1942	5	14	-0,7	-81,5	Fosa Ec	8,3	7,6	10		
1942	7	4	0,8	-80,5	Fosa Ec	6,2	6,4	15		
1953	12	12	-3,5	-81,0	Fosa Ec-Perú	7,3	6,8	33		
1953	12	12	-3,6	-80,6	Fosa Ec-Perú	7,8	7,4	30	1,8	
1956	1	16	-0,5	-80,5	Fosa Ec	7,3	6,8			
1958	1	19	1,37	-79,34	Fosa Ec	7,3	7,9	20	0	1,5
1958	8	17	1	-80,0	Fosa Ec	6,1	6,3			
1959	2	7	-3,84	-81,58	Fosa Ec-Perú	7,2	6,8	33	0,2	-2
1979	12	12	1,6	-79,36	Fosa Ec-Col	7,7	7,8	24	5	2,5
1989	6	25	1,1	-79,6	Fosa Ec	6,4	6,6	33		
1998	8	4	-0,59	-80,39	Fosa Ec	7,1	6,7	33		

Tabla 2.1.- Datos geológicos y sismotectónicos en el Ecuador.

Fuente: Catálogo sísmico NEIC.

FECHA	MAGNITUD	LUGAR
4/Febrero/1797	8,3 TERREMOTO	Riobamba
Enero/1906	8,8 TERREMOTO – TSUNAMI	Frontera Ecuador-Colombia
5/Agosto/1949	6,8 TERREMOTO	Tungurahua
8/Abril/1961	7 TERREMOTO	Chimborazo
19/Mayo/1964	8 TERREMOTO	Manabí
5/Marzo/1987	6,9 TERREMOTO	Napo
2/Octubre/1995	6,9 TERREMOTO	Morona Santiago
4/Agosto/1998	7,1 TERREMOTO	Bahía de Caráquez
16/Abril/2016	7.8 TERREMOTO	Pedernales

Tabla 2.2.- Terremotos más potentes que han afectado a Ecuador.

Fuente: El Universo.

En la península se registran dos eventos muy importantes que se lo asocian con la falla Cascol según refieren en el catálogo de Terremotos del Ecuador, el cual fue elaborado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, logrando obtener datos actuales de sismos históricos suscitados en el Ecuador.

En las coordenadas 2°S y 80,5° W se encuentran epicentros de sismos históricamente repetitivos, con magnitudes 6,0 a 8,2 en la escala de Richter como lo menciona el estudio y diseño preliminar de alternativas para recuperación de playa en Salinas; en la mencionada publicación indican que la distancia horizontal es de unos 16 km. y que los epicentros se encuentran en profundidades de 33km a 100 km., con una máxima aceleración horizontal calculada de 131 cm/s².

2.1.7 Sismicidad

Los sismos pueden generar deslizamientos especialmente en los taludes con estabilidad marginal; deslizamientos por licuación y deslizamientos de traslación en los suelos arcillosos de gran espesor. Igualmente, se puede producir agrietamiento y desintegración en los taludes de roca.

Cargas sísmicas. - Los sismos producen aceleraciones horizontales y verticales sobre los taludes, los cuales resultan en variaciones de esfuerzos colocados en forma rápida. Las fuerzas dinámicas que actúan sobre el talud pueden causar inestabilidad momentánea.

Agrietamiento Co-sísmico. - Los eventos sísmicos pueden producir agrietamientos, especialmente, en los materiales rígidos y frágiles. Los agrietamientos cosísmicos debilitan la masa del talud y generan superficies preferenciales de falla.

El agrietamiento cosísmico es menor cuando existe un buen refuerzo subsuperficial con raíces de cobertura vegetal.

Pérdida de Resistencia por Cargas Cíclicas. - Las uniones entre partículas de suelo pueden romperse y/o las presiones de poros pueden aumentar bajo influencia de cargas cíclicas. Los suelos frágiles se desintegran por la acción de la onda sísmica y puede perderse la cohesión del material.

Los suelos más susceptibles a la pérdida de resistencia (debido a cargas cíclicas) son los suelos sueltos y los suelos con partículas muy poco cementadas. Las arenas sueltas o los limos pueden licuarse bajo la acción de ciertas cargas cíclicas y pierden virtualmente, toda su resistencia.

Licuación. – En los suelos saturados, el sismo genera presiones de poros instantáneas, las cuales, a su vez, producen pérdida de resistencia en el suelo. La pérdida de resistencia puede ser tal, que se pierde virtualmente la totalidad de la resistencia y el suelo se comporte como un líquido. Este

fenómeno conocido como “licuación” es muy común en los taludes en zonas sísmicas.

Esta licuación se produce especialmente en los suelos arenosos y limosos, incluyendo las gravas. Generalmente, en la mayoría de los grandes sismos se presentan problemas de deslizamientos por licuación, particularmente en los depósitos aluviales y en los rellenos como en la figura 2.15.

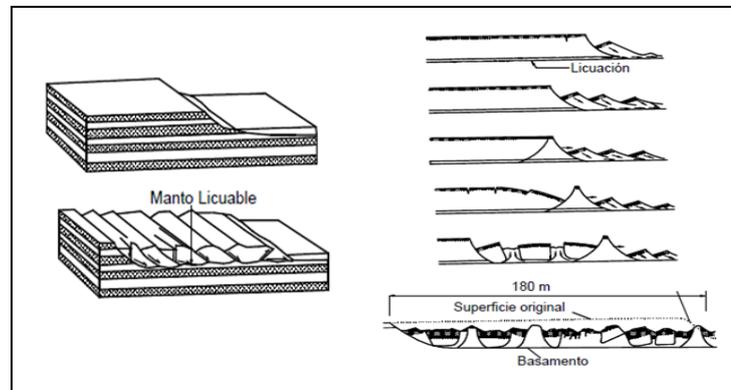


Figura 2.15.- Deslizamiento progresivo en el sismo de Alaska de 1967. (Seed y Wilson, 1967).

Fuente: Mecanismos de falla, Jaime Suárez.

En la figura 2.16 nos detalla las fallas ocurridas en los cortes de las vías u obras lineales indicandonos lo siguiente:

‘a’ y ‘b’.- Al momento de excavar para el corte, se produce el desconfinamiento del nivel del agua freática con lo cual se disminuye el factor de seguridad del talud.

‘c’.- Cuando se excava, aumentan los esfuerzos de cortante y se puede producir un deslizamiento.

‘d’.- Si se excava en materiales estratificados, se pueden activar los movimientos sobre los planos de estratificación al desconfinarse los mantos superiores.

‘e’.- Si se realiza un corte donde existan mantos confinados de acuíferos se pueden desconfinar las presiones arterianas y se activan los deslizamientos.

f'.- Si en el pie del talud hay un manto blando, se aumenta la pendiente y se concentran los esfuerzos sobre éste manto, logrando generar una falla profunda.

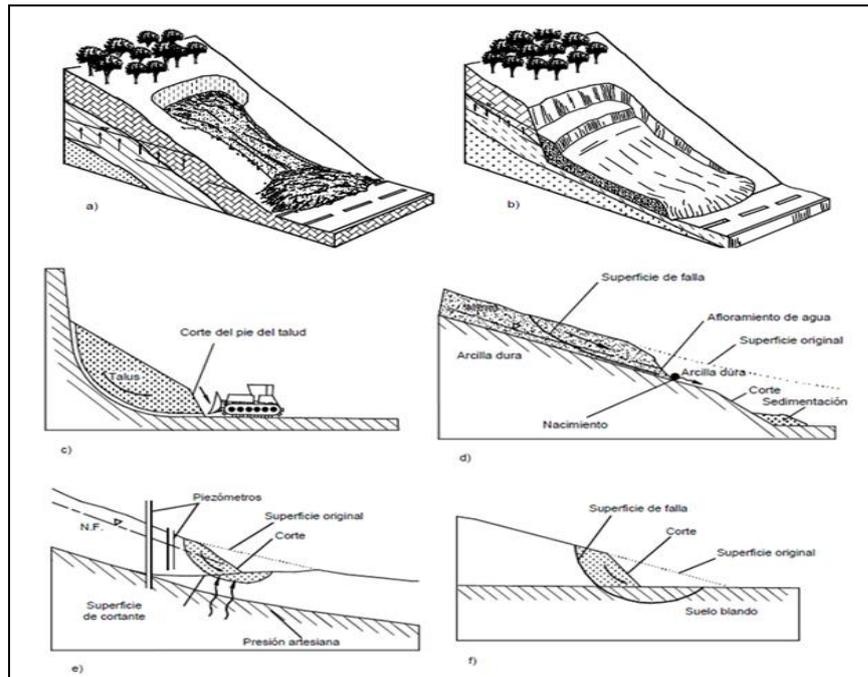


Figura 2.16.- Fallas en los cortes de vías u obras lineales

Fuente: Mecanismos de falla, Jaime Suárez.

Mediante el gráfico 2.17 se señala que el tipo de deslizamiento ocurrido en el sector 9 de Octubre de la parroquia Anconcito es rotacional.

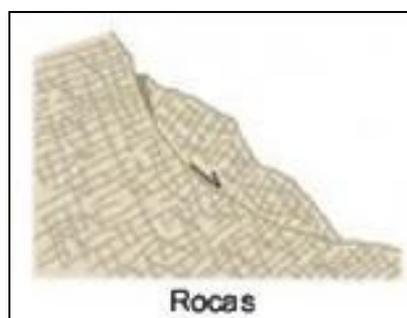


Figura 2.17.- Deslizamiento rotacional.

Fuente: Ingeniería Geológica 2002.

2.1.8 Fallas geológicas.

Las amenazas geológicas de origen natural son conocidas también como fallas geológicas. En la geología, una falla es una fractura o zana de fracturas a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento relativo de los bloques paralelos a la fractura (Bates y Jackson, 1980).

Fundamentalmente, una falla es aquella discontinuidad que se forma debido a la fracturación de grandes bloques de rocas en la Tierra cuando es superada la resistencia de las rocas por las fuerzas tectónicas.

Las direcciones del movimiento causante de dicha dislocación pueden ser horizontal, vertical o la combinación de ambas.

Miles de metros pueden ser las masas montañosas que se han elevado, siendo esto el resultado de los procesos devenidos durante largos periodos de tiempo como consecuencia del movimiento provocado por fallas.

La zona de ruptura tiene una superficie frecuentemente definida, la misma que se denomina plano de falla, en la que su formación incluye un deslizamiento tangencial de las rocas respecto a ese plano.

Se puede producir un terremoto cuando la actividad en una falla es repentina y brusca, provocando inclusive una ruptura en la superficie terrestre; evidenciando en la superficie del terreno una forma topográfica llamada escarpa de falla.

Estos vestigios de la falla en la superficie por la presencia de la acción de erosión tienden a desaparecer, provocados por la lluvia y el viento, y por la presencia de actividad humana o vegetación.

2.1.8.1 Fallas activas e inactivas

Se considera que una falla es activa ya sea cuando ha tenido movimientos históricos, por ejemplo, en los últimos 10.000 años, o bien en su pasado geológico reciente, considerando los últimos 500.000 años. Si bien las fallas que sufren desplazamientos cuando sucede un terremoto son activas, no todas las fallas activas generan terremotos, algunas son capaces

de moverse asísmicamente, es decir sin que esté asociada a ninguna actividad sísmica (ALI, Keiiti, LEE, William H.K.).

A pesar de que no hay ninguna definición de falla activa que haya sido universalmente aceptada, se puede generalizar que: La actividad de una falla estaría definida, en líneas generales, por la forma en que se acumula el desplazamiento en el tiempo geológico. Una falla activa sería una falla que acumuló algún desplazamiento en un pasado reciente.

Si bien no hay una regla fija sobre qué escala de tiempo geológico se debe considerar la actividad de una falla, en particular, el WAAPC (Western States Seismic Policy Council) consorcio de científico estatales privados del oeste de EEUU, define tres clases de fallas activas:

1. Falla activa del Holoceno: una falla que se ha movido en los últimos 10.000 años.
2. Falla activa del Cuaternario tardío: una falla que se ha movido en los últimos 130.000 años.
3. Falla activa del Cuaternario: una falla que se ha movido en los últimos 1.600.000 años.

Se da lugar a sismos cuando el deslizamiento puede ser repentino en forma de saltos, siguiendo los periodos de inactividad.

Los desplazamientos verticales del terreno se deben a sismos más grandes, que son evidenciados en superficie, del orden de los 8 a 12 m.

El desplazamiento también puede darse de manera lenta y segura, siendo perceptibles luego de varios años de mediciones, realizadas con instrumentos como el GPS. Este tipo de fallas son del tipo asísmicas o reptantes, mientras que las fallas sísmicas son las que liberan energía repentina.

Tipos de esfuerzo

- De Cizalle o Corte (movimiento “paralelo” entre bloques)
- De extensión
- De compresión

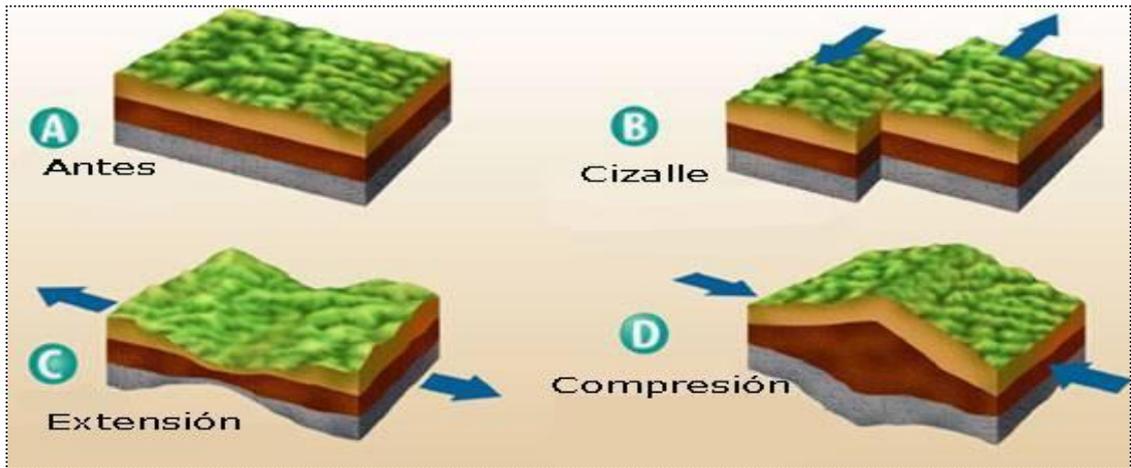


Figura 2.18.- Tipos de esfuerzo.

Fuente: Manual de Ingeniería Geológica, ITGE

Existen varios tipos de fallas como son las normales, inversas o de rumbo tal como lo indica la figura 2.19.

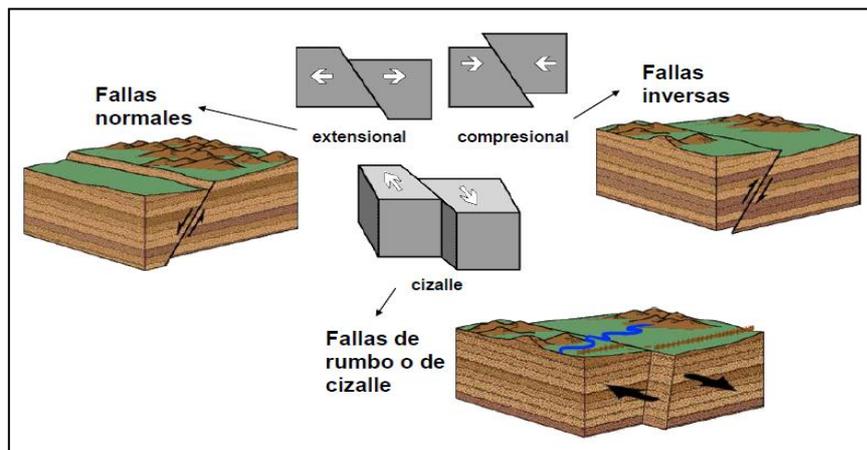


Figura 2.19.- Tipos de fallas.

Fuente: Manual de Ingeniería Geológica, ITGE

Falla normal. - Se presenta en ambientes extensivos. Este tipo de fallas se generan por tensión horizontal. Las fuerzas inducidas en la roca son perpendiculares al azimut de la falla (línea de ruptura superficial), y el movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual típicamente tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal. El bloque que se encuentra por encima del plano de falla se denomina *techo*, y se

desliza hacia abajo; mientras que el bloque que se encuentra por debajo del plano de la falla se denomina *piso*, y asciende.

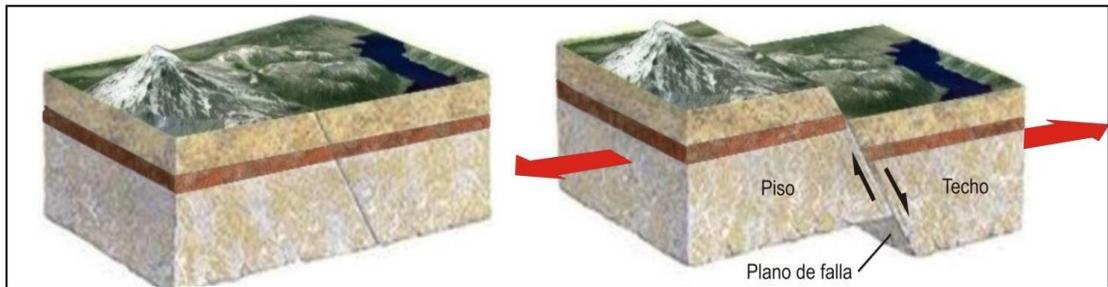


Figura 2.20.- Plano de falla normal.

Fuente: Instituto nacional de prevención sísmica INPRES.

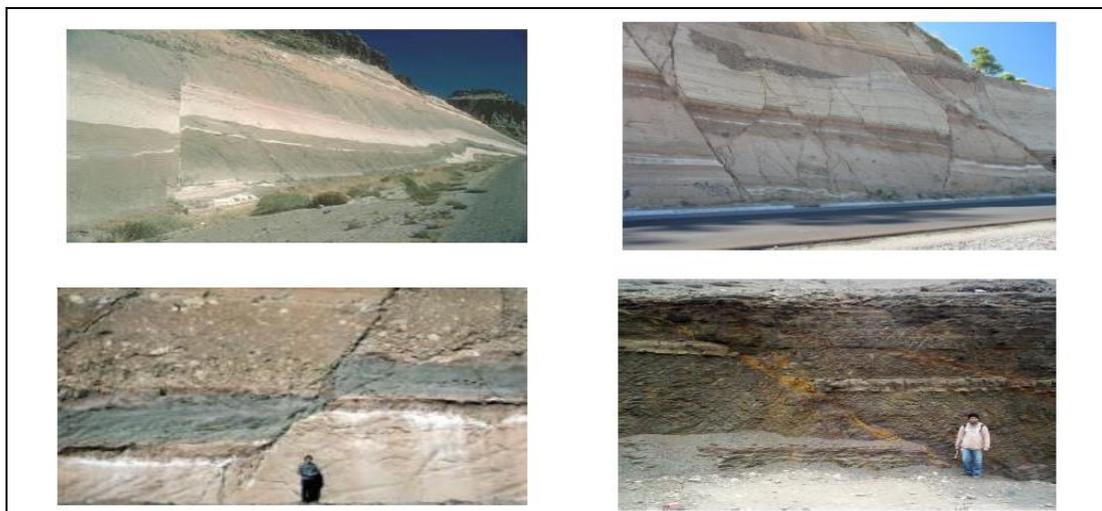


Figura 2.21.- Diferentes fallas normales.

Fuente: Instituto nacional de prevención sísmica INPRES.

Falla inversa. – Se presentan en ambientes compresivos y se genera por compresión horizontal.

El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal. El bloque de *techo* se encuentra sobre el bloque del *piso*. Cuando las fallas inversas presentan un buzamiento (inclinación) inferior a 45 grados, éstas también toman el nombre de *cabalgamiento*.

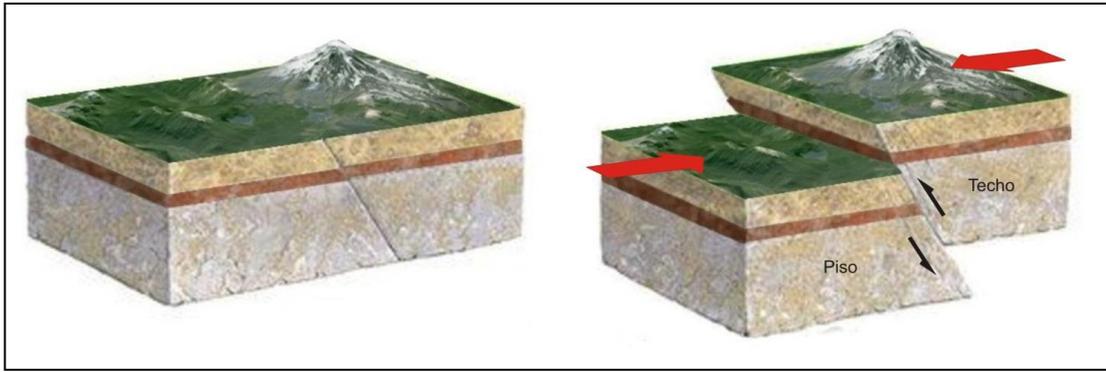


Figura 2.22.- Plano de falla inversa.

Fuente: Instituto nacional de prevención sísmica INPRES.

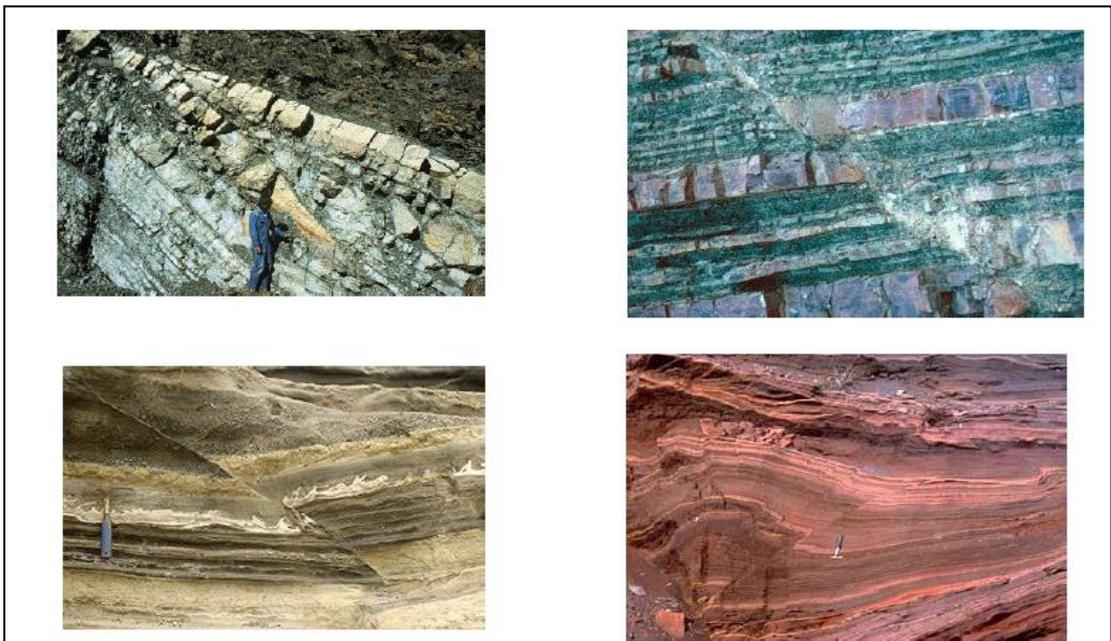


Figura 2.23.- Diferentes fallas inversas.

Fuente: Instituto nacional de prevención sísmica INPRES.

Una falla puede ser descrita por sus características:

- a) Escarpe. – Distancia entre las superficies en la vertical.
- b) Rumbo. – Dirección con respecto al Norte.
- c) Buzamiento o Manteo. – Ángulo del plano de falla con la horizontal.

a) Plano de falla.

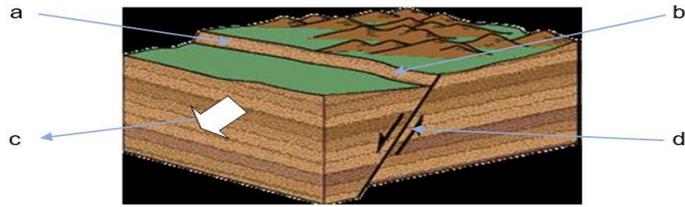


Figura 2.24.- Características de una falla.

Fuente: Manual de Ingeniería Geológica, ITGE.

Falla de rumbo. – O también llamada falla de desgarre, cizalla o corte; son aquellas que se desarrollan a lo largo de planos verticales y el movimiento de los bloques es horizontal, son de límites transformantes de placas tectónicas típicamente. Tienen un diferente tipo de movimiento con respecto a las fallas normales e inversas.

Se distinguen dos tipos de fallas de desgarre: laterales de derecha y laterales de izquierda.

- Laterales derecha o dextrales, son aquellas en donde el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha o a favor del reloj.
- Laterales izquierda o sinestrales, son las que el movimiento es opuesto a las anteriores. También conocidas como fallas transversales.

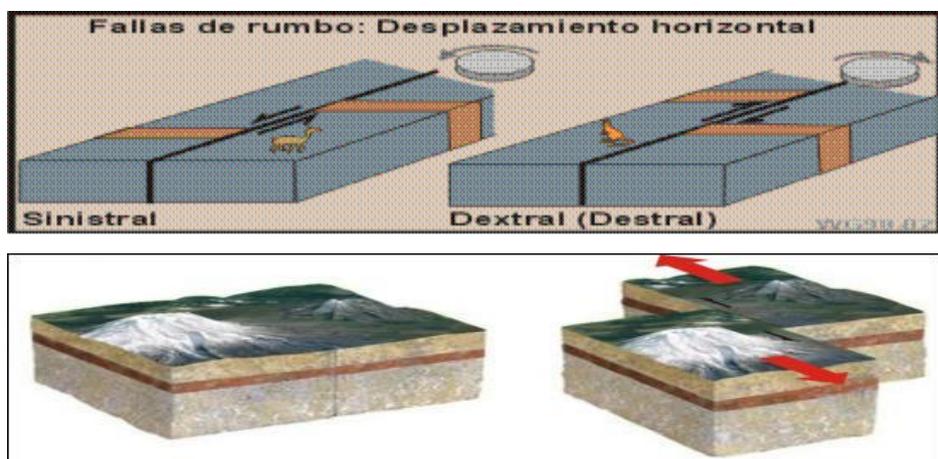


Figura 2.25.- Fallas de rumbo.

Fuente: Instituto nacional de prevención sísmica INPRES.

Las fallas de rumbo puras no producen escarpes de fallas. En la vida real las fallas no son tan simples y generalmente no son puras. Es muy común observar fallas con algún tipo de combinación, por ejemplo, a lo largo de California en EEUU, el famoso sistema de fallas de San Andrés tiene un 95% de rumbo, pero cerca de un 5% del movimiento corresponde a una falla inversa.

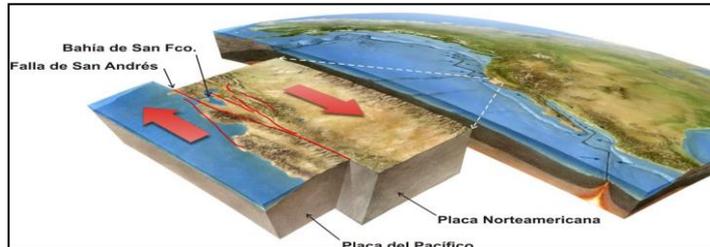


Figura 2.26.- Falla de San Andrés.

Fuente: Instituto nacional de prevención sísmica INPRES.

Esta gigantesca falla es el área de contacto entre dos grandes placas tectónicas: la del Pacífico y la de Norteamérica.



Figura 2.27.- Fallas con movimientos mixto.

Fuente: Manual de Ingeniería Geológica, ITGE

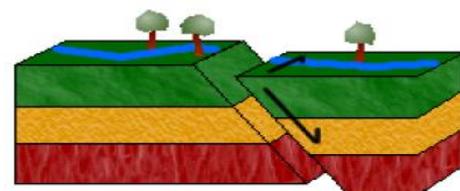
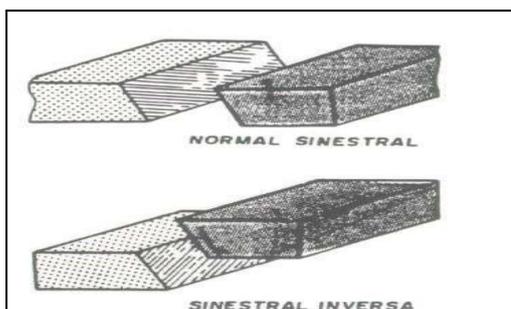


Figura 2.28.- Falla Oblicua.

Fuente: Manual de Ingeniería Geológica, ITGE

Esta falla ha generado los sismos de:

- San Francisco (M = 8,2) en 1905
- Los Ángeles (M = 6,5) en 1993
- Héctor Mine (M = 7,1) en 1999
- San Luis Obispo (M = 6,2) en 2004



Figura 2.29.- Diferentes fallas de desplazamiento.
Fuente: Instituto nacional de prevención sísmica INPRES.

Pliegues y Plegamientos. – Son deformaciones de estratos geológicos (capas) con forma ondulada. Los pliegues surgen como consecuencia del esfuerzo de compresión sobre las rocas, que se pliegan a cambio de fracturarse. Cuando los estratos afloran a la superficie se puede ver cómo suben hasta un arco, o descienden hacia un seno. Los pliegues superiores con forma abovedada se llaman anticlinales y tienen una cresta y dos ramas inclinadas que descienden hacia senos contiguos, donde pueden formarse los pliegues inversos en forma de cuenco, llamados sinclinales.



Figura 2.30.- Plegamiento y fuerzas actuantes
Fuente: Manual de Ingeniería Geológica, ITGE.

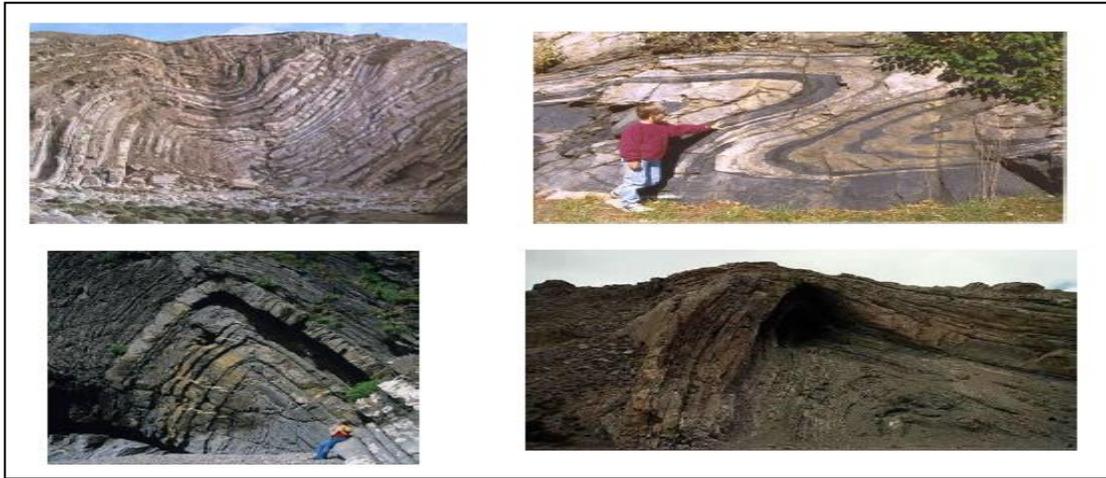


Figura 2.31.- Diferentes tipos de plegamientos

Fuente: Instituto nacional de prevención sísmica INPRES.

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Descripción general

3.1.1 Ubicación de la zona de estudio

Situada en el sector 9 de octubre de la parroquia Anconcito; dicho barrio se formó aproximadamente en el año 1984 con únicamente 20 familias, los mismos habitantes que en su mayoría son oriundos de la misma parroquia y un pequeño porcentaje que han migrado de otros sectores aledaños a la parroquia como es el caso de El Tambo y Atahualpa.

El 15 de enero del 2014 fue aprobada y reconocida, mediante el decreto A.M. 0038 por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Salinas como Barrio 9 de Octubre en conjunto con su comité barrial. (Anconcito, 2015).



Figura 3.1.- Mapa político del Ecuador.

Fuente: Provincias del Ecuador.

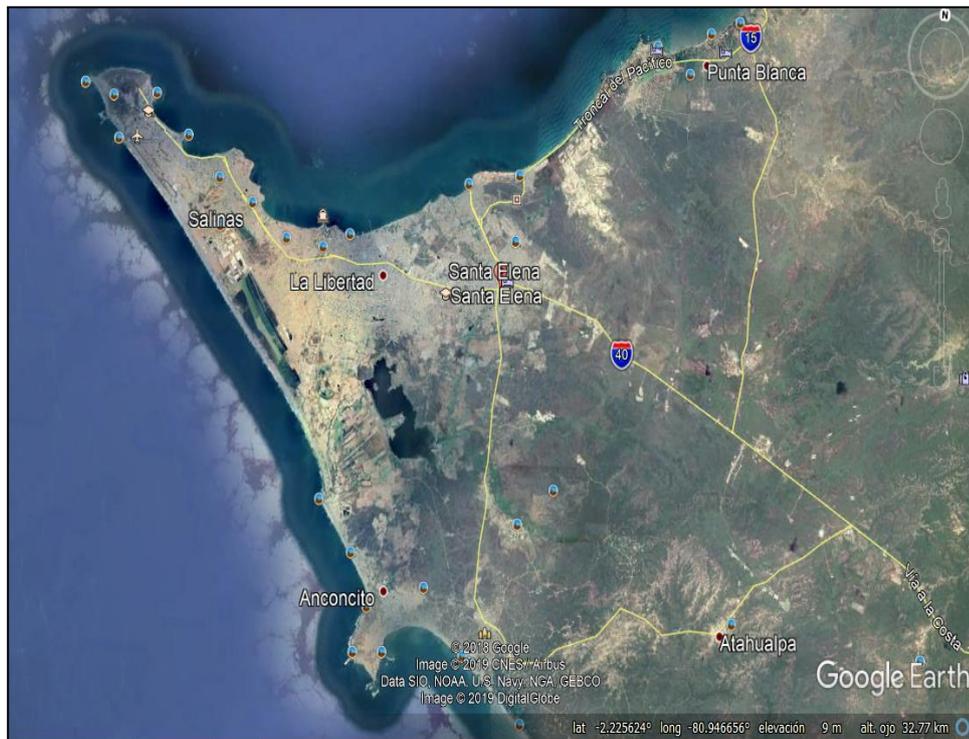


Figura 3.2.- Mapa de los cantones de la península de Santa Elena.
Fuente: Google Earth.



Figura 3.3.- Sitio de estudio y condiciones del terreno.
Fuente: Google Earth, Tigrero R. Paola y Manrique M. Vania.

En la figura 3.4 se muestra el sitio de estudio y el estado del terreno en las condiciones actuales con la evidencia del terreno deslizado en marzo del 2017.

En la tabla 3.1 se indica las coordenadas del polígono que forma el talud de estudio.

POLIGONO	COORDENADAS	
A	-2°19'40.317"	-80°53'23.398"
B	-2°19'38.261"	-80°53'21.065"
C	-2°19'39.334"	80°53'20.713"
D	-2°19'39.784"	80°53'20.108"
E	-2°19'40.972"	80°53'20.248"

Tabla 3.1.- Coordenadpas del sitio de estudio.

Fuente: Tigrero R. Paola y Manrique M. Vania.



Figura 3.4.- Sitio de estudio en la parroquia Anconcito.

Fuente: Tigrero R. Paola y Manrique M. Vania.

3.1.2 Climatología de la zona

Para describir el clima de la Parroquia Anconcito se ha tomado como referencia las características climatológicas de la Península de Santa Elena, la misma que es considerada como desértica tropical en su mayoría. Se reconoce por poseer una precipitación anual promedio inferior a 200 milímetros. La clasificación climatología apoyada en temperaturas y precipitaciones, muestra que Anconcito posee un clima desértico y árido (zona gris) conforme se indica en la figura 3.5, en base a la fuente del Proyecto ESPOL-CEDEGE-PROMSA (2002).

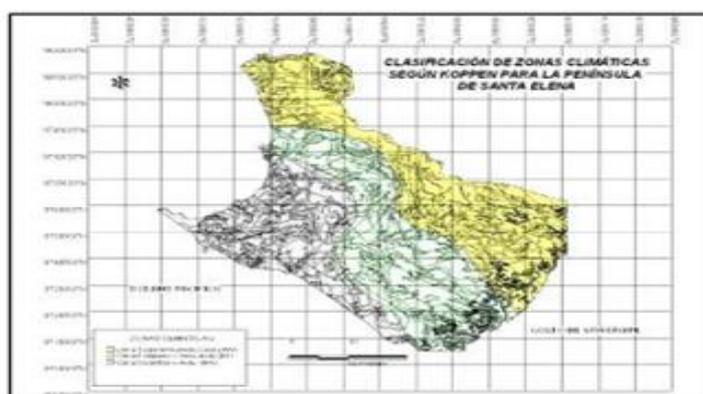


Figura 3.5.- Clasificación Climática Koppen

Fuente: Proyecto ESPOL-CEDEGE-PROMSA (2002).

3.1.3 Temperatura

Según Gálvez y Regalado, en la costa central sur del Ecuador (Manta, La Libertad) las temperaturas del aire mínimas alcanzan valores inferiores a 20°C y las máximas temperaturas alcanzan hasta 36°C. La temperatura media anual del aire oscila entre 23°C y 26°C. (INOCAR, 2007)

En los datos basados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología "INAMHI" nos indica que el promedio de los últimos meses nos da un alrededor de 22°C.

A su vez mediante la aplicación AccuWeather, aquella que nos proporciona un pronóstico del tiempo al nivel mundial; nos muestra los datos

aproximados con mayor detalle de la temperatura que tuvo la parroquia Anconcito del Cantón Salinas, durante el tiempo de estudio de esta tesis, tal como lo muestra a continuación en la tabla 3.2.

SEMANA	FECHA	TEMP. MÁX. DÍA/NOCHE	TEMP. MÍN. DÍA/NOCHE
Semana 1	28/10/2018 a 03/11/2018	30°C / 23°C	25°C / 22°C
Semana 2	04/11/2018 a 10/11/2018	33°C / 25°C	27°C / 22°C
Semana 3	11/11/2018 a 17/11/2018	33°C / 24°C	24°C / 22°C
Semana 4	18/11/2018 a 24/11/2018	32°C / 26°C	27°C / 22°C
Semana 5	25/11/2018 a 01/12/2018	32°C / 25°C	27°C / 23°C
Semana 6	02/12/2018 a 08/12/2018	32°C / 27°C	27°C / 20°C
Semana 7	09/12/2018 a 15/12/2018	34°C / 32°C	29°C / 22°C
Semana 8	16/12/2018 a 22/12/2018	33°C / 31°C	27°C / 24°C
Semana 9	23/12/2018 a 29/12/2018	33°C / 27°C	28°C / 24°C
Semana 10	30/12/2018 a 05/01/2019	33°C / 29°C	28°C / 23°C
Semana 11	06/01/2019 a 12/01/2019	31°C / 27°C	27°C / 23°C
Semana 12	13/01/2019 a 19/01/2019	31°C / 25°C	26°C / 23°C
Semana 13	20/01/2019 a 26/01/2019	33°C / 28°C	30°C / 25°C
Semana 14	27/01/2019 a 02/02/2019	31°C / 26°C	25°C / 23°C
Semana 15	03/02/2019 a 09/02/2019	29°C / 27°C	25°C / 23°C
Semana 16	10/02/2019 a 16/02/2019	31°C / 29°C	26°C / 23°C
Semana 17	17/02/2019 a 23/02/2019	31°C / 30°C	25°C / 24°C
Semana 18	24/02/2019 a 02/03/2019	34°C / 30°C	28°C / 25°C
Semana 19	03/03/2019 a 09/03/2019	34°C / 29°C	26°C / 24°C
Semana 20	10/03/2019 a 16/03/2019	34°C / 30°C	28°C / 25°C
Semana 21	17/03/2019 a 23/03/2019	32°C / 27°C	28°C / 23°C
Semana 22	24/03/2019 a 30/03/2019	32°C / 29°C	27°C / 25°C
Semana 23	31/03/2019 a 06/04/2019	32°C / 29°C	26°C / 25°C
Semana 24	07/04/2019 a 13/04/2019	33°C / 31°C	31°C / 24°C
Semana 25	14/04/2019 a 20/04/2019	34°C / 29°C	29°C / 24°C
Semana 26	21/04/2019 a 27/04/2019	34°C / 34°C	28°C / 23°C

Tabla 3.2.- Temperaturas promedios de la parroquia Anconcito.

Fuente: AccuWeather.

Dichos datos nos exponen niveles gráficos de las temperaturas desde el mes de noviembre del 2018 al de abril del 2019.

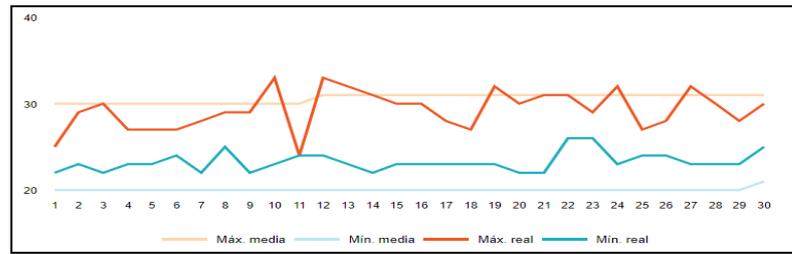


Figura 3.6.- Temperatura promedio – nov.2018.

Fuente: AccuWeather.

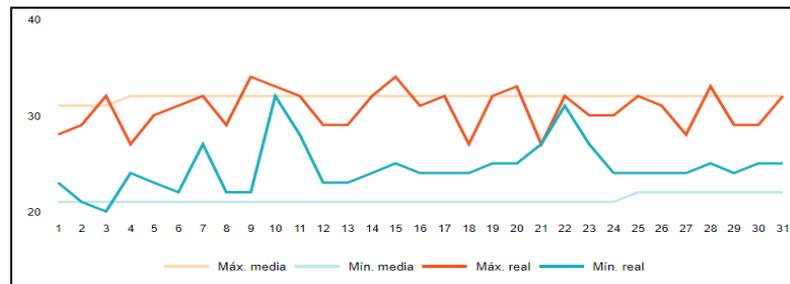


Figura 3.7.- Temperatura promedio – dic.2018.

Fuente: AccuWeather.

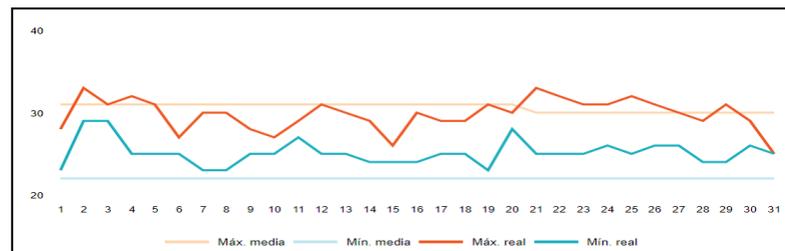


Figura 3.8.- Temperatura promedio – enero 2019.

Fuente: AccuWeather.

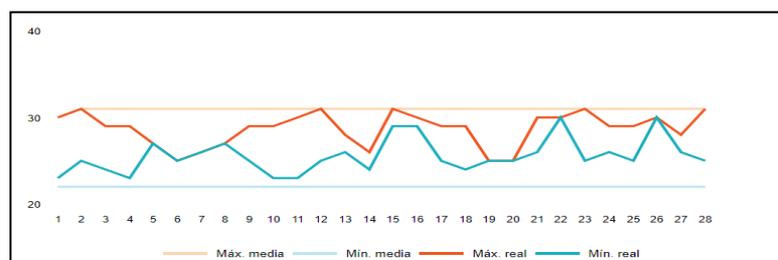


Figura 3.9.- Temperatura promedio – feb. 2019.

Fuente: AccuWeather.

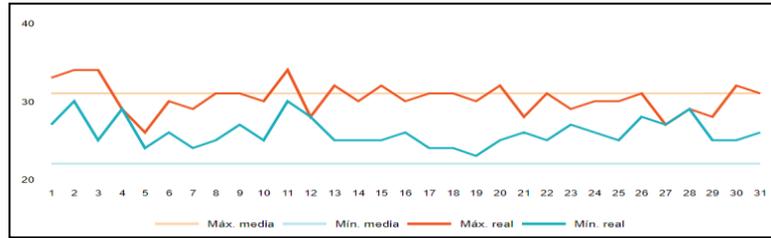


Figura 3.10.- Temperatura promedio – marzo 2019.

Fuente: AccuWeather.

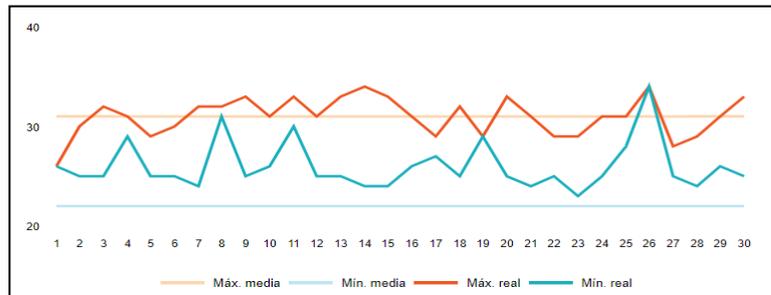


Figura 3.11.- Temperatura promedio – abril 2019.

Fuente: AccuWeather.

Los datos proporcionados por el INOCAR nos indica la temperatura superficial del mar (TSM) durante los últimos meses en la parroquia Anconcito.

DATOS OCEANO-ATMOSFÉRICOS PRELIMINARES							
TSM (TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR)							
FUENTE:	WEB INOCAR						
MESES	nov-18	dic-18	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19
TEMPERATURA	23	24°C	25°C	25°C	27°C	26°C	27°C
	23	24°C	26°C	27°C	27°C	27°C	26°C
	24°C	25°C	27°C	27°C	28°C	27°C	27°C
	24°C	26°C	26°C	28°C	27°C	27°C	27°C

Tabla 3.3.- Datos de TSM.

Fuente: INOCAR.

3.1.4 Precipitación

Uno de los parámetros fundamentales que determinan la climatología de una región es la precipitación. El sector que comprende Salinas, Santa Elena y Anconcito tiene valores de precipitación media anual entre los

62.50mm y 125 mm como lo mencionan los datos de la ESPOL en un estudio del sitio.



Figura 3.12.- Mapa de isoyetas de Anconcito.
Fuente: Equipo Técnico Santa Elena EP, 2015.

El Niño está catalogado por INOCAR como un fenómeno repetitivo, pero no cíclico, siendo oculto durante los últimos años en las épocas lluvias.

3.1.5 Viento

Existe preponderancia durante todo el año de vientos con influencia marítima que se origina del suroeste, con velocidades entre 4 y 4.5 m/seg. durante los meses de junio y diciembre; mientras que de enero a mayo las velocidades son de 3 y 3.5 m/seg. De acuerdo con datos tomados por la ESPOL, en la Parroquia Anconcito se detectaron velocidades entre 0.7 y 3.5 m/seg.

En la siguiente tabla 3.4 los datos del viento durante el año 2018, indicando la presión atmosférica, dirección y fuerza del viento junto a la rosa del viento. (INOCAR, 2018)



Figura 3.13.- Rosa del viento.
Fuente: INOCAR.

FECHA	PRESIÓN ATMOSFÉRICA PSA mb	TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE TSA (°C)	DIRECCIÓN DEL VIENTO (dd °)	FUERZA DEL VIENTO (ff m/s)
Enero	1011	25,92	226,3	2,95
Febrero	1011	26,68	210,3	2,75
Marzo	1010	26,78	213,8	2,5
Abril	1012	25,86	193,3	2,57
Mayo	1012	25,05	229,4	2,54
Junio	1013	22,46	227	3,32
Julio	1013	22,05	226,7	3,19
Agosto	1013	21,83	223,6	3,22
Septiembre	1012	22,21	223	2,87
Octubre	1013	22,04	228,6	3,32
Noviembre	1012	23,45	231,2	3,64
Diciembre	1012	24,9	204,9	3,37

Tabla 3.4.- Datos del viento del 2018.

Fuente: INOCAR.

En el mes de febrero del 2019 la velocidad promedio quincenal es de 5 m/seg., en base a la información diaria de vientos a 10 m de altura sobre la superficie del mar, con una resolución 0,25° en la latitud y longitud. La fuente de información es el Campo global de vientos diarios obtenidos de ASCAT (Daily ASCAT global wind field) y publicados por el Intitut français de recherche pou l'exploitation de la mer – Ifremer.

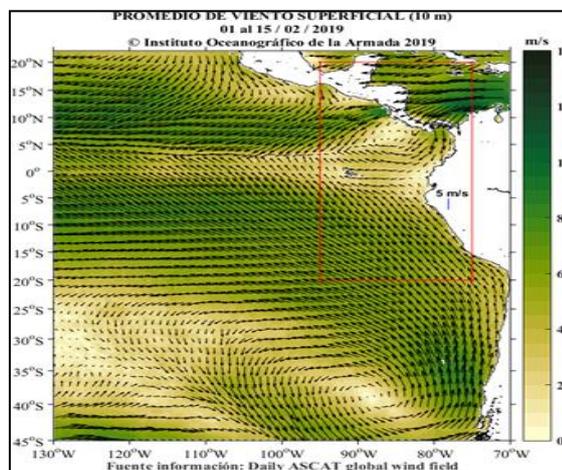


Figura 3.14.- Promedio del viento en el mar.

Fuente: Daily ASCAT global wind field.

3.1.6 Marea

Mediante los datos obtenidos por el Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador “INOCAR”, se estiman alturas variadas de la marea oscilando alrededor de 0,70m. B hasta 1,70m. P, entre los meses de noviembre del 2018 a abril del 2019, proporcionando una diferencia de altura de 1,0m. aproximadamente, tal como lo indica la siguiente tabla 3.5 donde se detallan con su respectiva fecha y hora la actividad de la marea en la parroquia Anconcito. (INOCAR, 2018)

<p style="text-align: center;">ANCONCITO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">14/11/2018 Miércoles</th> <th colspan="2">15/11/2018 Jueves </th> <th colspan="2">16/11/2018 Viernes</th> </tr> <tr> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01:46</td> <td>0.72 B</td> <td>02:44</td> <td>0.80 B</td> <td>03:53</td> <td>0.83 B</td> </tr> <tr> <td>07:41</td> <td>1.61 P</td> <td>08:36</td> <td>1.50 P</td> <td>09:48</td> <td>1.44 P</td> </tr> <tr> <td>13:56</td> <td>0.58 B</td> <td>14:51</td> <td>0.68 B</td> <td>15:59</td> <td>0.75 B</td> </tr> <tr> <td>20:30</td> <td>1.72 P</td> <td>21:29</td> <td>1.66 P</td> <td>22:36</td> <td>1.64 P</td> </tr> </tbody> </table>						14/11/2018 Miércoles		15/11/2018 Jueves 		16/11/2018 Viernes		Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	01:46	0.72 B	02:44	0.80 B	03:53	0.83 B	07:41	1.61 P	08:36	1.50 P	09:48	1.44 P	13:56	0.58 B	14:51	0.68 B	15:59	0.75 B	20:30	1.72 P	21:29	1.66 P	22:36	1.64 P	<p style="text-align: center;">ANCONCITO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">14/12/2018 Viernes</th> <th colspan="2">15/12/2018 Sábado </th> <th colspan="2">16/12/2018 Domingo</th> </tr> <tr> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>02:06</td> <td>0.68 B</td> <td>03:02</td> <td>0.72 B</td> <td>04:05</td> <td>0.72 B</td> </tr> <tr> <td>07:59</td> <td>1.56 P</td> <td>08:56</td> <td>1.47 P</td> <td>10:04</td> <td>1.43 P</td> </tr> <tr> <td>14:09</td> <td>0.58 B</td> <td>15:02</td> <td>0.67 B</td> <td>16:04</td> <td>0.73 B</td> </tr> <tr> <td>20:40</td> <td>1.73 P</td> <td>21:35</td> <td>1.68 P</td> <td>22:36</td> <td>1.67 P</td> </tr> </tbody> </table>						14/12/2018 Viernes		15/12/2018 Sábado 		16/12/2018 Domingo		Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	02:06	0.68 B	03:02	0.72 B	04:05	0.72 B	07:59	1.56 P	08:56	1.47 P	10:04	1.43 P	14:09	0.58 B	15:02	0.67 B	16:04	0.73 B	20:40	1.73 P	21:35	1.68 P	22:36	1.67 P
14/11/2018 Miércoles		15/11/2018 Jueves 		16/11/2018 Viernes																																																																															
Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros																																																																														
01:46	0.72 B	02:44	0.80 B	03:53	0.83 B																																																																														
07:41	1.61 P	08:36	1.50 P	09:48	1.44 P																																																																														
13:56	0.58 B	14:51	0.68 B	15:59	0.75 B																																																																														
20:30	1.72 P	21:29	1.66 P	22:36	1.64 P																																																																														
14/12/2018 Viernes		15/12/2018 Sábado 		16/12/2018 Domingo																																																																															
Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros																																																																														
02:06	0.68 B	03:02	0.72 B	04:05	0.72 B																																																																														
07:59	1.56 P	08:56	1.47 P	10:04	1.43 P																																																																														
14:09	0.58 B	15:02	0.67 B	16:04	0.73 B																																																																														
20:40	1.73 P	21:35	1.68 P	22:36	1.67 P																																																																														
<p style="text-align: center;">ANCONCITO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">14/01/2019 Lunes </th> <th colspan="2">15/01/2019 Martes</th> <th colspan="2">16/01/2019 Miércoles</th> </tr> <tr> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>03:15</td> <td>0.58 B</td> <td>04:16</td> <td>0.57 B</td> <td>05:23</td> <td>0.52 B</td> </tr> <tr> <td>09:17</td> <td>1.50 P</td> <td>10:24</td> <td>1.47 P</td> <td>11:41</td> <td>1.51 P</td> </tr> <tr> <td>15:16</td> <td>0.62 B</td> <td>16:20</td> <td>0.68 B</td> <td>17:34</td> <td>0.70 B</td> </tr> <tr> <td>21:42</td> <td>1.71 P</td> <td>22:44</td> <td>1.69 P</td> <td>23:52</td> <td>1.71 P</td> </tr> </tbody> </table>						14/01/2019 Lunes 		15/01/2019 Martes		16/01/2019 Miércoles		Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	03:15	0.58 B	04:16	0.57 B	05:23	0.52 B	09:17	1.50 P	10:24	1.47 P	11:41	1.51 P	15:16	0.62 B	16:20	0.68 B	17:34	0.70 B	21:42	1.71 P	22:44	1.69 P	23:52	1.71 P	<p style="text-align: center;">ANCONCITO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">14/02/2019 Jueves</th> <th colspan="2">15/02/2019 Viernes</th> <th colspan="2">16/02/2019 Sábado</th> </tr> <tr> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>04:40</td> <td>0.50 B</td> <td>05:56</td> <td>0.46 B</td> <td>00:34</td> <td>1.75 P</td> </tr> <tr> <td>11:03</td> <td>1.57 P</td> <td>12:26</td> <td>1.65 P</td> <td>07:05</td> <td>0.36 B</td> </tr> <tr> <td>17:01</td> <td>0.71 B</td> <td>18:25</td> <td>0.69 B</td> <td>13:35</td> <td>1.79 P</td> </tr> <tr> <td>23:18</td> <td>1.70 P</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>19:38</td> <td>0.59 B</td> </tr> </tbody> </table>						14/02/2019 Jueves		15/02/2019 Viernes		16/02/2019 Sábado		Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	04:40	0.50 B	05:56	0.46 B	00:34	1.75 P	11:03	1.57 P	12:26	1.65 P	07:05	0.36 B	17:01	0.71 B	18:25	0.69 B	13:35	1.79 P	23:18	1.70 P	--	--	19:38	0.59 B
14/01/2019 Lunes 		15/01/2019 Martes		16/01/2019 Miércoles																																																																															
Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros																																																																														
03:15	0.58 B	04:16	0.57 B	05:23	0.52 B																																																																														
09:17	1.50 P	10:24	1.47 P	11:41	1.51 P																																																																														
15:16	0.62 B	16:20	0.68 B	17:34	0.70 B																																																																														
21:42	1.71 P	22:44	1.69 P	23:52	1.71 P																																																																														
14/02/2019 Jueves		15/02/2019 Viernes		16/02/2019 Sábado																																																																															
Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros																																																																														
04:40	0.50 B	05:56	0.46 B	00:34	1.75 P																																																																														
11:03	1.57 P	12:26	1.65 P	07:05	0.36 B																																																																														
17:01	0.71 B	18:25	0.69 B	13:35	1.79 P																																																																														
23:18	1.70 P	--	--	19:38	0.59 B																																																																														
<p style="text-align: center;">ANCONCITO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">14/03/2019 Jueves </th> <th colspan="2">15/03/2019 Viernes</th> <th colspan="2">16/03/2019 Sábado</th> </tr> <tr> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>02:59</td> <td>0.47 B</td> <td>04:07</td> <td>0.53 B</td> <td>05:26</td> <td>0.53 B</td> </tr> <tr> <td>09:20</td> <td>1.75 P</td> <td>10:35</td> <td>1.72 P</td> <td>11:59</td> <td>1.77 P</td> </tr> <tr> <td>15:21</td> <td>0.71 B</td> <td>16:41</td> <td>0.77 B</td> <td>18:07</td> <td>0.74 B</td> </tr> <tr> <td>21:34</td> <td>1.79 P</td> <td>22:52</td> <td>1.75 P</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> </tbody> </table>						14/03/2019 Jueves 		15/03/2019 Viernes		16/03/2019 Sábado		Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	02:59	0.47 B	04:07	0.53 B	05:26	0.53 B	09:20	1.75 P	10:35	1.72 P	11:59	1.77 P	15:21	0.71 B	16:41	0.77 B	18:07	0.74 B	21:34	1.79 P	22:52	1.75 P	--	--	<p style="text-align: center;">ANCONCITO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">14/04/2019 Domingo</th> <th colspan="2">15/04/2019 Lunes</th> <th colspan="2">16/04/2019 Martes</th> </tr> <tr> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> <th>Hora hh:mm</th> <th>Altura Metros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>05:00</td> <td>0.61 B</td> <td>06:14</td> <td>0.56 B</td> <td>01:03</td> <td>1.94 P</td> </tr> <tr> <td>11:33</td> <td>1.91 P</td> <td>12:45</td> <td>2.01 P</td> <td>07:18</td> <td>0.47 B</td> </tr> <tr> <td>17:50</td> <td>0.77 B</td> <td>19:02</td> <td>0.66 B</td> <td>13:43</td> <td>2.16 P</td> </tr> <tr> <td>23:53</td> <td>1.83 P</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>20:01</td> <td>0.51 B</td> </tr> </tbody> </table>						14/04/2019 Domingo		15/04/2019 Lunes		16/04/2019 Martes		Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	05:00	0.61 B	06:14	0.56 B	01:03	1.94 P	11:33	1.91 P	12:45	2.01 P	07:18	0.47 B	17:50	0.77 B	19:02	0.66 B	13:43	2.16 P	23:53	1.83 P	--	--	20:01	0.51 B
14/03/2019 Jueves 		15/03/2019 Viernes		16/03/2019 Sábado																																																																															
Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros																																																																														
02:59	0.47 B	04:07	0.53 B	05:26	0.53 B																																																																														
09:20	1.75 P	10:35	1.72 P	11:59	1.77 P																																																																														
15:21	0.71 B	16:41	0.77 B	18:07	0.74 B																																																																														
21:34	1.79 P	22:52	1.75 P	--	--																																																																														
14/04/2019 Domingo		15/04/2019 Lunes		16/04/2019 Martes																																																																															
Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros																																																																														
05:00	0.61 B	06:14	0.56 B	01:03	1.94 P																																																																														
11:33	1.91 P	12:45	2.01 P	07:18	0.47 B																																																																														
17:50	0.77 B	19:02	0.66 B	13:43	2.16 P																																																																														
23:53	1.83 P	--	--	20:01	0.51 B																																																																														

Tabla 3.5.- Altura de marea.

Fuente: INOCAR.

3.2 Geología

3.2.1 Geología regional

La costa ecuatoriana se ubica al Oeste de la Cordillera de los Andes, sobre la cual se ha depositado materiales detríticos que constituyen las formaciones geológicas de origen marino del litoral ecuatoriano y posteriormente formaciones de origen sublitorales – continental de la cuenca del río Guayas.

En la región afloran rocas básicas ígneas, de edad cretácica, con sedimentos del Cretáceo Superior y Terciario Inferior y rocas intrusivas, todas formando especialmente las partes más elevadas del terreno. Sedimentos cuaternarios constituidos por pequeñas terrazas de arena y arcillas, así como también aluviones consolidados por manglares, conformados por innumerables riachuelos que cubren la mayoría del terreno más plano, especialmente en el Sur y al Este. (CAMPOVERDE, 2013)

3.2.1.1 Los cerros de la cordillera de Chongón-Colonche.

La cordillera Chongón Colonche constituye la principal anomalía fisiográfica de la costa ecuatoriana, con una dirección NO – SE desde Guayaquil hasta el sector de Olón-Pedro Pablo Gómez. Ocupa el cuadrante Noroeste del área metropolitana de Guayaquil y se desarrolla hacia el Oeste a partir de los cerros del Barrio San Pedro y la ciudadela Bellavista. Se trata de una estructura homoclinal de rumbo general promedio N 110° y un buzamiento promedio de 17° (variable entre 15° y 40°) hacia el Sur.

Las unidades geomorfológicas son colinas altas (200-400 m) y colinas medias (100-200 m), de crestas agudas que levanta rocas antiguas del Paleógeno y del Cretáceo, las mismas que están sometidas a procesos erosivos intensos desde aproximadamente el Eoceno superior.

En este macro- dominio están comprendidas las rocas de las formaciones Ancón, Las Masas, San Eduardo, Guayaquil, Cayo y Piñón. Las geoformas de esta área están asociadas en tres dominios bien definidos. (MITE, 1989)

3.2.1.2 Formación Piñón (Jurásico-Cretáceo)

La base de las formaciones sedimentarias cretácicas y terciarias está compuesta por rocas ígneas básicas, con intercalaciones de escasos estratos marinos, denominados como la Formación Piñón. Es un complejo de composición variada (diabasa, basalto, andesita, dolerita, loba). Existen bastantes afloramientos en la zona. La potencia aproximadamente es de 3000m (SENAGUA, 2011). Las rocas de la formación Piñón tienen localmente segregaciones de características granodioríticas. Cerca de estos ambientes se encuentra a veces incrustaciones de especularita, (un tipo de mineral de hierro). En algunos sitios estas rocas están penetradas localmente por diques basálticos porfíricos y en general, por rocas ígneas básicas de color gris oscuro a negro, tales como gabros y diabasas. En la sección tipo del cerro San José la roca fresca es de color verde y la parte meteorizada de color café claro. La geomorfología de la llanura del río Guayas, presentan una superficie plana con terrenos de edad reciente que son de fácil erosión (MIDUVI, 2011). (THALMAN, 1946)

3.2.1.3 Formación Cayo (Cretáceo Superior)

La formación definida por Olsson (1931). Tiene un contacto gradual, hasta discordancia angular suprayacente a la Formación Piñón. Los afloramientos principales se encuentran en las canteras del Cerro San Eduardo al norte de la ciudad de Guayaquil. La base está formada por areniscas, grauvacas, lutitas y más comunes las argilitas, de color gris, verde y habano forman la mayoría de la Formación. Los afloramientos en el Cerro de Calentura han sido distinguidos anteriormente (THALMAN, 1946) como miembro basal de la Formación Cayo, debido a la correlación con afloramientos cerca del Río Paco 40 km al NW de Guayaquil en la región de Chongón.

En la localidad tipo este "Miembro Calentura" consta de argilitas, argilitas calcáreas y areniscas bien estratificadas de color gris oscuro, negro y rojo, que contienen *Guembelina striata* (Ehrenberg), *G. globulosa* (Reuss) y *Globigerina* cretácea (THALMAN, 1946). Las rocas del Cerro Calentura, por su litología, corresponden más al Miembro Guayaquil que en su parte más

alta constituido por argilitas y areniscas calcáreas, con cherts, todos bien silicificados.

La silicificación es mayormente secundaria (Sinclair y Berkey, 1924) y la secuencia no tiene una unidad litológica distinta: por esta razón descontinúa hablar de una "Formación Guayaquil" (BRISTOW, 1979). La formación Cayo forma una secuencia amplia de estratificaciones delgadas a gruesas generalmente con buzamiento al sur. La potencia es incierta, en la zona es posible que llegue hasta 2500m. La edad de la formación Cayo es Senoniana (Bristow, 1946; Sigal, 1968).

3.2.1.4 Miembro Guayaquil

Este es un miembro de la Formación Cayo. Pertenece al Cretáceo Superior. Está compuesta por argilitas silicificadas, con cherts en capas delgadas de color anteado hasta e intercalaciones de argilitas tobáceas y tobas de color gris oscuro o verdoso en estratos bien definidos. Localmente la roca puede ser reemplazada completamente por sílice. Se observan también vetas de sílice calcedonia azul, casi opalescente, nódulos de pirita y vetas de cuarzo. El miembro se encuentra con una potencia de 450m., en las cordilleras de Chongón y Colonche hasta unos 80 km., al NW de Guayaquil, también en los cerros aislados cerca de Durán y con un metamorfismo ligero en los Cerros de Taura, al SE de Guayaquil incorporados en el Complejo Olitostromico de Santa Elena. La Formación Guayaquil descansa discordantemente sobre la Formación Cayo, pero en la realidad hay una transición gradual entre las dos unidades. Mucha de la silicificación puede ser secundaria por lo que es posible que la edad de los niveles silicificados varíe por lo tanto se considera Miembro (HOFFSTETTER, 1977).

3.2.1.5 Formación Tosagua (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior)

En la parte principal de la Cuenca solamente el basal, el Miembro Zapotal, aflora en esta región. Fue definida por los geólogos de IEPC en los alrededores de la población de Tosagua, aunque las primeras publicaciones corresponden a Stainforth (1948) y Tschopp (1948). Los geólogos de IEPC

también la llamaron Formación Jaramijó y Dos Bocas, pero se prefirió el de Tosagua. Es la formación que aflora más extensamente en el flanco occidental de la Cuenca Manabí y en sectores de la CCO donde incluye rocas del Oligoceno. Benítez (1995) propone que la Formación Tosagua abarque solamente las rocas miocénicas, ubicando a las rocas oligocenas en la Formación Playa Rica. La Formación Tosagua así definida es un equivalente estratigráfico de las formaciones Dos Bocas + Villingota + Subibaja tal como Benítez (1995) la definió en Cuenca Progreso.

3.2.1.6 Miembro Zapotal (Oligoceno Superior)

Definido como “Zapotal Sandstone” por Olsson (1931) y como formación por Canfield (1966), actualmente está considerado como miembro basal transgresivo de la Formación Tosagua (Bristow, 1975). Es una secuencia de sedimentos depositados en aguas pocas profundas, en que predominan conglomerados cuarcíferos y areniscas duras, intercaladas por capas de areniscas porosa quebradiza de grano grueso, limonitas y lutitas. Descansa con discordancia sobre la Formación Piñón. La potencia varía de 0 a 700 m. el Miembro Zapotal es de edad oligocénica superior (Bristow, 1915).

3.2.1.7 Depósitos Coluviales (Cuaternario)

Se encuentran depositados sobre los márgenes del pequeño estero que drena al sector, por lo que se estima que su potencia es muy limitada, no mayor a los primeros metros.

Son de composición limosa a arenosa, en varios lugares se puede observar la presencia material orgánico en precario estado de descomposición. Estos depósitos presentan cierta estratificación, teniendo una idea que se formaron por el desbordamiento del estero en épocas invernales (MIDUVI, 2011). Material arrastrado principalmente se encuentra constituyendo un relleno al pie del Cerro Azul (SENAGUA, 2011).

3.2.1.8 Depósitos Aluviales (Holoceno)

Localizados principalmente en las partes bajas de las colinas estructurales, con un ancho máximo de 2 kilómetros, fisiográficamente se los puede relacionar a valles coluvio – aluvial dentro del conjunto de colinas estructurales, formado por la sedimentación holocénicos de origen coluvio-diluvial, de poca potencia, estimativamente no mayor a los 10 metros.

Litológicamente predominan suelos de granulometría fina, limos y arcillas saturadas, debido a que los niveles piezométricos son altos, de colores grises claros a amarillentos. Los clastos de roca sedimentaria no sobrepasan los 10 centímetros de diámetro y su relación en porcentaje a los materiales finos es menor al 5% (MIDUVI, 2011). Se trata de depósitos constituidos por lodos y limos alrededor de los ríos que forman el drenaje del Río Guayas; cubren grandes partes del Este y Sur de la región. La parte pequeña posee pequeñas trazas de arcillas y arenas flojamente compactadas. La potencia es de 500 m. en la zona (SENAGUA, 2011).

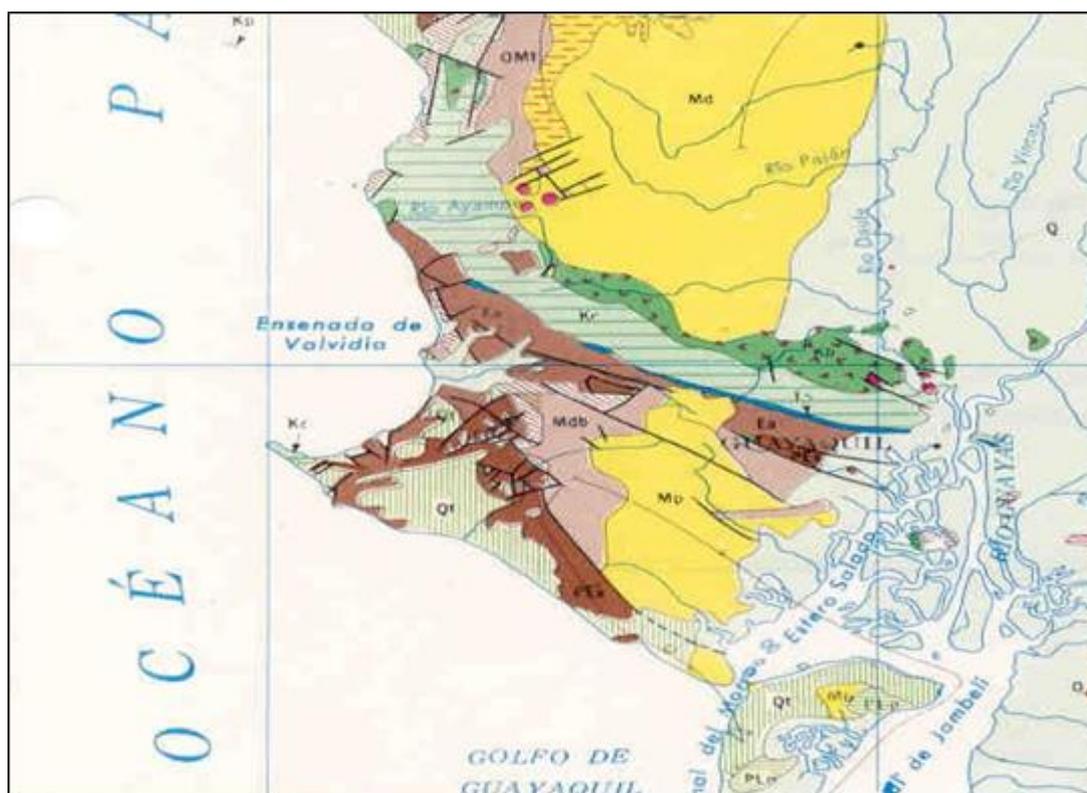


Figura 3.15.- Mapa geológico con escala 1:2'000.000

Fuente: Ing. Gastón Proaño.

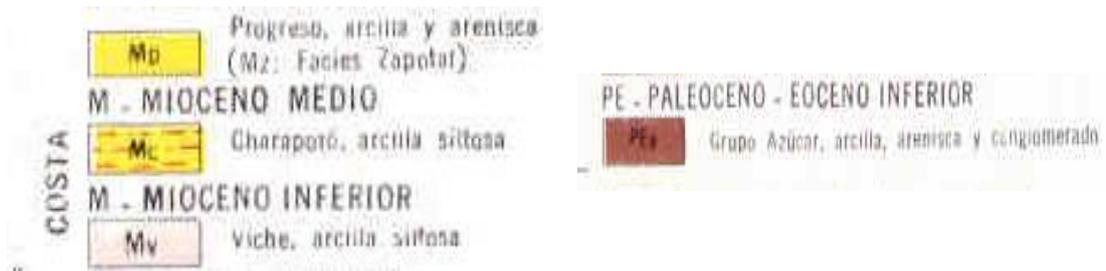


Figura 3.16.- Descripción geológica

Fuente: Ing. Gastón Proaño.

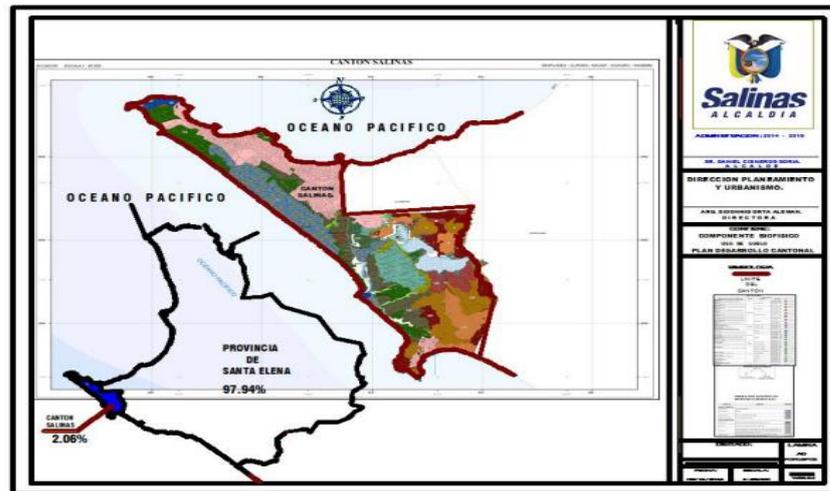


Figura 3.17.- Mapa geológico del cantón Salinas

Fuente: Plan de desarrollo cantonal de Salinas 2014 - 2019

3.2.2 Geología local

Tanto en la península de Santa Elena como en la zona del río Guayas, las formaciones se encuentran rellenando cuencas sucesivas e imbricadas que demuestran una repetición de ciclos sedimentarios en áreas hundidas. En orden cronológico sobre el basamento cretácico de tipo corteza oceánica y su cubierta sedimentaria Cayo y Estancia se consideran las siguientes cuencas: Ancón, Progreso, Río Guayas y Golfo de Guayaquil. Desde el Cretáceo Superior hasta el Cuaternario los sedimentos muestran una disminución de la profundidad pasando del tipo turbidítico a sedimentos litorales y fluviales.

Fases de fallamientos asociadas a una tectónica de gravedad, formaron las sucesivas cuencas complicando la tectónica de las pre-existentes. De esta manera, parte de las formaciones cretácicas paleocénicas y eocénicas se agruparon en el Complejo Olitostromico de Santa Elena en el Oligoceno Superior o según Azad (1968), Colman (1970), Feininger y Bristow (1980) al fin del Eoceno Superior.

En la zona de Salinas afloran formaciones desde el paleoceno Inferior, hasta el presente. Lo característico son las formaciones recientes (tablazos) que están los núcleos antiguos:

3.2.2.1 Formación Tablazo (Plioceno y Holoceno).

El nombre tablazo es aplicado a las terrazas marinas del Perú, usado por extensión en el Ecuador (Tschopp, 1948), se reconocen 3 tablazos en la costa, en las provincias de Guayas y Manabí; hay caracteres paleontológicos en los tres, pero no están completamente descritos (Bristow y Hoffstetter, 1977). El tablazo más alto se atribuye con reservas al Pleistoceno inferior; el tablazo medio (Santa Elena; San Pablo, T2) contiene fósiles que sugieren una facies algo salobre; el tablazo bajo (Muey; Colonche; T3) corresponde a un mar abierto del Pleistoceno superior; contiene especies casi todas actuales, pero que revelan algunas modificaciones en la distribución. Los 3 niveles de tablazos constituyen la Formación Tablazo (Bristow y Hoffstetter, 1977).

Esta formación se presenta alrededor de la Cuenca Progreso en las Áreas litorales. Su litología hace lentes de lumaquelas, areniscas calcáreas, arenas conglomeráticas arcillosas con conchas y nódulos, y arenas finas, con un aproximado espesor de 40 metros que llega hasta 80 metros en Isla Puná.

3.2.2.2 Grupo Azúcar (Paleoceno Inferior)

En el grupo Azúcar se encuentra en la cercanía de la represa Velasco Ibarra (definido por Smith en 1967) en el Cerro de Azúcar. Se trata de una serie de areniscas y conglomerados con partes menores de cantos suaves correspondientes a un abanico submarino profundo, Moreno (1983).

Basados sobre estudios de micropaleontología “Thalman 1946” atribuyó una edad – paleoceno a este grupo.

3.2.2.3 Grupo Ancón (Eoceno Medio y Superior).

Definido por Williams (1947) en las quebradas de Seca y Socorro cerca de Ancón.

Bajo este nombre se agrupan tres formaciones que se pueden diferenciar solamente en la Cuenca Ancón: Clay Pebble Beds, Socorro y Seca (Smith y Williams 1947, en Bristow y Hoffstetter 1977). Garner, 1956 dividió el grupo Ancón en dos formaciones y cuatro miembros a saber:

FORMACIÓN SECA (arriba):

- Miembro Arenisca Punta Ancón
- Miembro Lutita Seca

FORMACIÓN SOCORRO (ABAJO):

- Miembro Socorro
- Miembro Clay Pebble Bed

La lutita Seca Falsa de Marchant (1957), en Bristow y Hoffstetter 1977, se ubica en la base del miembro superior Socorro según Colman (1970).

Sauer (1965) y Canfield (1966) adoptaron un uso diferente del grupo Ancón, pero sin modificar los miembros. Azad (1968), Colman (1970) Bristow y Hoffstetter (1977) y Feininger y Bristow (1980) consideran a los miembros no como divisiones estratigráficas sino como olistolitos dentro de un complejo olitostrómico.

Para definir al grupo Ancón en este estudio se han adoptado las divisiones las estratigráficas de Garner, considerando que deslizamientos y fallas inversas normales e inversas, debido a dos fases tectónicas de hundimiento, han producido inversiones estratigráficas en la Cuenca Ancón. En las depresiones de Chongón y Colonche, también aflora el grupo Ancón tal es así que la Formación Seca, se diferencia claramente en la primera de las depresiones.

3.2.2.4 Formación socorro (Eoceno Medio y Superior).

Como anteriormente se anota, está constituida por los miembros Clay Pebble Bed y Socorro.

Miembro Clay Pebble Bed (Eoceno Medio, parte superior). - Espesor 500 metros, aflora en los acantilados de Ancón y en la Quebrada Socorro. Su litología consiste de arcillas verdes grises afectadas por espejos de fricción, guijarros de arcilla (tipo Estancia o Passage Beds), cuarzo, cuarcita, conglomerados, chert, rocas ígneas, calizas (tipo San Eduardo) y olistolitos de areniscas turbidíticas (tipo miembro Superior Socorro). Este miembro podrá ser definido como una brecha sedimentaria compuesta de fragmentos de todas las formaciones preexistentes, lo que sugiere que se trata de un depósito originado por movimientos tectónicos que acontecieron en la Cuenca Ancón. Hay que notar que los olistolitos tipo miembro Socorro se encuentra solamente al contacto con el miembro Superior Socorro (Bristow y Hoffstetter, 1977), lo que hace suponer que puede ser debido a fallas inversas. La edad de este miembro según Cushman y Stainforth (1951), Polugar (en Small, 1962) (según el Léxico Estratigráfico Bristow y Hoffstetter 1977) es Eoceno Medio parte superior.

Miembro Socorro (tope del Eoceno Medio y base del Eoceno Superior). Espesor aproximado de 700 metros, este miembro agrupa la lutita Seca Falsa y el miembro Socorro Superior de Marchant (1957). Es la Socorro slice de Azad, (1968) y Colman (1970) y se encuentra incluida dentro del Complejo Olitostromico de Santa Elena (en Bristow y Hoffstetter, 1977). Su localidad tipo es la quebrada Socorro en la Cuenca Ancón y tiene una edad limitando el Eoceno Medio y el Eoceno Superior. Según Manley, 1957 las lutitas conocidas como lutita Seca Falsa están en el tope del Eoceno Medio y las areniscas y lutitas turbidíticas de Socorro Superior están en la base del Eoceno Superior.

Los foraminíferos de las capas arenosas enseñan una mezcla del Eoceno Medio y Superior (Bristow y Hoffstetter, 1977 p. 318). Además, se observan en la base del miembro Socorro deformaciones plásticas y pliegues disarmónicos.

3.2.2.5 Formación seca (Eoceno Superior).

En esta formación están agrupados los miembros lutita seca y areniscas Punta Ancón que afloran en la Cuenca Ancón.

Miembro Lutita Seca (Eoceno Superior). - Este miembro aflora en la quebrada seca, cerca de Punta Mambra al Norte de Santa Elena hacia San Pablo. Se trata de lutitas turbidíticas distales (la más alejadas de sus fuentes de origen) y de areniscas y lutitas parecidas a las de Socorro como en Punta Mambra. En algunos horizontes se ven pequeños olistolitos de la Formación Socorro. Tres biofacies se reconocen en este miembro: nerítico, arrecifal y de radiolarios. Según los foraminíferos y un reptil la edad de este miembro es de Eoceno Superior (Bristow y Hoffstetter 1977).

Miembro Arenisca Punta Ancón (Eoceno Superior). - En la localidad tipo Punta Ancón, aproximadamente 100 metros de estratos están supra yaciendo en contacto disconformable sobre el precedente miembro y hacia el Norte entre Santa Elena y San Pablo. La litología es predominantemente areniscas grauwaquicas con algunas capas arcillosas, conglomerados ligníticos, capas calcáreas biohémicas y lutitas interestratificadas. En este miembro se incluye una arenisca blanca localmente brechosa de ceniza volcánica que aflorando en la zona de Punta Ancón. Según los foraminíferos y los radiolarios que ocurren en las lutitas interestratificadas la edad es parecida a las del mismo miembro Seca es decir Eoceno Superior (Bristow y Hoffstetter 1977), (AREO, 1983).(REITER, 1990)

3.3 Amenazas geológicas en el área de estudio

En el sector 9 de octubre se produjo un deslizamiento de suelo en el mes de marzo del año 2017, teniendo como problemática en la comunidad de la parroquia Anconcito, el cierre de la avenida principal que conecta la ciudad con el puerto pesquero. Dicho suceso se debió a la presencia de

fuertes lluvias, también conocido como el fenómeno Enzo en la temporada invernal.

La infiltración de aguas lluvias y las obras de evacuación de las aguas superficiales causaron el debilitamiento del talud con la caída del terreno rocoso.

3.4 Fallas locales

- Falla San José esta falla es de tipo inversa, posee una longitud 34.25 kilómetros con una profundidad de 20 kilómetros.
- Falla Valdivia esta falla es de tipo Cizalla dextral, tiene una longitud 24.57 kilómetros, con una profundidad de 20 kilómetros.
- Falla Bachiller esta falla es de tipo inversa, con una longitud 28.18 kilómetros, tiene una profundidad de 18 kilómetros, ancho de la falla 14 Km.
- Falla Salinas esta falla es de tipo inferida, tiene una longitud 16.17 kilómetros, con una profundidad de 20 kilómetros, ancho 14 Km.
- Falla Anconcito esta falla es de tipo inferida, tiene una longitud 11.08 kilómetros, con una profundidad de 20 kilómetros, ancho 16 Km.
- Falla Chanduy esta falla es de tipo normal, con una longitud 22.00 kilómetros, tiene una profundidad de 12 kilómetros, ancho 16 Km.
- Falla Prisma 6 esta falla es de tipo inversa, con una longitud 80 kilómetros, tiene una profundidad de 18 kilómetros, ancho 8 Km.
- Falla Prisma 7 esta falla es de tipo inversa, tiene una longitud 80 kilómetros, con una profundidad de 18 kilómetros, ancho 16 Km.
- Falla La Cruz esta falla es de tipo normal, tiene una longitud 69.89 kilómetros, con una profundidad de 16 kilómetros, ancho 10 Km.



Figura 3.18.- Tipos de fallas locales.

Fuente: Ing. Carlos Vera.

3.4.1 Identificación de fallas

Según la información proporcionada por el Ing. Carlos Vera, las fallas locales que afecta el sitio de investigación de la tesis en las siguientes: Del listado suministrado, la falla Anconcito es la que tiene la influencia directa en el sitio del Barrio 9 de octubre de la parroquia Anconcito.

En los afloramientos de los acantilados de Anconcito se evidencian estructuras plegadas estructuras plegadas “flame” y “convolucionadas” asociadas a microfallas inversas de deformación sin-sedimentaria por desplazamientos laterales transpresivos como lo mencionan en el plan de desarrollo y de ordenamiento territorial del cantón Salinas 2014 – 2019.

Mediante su análisis geotécnico verifica dos fenómenos geológicos principales asociados a la tectónica como el desprendimiento en bloques en los bordes de los acantilados y el deslizamiento de masas rocosas a lo largo de tres principales planos de fallas geológicas de tipo normal considerando como la más crítica (Chunga, 2009).

El ing. Hernán Poveda Zúñiga menciona que Anconcito se encuentra ubicada en una zona geológica muy inestable debido a las múltiples fallas geológicas activas por estar en una transpresional (fenómeno tectónico).



Figura 3.19.- Mapa geológico de la península de Santa Elena.
Fuente: Ing. Gastón Proaño.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA Y FASES DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Metodología

Existen varios modelos para el dimensionamiento de un macizo rocoso, como es el caso de:

- Modelo Geológico: Involucra la litología, hidrología, meteorización, estructura, caracteres geomecánicos – discontinuidades.
- Modelo Geotécnico: Incluye las propiedades mecánicas - discontinuidades del macizo rocoso, tensiones naturales, calidad de excavación, calidad del macizo rocoso, propiedades mecánicas de los materiales.
- Modelo Matemático: Comprende modelos continuos, modelos discontinuos y el equilibrio límite.

4.1.1 Metodología aplicada

En la presente tesis se ha definido el uso del *modelo geológico y clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)* para la evaluación y caracterización geomecánica del macizo rocoso existente en el sector 9 de Octubre de la parroquia Anconcito del cantón Salinas.

4.1.1.1 Descripción de la metodología aplicada

Se denomina modelo geológico de un macizo rocoso a la representación bidimensional o tridimensional de un volumen de rocas. En este modelo se pondrá especial atención en la parte estructural del macizo rocoso.

La metodología propuesta por Bieniawski (RMR), analiza la calidad del macizo rocoso, el cual es un conjunto compuesto por una matriz rocosa y una serie de discontinuidades, las cuales son medios anisotrópicos, no homogéneos y continuos, por esto se deben tener en cuenta las siguientes definiciones y características para realizar la evaluación de los mismo.

Para la representación final de los factores geológicos que definen el modelo geológico a seguir, se reúne toda la información sobre topografía, fotografías aéreas y geología. Los factores geológicos necesarios son:

- Litología y meteorización
- Estructura del macizo rocoso
- Caracteres de las discontinuidades
- Flujo de agua en el macizo rocoso.

4.1.1.2 Identificación del material

Litología. - El concepto “roca” no se ha definido con tanta precisión como otros conceptos, por ejemplo, el de mineral; por tanto, los límites que comprenden este término no están bien determinados. Así, se puede considerar la roca como el elemento constructivo fundamental de la litosfera o, también como un conjunto de agregados mono o poliminerales.

El ciclo geoquímico de las rocas es el siguiente:

Primero se formó la corteza rocosa; los materiales fluidos procedentes de zonas profundas han seguido y siguen actualmente su camino al ascenso hacia la superficie terrestre. Estos materiales, que consisten en una masa rocosa fluida, en la que pueden coexistir fases sólidas, líquidas y gaseosas, se denominan magmas. Cuando los magmas ascienden a zonas superiores, se produce su consolidación. Esta consolidación puede producirse bien en superficie, o bien en una determinada profundidad.

En caso de producirse la consolidación en superficie, ésta tiene lugar de manera brusca y, por tanto, no se forman cristales grandes; a veces la roca queda vitrificada. Así se originan las rocas volcánicas.

Cuando la consolidación se produce en profundidad, los cristales se pueden ir desarrollando, debido al enfriamiento lento; así se forman las rocas intrusivas.

El conjunto de rocas volcánicas e intrusivas constituyen las rocas ígneas.

Las rocas quedan expuestas a la erosión; sus componentes son destruidos y transportados en disolución o llevados en suspensión por las aguas superficiales, hasta que, por último, llegan al mar, donde se depositan. Los materiales, más o menos ordenados, depositados en los fondos marinos van sufriendo una compactación bajo el efecto de nuevos sedimentos. Mediante este proceso, se forman las rocas sedimentarias.

En ciertas zonas al acumularse los sedimentos, se produce un hundimiento de fondo marino y una elevación de grado geotérmico; de esta manera las fases que en superficie estaban en equilibrio, pasan a ser inestables al ir ganando profundidad, produciéndose una recristalización. Además, las rocas preexistentes, debido a las fuertes presiones laterales que existen en profundidad, se pliegan. En este proceso se originan las rocas metamórficas, que se caracterizan por su orientación mineral, que les da un aspecto foliado.

Meteorización de las rocas. – Se refiere a la modificación sufrida en la composición o estructura de una roca situada en la superficie terrestre o en sus proximidades, debido a la acción de los agentes atmosféricos.

Existen dos clases de meteorización según se produzca una desintegración de la roca por agentes físicos, o una descomposición por agentes químicos, incluyendo esta última la disolución.

Generalmente los efectos físicos y químicos de la meteorización se producen simultáneamente, pero depende del clima el hecho de que una u otra sea predominante.

La meteorización física comprende:

- a) Arranque directo de partículas por erosión.
- b) Congelación del agua en grietas y fracturas.

- c) Cambios de volumen en la roca, debido a variaciones de la temperatura.
- d) Acción de las plantas, especialmente de las raíces de los árboles.

La meteorización química comprende una serie de reacciones de oxidación, hidratación, hidrólisis, carbonatación y disolución, en las cuales los reactivos más importantes son: el agua, el oxígeno, el dióxido de carbono y los ácidos orgánicos.

El clima es el factor que condiciona el tipo de meteorización que se produce:

- Meteorización física en climas cálidos y secos, o fríos y secos.
- Meteorización química en climas cálidos o templados y húmedos.

La desintegración afecta la zona más superficial, favoreciendo la descomposición posterior en climas templados.

La descomposición produce cambios de composición de la roca y alcanza mayor profundidad en el macizo rocoso.

A causa de la meteorización, la roca sana pasa a suelo, normalmente a través de una serie de estados intermedios.

Se han creado una serie de escalas empíricas para el trabajo de campo. Puede establecerse otras escalas más precisas, utilizando, por ejemplo, la alteración de la dureza, que se puede determinar mediante el martillo de Schmidt; también se puede emplear la variación de velocidad de propagación de las ondas P, pero para este caso de estudio se utilizó el método del rebote con el martillo de Schmidt.

A continuación, se presentan dos escalas de meteorización, una propuesta por D.G. Moye para las rocas sedimentarias de origen detrítico: areniscas, limolitas y argilitas como se detalla en la tabla 4.1. Tabla que se obtuvo de la publicación "Propiedades mecánicas de las rocas y de los macizos rocosos".

ESCALA DE METEORIZACIÓN DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS LUTRÍTICAS (Según D.G. Moye)		
GRADO DE METEORIZACIÓN	DENOMINACIÓN	CRITERIOS DE RECONOCIMIENTO
I	Sana	Roca no meteorizada. Conserva el color y

		el lustre en toda la masa.
II	Sana con juntas teñidas de óxidos	Las caras de las juntas están manchadas de óxido, pero el bloque unitario entre juntas mantiene el color y el lustre de la roca sana.
III	Moderadamente meteorizada	Claramente meteorizada a través de la petrofábrica, reconociéndose el cambio de color respecto a la roca sana. El cambio de color puede ser desde simples manchas a variación de color en toda la masa, generalmente los colores típicos de óxidos de hierro. La resistencia de la roca puede variar desde muy análoga a la roca grado II a bastante más baja, pero tal que trozos de 25 cm.2 de sección no pueden romperse a mano.
IV	Muy meteorizada	Roca intensamente meteorizada, que puede desmenuzarse a mano y romperse, aunque sus elementos son perfectamente reconocidos.
V	Completamente meteorizada	Material con aspecto de suelo, completamente descompuesto por meteorización "in situ", pero en el cual se puede reconocer la estructura de la roca original. Los elementos constitutivos de la roca se encuentran diferenciados, aunque totalmente transformados.

Tabla 4.1.- Escala de meteorización de las rocas sedimentarias lutríticas.

Fuente: Propiedades mecánicas de las rocas y de los macizos rocosos, D.G.

Moye.

El grado de meteorización del macizo rocoso ha quedado descrito en las escalas de meteorización de las rocas sedimentarias detríticas de D.G.Moye. En cuanto al grado de meteorización (alteración) del material en los labios de las discontinuidades, se puede describir tal como se presenta en la tabla 4.2.

GRADO DE METEORIZACIÓN DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES	
TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
Fresco	No hay signos visibles de meteorización del macizo rocoso.
Descolorido	El color es distinto del que tenían el material original sano. Hay que indicar el grado de cambio de color original. También hay que mencionar el caso en el que el cambio de color solo afecta a determinados minerales.
Descompuesto	La roca está meteorizada hasta alcanzar el grado de un suelo en el que la fábrica del material todavía permanece intacta, pero algunos o todos los granos minerales están descompuestos.
Desintegrado	La roca esta meteorizada hasta alcanzar el grado de un suelo en el que la fábrica del material original todavía permanece intacta. La roca es friable, pero los granos del mineral no están descompuestos.

Tabla 4.2.- Grado de meteorización de los labios de las discontinuidades.

Fuente: Procesos exógenos, Ing. Geológica.

DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
Descompuesta	0
Muy alterada	1
Moderadamente alterada	3
Ligeramente alterada	5
No alterada	6

Tabla 4.3.- Valoración del Grado de meteorización de los labios de las discontinuidades (Bieniawski, 1989).

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I González de Vallejo, 2004

Características resistentes. - Durante el levantamiento geotécnico es necesario identificar las propiedades resistentes de suelos y rocas.

Consistencia de los suelos:

Para identificar los suelos cohesivos, por ejemplo, arcillas, limos arcillosos y combinación de arcillas y limos con arena, generalmente poco drenados, se utilizan ensayos manuales como material de relleno de las discontinuidades como se muestra en la tabla 4.4.

IDENTIFICACIÓN DE LOS SUELOS COHESIVOS			
GRADO	DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	TENSIÓN DE COMPRESIÓN SIMPLE EN MPa.
S 1	Arcilla muy blanda	El puño de la mano penetra fácilmente varios centímetros.	< 0,025
S 2	Arcilla blanda	El dedo pulgar penetra fácilmente varios centímetros.	0,025 – 0,05
S 3	Arcilla firme	El dedo pulgar puede penetrar varios centímetros, pero con esfuerzo moderado.	0,05 – 0,10
S 4	Arcilla rígida	El dedo pulgar puede penetrar pero con mucho esfuerzo.	0,10 – 0,25
S 5	Arcilla muy rígida	Se puede clavar una chincheta.	0,25 – 0,50
S 6	Arcilla dura	Se puede clavar una chincheta pero con dificultad.	>0,50
R 0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0.25 – 1.0
R 1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se	1.0 – 5.0

		talla fácilmente.	
R 2	Roca blanda	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas.	5.0 – 25
R 3	Roca moderadamente dura	No puede tallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo	25 – 50
R 4	Roca dura	Se requiere mas de un golpe con el martillo para fracturarla.	50 - 100
R 5	Roca muy dura	SE requieren muchos golpes con el martillo para fracturarla.	100 – 250
R 6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo solo saltan esquirlas.	> 250

Tabla 4.4.- Identificación de los suelos cohesivos.

Fuente: Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramiento, Publicación del Instituto geológico y minero de España.

Resistencia de las rocas mediante el uso del martillo de Schmidt.

Una alternativa para obtener datos sobre la resistencia a la compresión del macizo rocoso, es el uso del martillo de Schmidt, o también llamado esclerómetro según la norma ASTM D5873-05 en conjunto a las especificaciones de la ISRM (1978c), por medio del ensayo de rebote. Este instrumento permite a partir de la resistencia al rebote de la superficie de la roca sometida al ensayo, o en función del rechazo de un martillo liviano, obtener los datos de su resistencia (figura 4.1). Se debe tener en cuenta que, previamente, la superficie sometida al ensayo debe estar limpia y pulida utilizando una piedra de amolar.

El valor del rebote obtenido mediante el martillo de Schmidt, tiene que ser obtenido estadísticamente, semejante a un valor característico. Siendo un método sencillo de aplicar se pueden tomar varias medidas, las mismas que a su vez se correlaciona con la resistencia mediante el gráfico de Miller (1965) de la figura 4.2, que considera la densidad de la roca la orientación del martillo con relación al plano a ensayar.



Figura 4.1.- Martillo de Schmidt y sus componentes (sección longitudinal).

Fuente: Martillo Schmidt, Antonio Lozano.

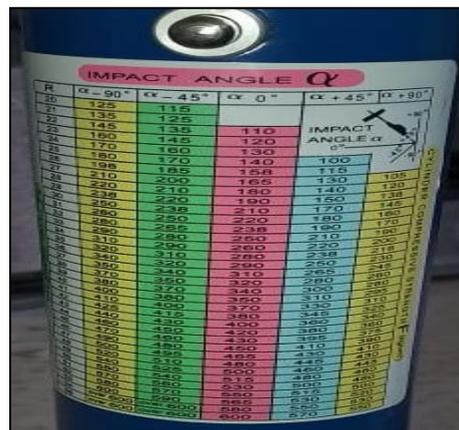


Figura 4.2.- Gráfico de Miller.

Fuente: Manrique M. Vania y Tigreiro R. Paola.

Descripción del martillo de Schmidt

El martillo está compuesto sobre todo por el cuerpo exterior, la masa del martillo, el resorte principal y el émbolo. Contiene un mecanismo de

enganche el cual bloquea la masa junto a la varilla del émbolo, y también una pestaña de desplazamiento para determinar la medida del rebote de la masa del martillo.

El manejo del martillo se basa en soltar el émbolo de su posición del bloqueo. Esto se obtiene empujando el émbolo contra la roca a ensayar, moviéndolo cautelosamente el cuerpo alejándolo de la roca, logrando que el émbolo se extienda desde el cuerpo y así se acople el pestillo a la masa del martillo en el vástago del émbolo.

El émbolo debe colocarse perpendicular a la superficie del macizo rocoso, y poco a poco se empuja el cuerpo hacia la roca a ensayar. Al momento de empujar el cuerpo, se estira el resorte principal que conecta el martillo a la masa. Al momento que el cuerpo ha sido empujado hasta el final, automáticamente el cierre se acciona, y la energía del resorte que ha sido almacenada empuja a la masa del martillo con dirección a la punta del émbolo. Esto afecta el hombro de la varilla del émbolo produciendo los rebotes. En el proceso de recuperación, se desplaza el indicador deslizante con la masa del martillo registrando la distancia del rebote. Para bloquear el émbolo en la posición aislada se presiona el botón que se encuentra a un lado del cuerpo, recabando así el número de rebote de la escala de valores.

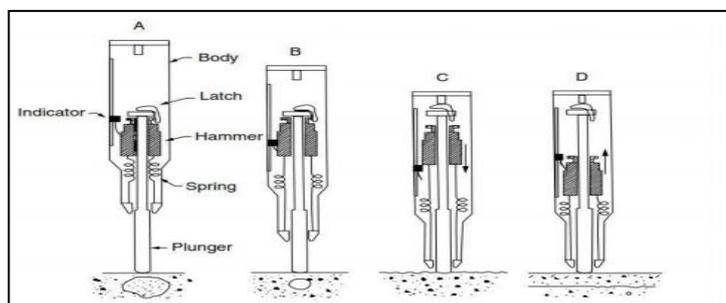


Figura 4.3.- Funcionamiento general del martillo Schmidt (Malhotra y Cancino, 2004).

Fuente: Simposio de habilitación profesional, Departamento de Ingeniería Civil, enero 2006.

Para la aplicación del ensayo del rebote, utilizamos un martillo modelo HT 225 A, que labora con una energía de impacto de 2,207 J. y a su vez

contiene una tabla de conversión en la parte posterior, siendo este instrumento adecuado para el uso en el terreno, como lo requiere este caso.

En el sitio de estudio de esta tesis, no se pudo realizar este ensayo puesto que el macizo rocoso está altamente alterado evitando así poder tener los datos correctamente, sin embargo, se lo pudo realizar en los alrededores del macizo del mismo sector 9 de Octubre de la parroquia Anconcito en donde la meteorización ha sido menor y nos permite obtener los siguientes datos requeridos en la tabla 4.5.

MEDIDA	UBICACIÓN	No. REBOTE	RESISTENCIA
#1	Latitud: -2,331113° Longitud: -80,891098°	0	-
#2	Latitud: -2,331184° Longitud: -80,890667°	30	210 kg/ cm ²
#3	Latitud: -2,330995° Longitud: -80,890672°	10	0 kg/ cm ²
#4	Latitud: -2,328800° Longitud: -80,889899°	27	165 kg/ cm ²
#5	Latitud: -2,328997° Longitud: -80,890101°	20	-
#6	Latitud: -2,328907° Longitud: -80,889990°	25	140 kg/ cm ²

Tabla 4.5.- Resultados de la resistencia por el ensayo de rebote.

Fuente: Manrique M. Vania y Tigrero R. Paola.



Figura 4.4.- Ubicación de los puntos 1, 2 y 3 donde se realizó el ensayo de rebote en el sector 9 de Octubre.

Fuente: Google Earth, Manrique M. Vania y Tigrero R. Paola.



Figura 4.5.- Ubicación de los puntos 4, 5 y 6 donde se realizó el ensayo de rebote en el sector 9 de Octubre.

Fuente: Google Earth, Manrique M. Vania y Tigrero R. Paola.



Figura 4.6.- Ensayo de rebote con el martillo de Schmidt.

Fuente: Google Earth, Manrique M. Vania y Tigrero R. Paola.



Figura 4.7.- Valor del número de rebotes obtenido in situ.

Fuente: Google Earth, Manrique M. Vania y Tigrero R. Paola.

Índice RQD (Rock Quality designation).

El grado de fracturación se expresa habitualmente por el valor del índice RQD, el cual puede ser medido en afloramientos, a partir de correlaciones empíricas como la Palmstrom, 1975 (en ISRM, 1981; tomado de González de Vallejo 2004).

Se calcula en función del número de discontinuidades en un metro cubico, las cuales se determinan a momento de realizar el levantamiento litológico-estructural, se obtiene la siguiente formula:

$$RQD = 115 - (3.3) J_v$$

Donde J_v es el número de discontinuidades en un metro cubico.

Con base en su valor obtenido de RQD se clasifica la calidad del macizo según la tabla 4.6.

A pesar de su utilidad, este índice no considera aspectos antes descritos como la orientación, separación, rellenos y de más características de los macizos rocosos; por esto se hace indispensable la descripción de campo.

RQD (%)	CALIDAD	VALORACIÓN
<25	Muy pobre	3
25-50	Pobre	8
50-75	Regular	13
75-90	Bueno	17
90-100	Muy bueno	20

Tabla 4.6.- Clasificación y valoración de Bieniawski de la calidad de macizo rocoso según el índice RQD.

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I González de Vallejo, 2004.

Resistencia de la roca.

Para el análisis de este parámetro se tendrá en cuenta la resistencia de la roca medida mediante ensayos de resistencia a la compresión simple y carga puntual, y su valoración se asigna teniendo en cuenta la tabla 4.7.

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)	CARGA PUNTUAL (MPa)	VALORACIÓN
Extremadamente dura	>250	>10	15
Muy dura	100 – 250	4 - 10	12
Dura	50 – 100	2 – 4	7
Moderadamente dura	25 – 50	1 – 2	4
Blanda	5 – 25	<1	2
Muy blanda	1 – 5	<1	1

Tabla 4.7.- Clasificación y valoración de Bieniawski de la resistencia de la roca.

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I González de Vallejo, 2004.

4.1.1.3 Descripción del macizo rocoso

Estructura.

Dominio estructural es la masa de roca delimitada por discontinuidades geológicas dentro de la cual la estructura es prácticamente homogénea.

Estructura del macizo rocoso es el conjunto de fallas, diaclasas, pliegues y demás características geológicas que definen una determinada región, en la que existen una serie de dominios estructurales perfectamente definidos y diferenciados entre sí.

Superficies de discontinuidad.

Pueden aparecer durante la formación de la roca o bien posteriormente, por causas tectónicas.

Al primer tipo de superficies de discontinuidad corresponden los planos de estratificación, los planos de laminación y la foliación primaria de las rocas plutónicas. Al segundo tipo de superficies de discontinuidad corresponden la esquistosidad, la pizarrosidad y las fracturas, que comprenden las fallas y las diaclasas. Cuando se mencione el vocablo “junta”, éste estará referido solamente a las diaclasas.

A continuación, se van a definir los conceptos anteriormente mencionados.

1.- Estrato. Es un nivel simple de litología homogénea o gradacional, depositado de forma paralela a la inclinación de la formación. Está separado de los estratos adyacentes por superficies de erosión. Donde aparece un solo tipo litológico, pueden ser difíciles de reconocer.

2.- Planos de laminación. Estas superficies de discontinuidad le dan a la roca un aspecto laminar de lechos muy delgados. Son debidos a la presión orogénica.

3.- Foliación. Se debe al paralelismo de pequeños lechos compuestos por uno o varios elementos dominantes de la estructura, cuando esta estructura no es debida a la estratificación.

4.- Esquistosidad. Una roca presenta esquistosidad cuando tiene una estructura en láminas u hojas paralelas, de origen tectónico, que puede corresponder a:

4.1.- “Esquistosidad de fractura” o “pliegues-fractura”. Está producida por una multitud de microfallas o micropliegues-falla muy próximos (espaciados del orden de algunos milímetros), que se superponen a una deformación continua apreciable y que separan laminas sin producir orientación de los minerales. Es sub-paralela al plan axial de los pliegues.

4.2.- “Esquistosidad de flujo”. Es un fenómeno debido a un aplastamiento que origina un reajuste de la textura de la roca, con orientación paralela de todos los minerales, planos, recristalizaciones y disoluciones orientadas. El resultado es la aparición de una anisotropía general, pero sin que existan discontinuidades. Es subparalela a la estratificación.

4.3.- “Foliación”. Se produce a continuación de la esquistosidad de flujo, cuando aumentan las condiciones de presión y temperatura, alcanzándose el metamorfismo; así se genera minerales metamórficos orientados, cada vez de talla mayor y la roca se convierte en una serie de hojas con

diferenciación mineralógica entre cada dos planos. Es subparalela a la estratificación.

5.- Pizarrosidad. Es la propiedad de las rocas de aspecto laminar, tales como las pizarras, que pueden dividirse en hojas delgadas.

6.- Fracturas. Son planos de discontinuidad originados cuando la roca ha estado sometida a un esfuerzo tectónico que sobrepasa su límite de rotura. Dentro de las fracturas tenemos las fallas y las juntas.

6.a) Falla. Se origina cuando las dos secciones que separa la fractura han sufrido desplazamiento, una respecto a otra, paralelamente a la fractura. La magnitud del desplazamiento puede variar entre milímetros y decenas de kilómetros.

6.b) Junta. La discontinuidad se denomina junta cuando el desplazamiento relativo de las dos secciones que separa la fractura es nulo o prácticamente nulo.

4.1.1.4 Caracterización geomecánica de las discontinuidades

Orientación.

La orientación de una discontinuidad en el espacio viene dada por la pendiente de la línea de máxima pendiente, medida desde la horizontal, buzamiento y por la dirección de la pendiente medida desde el norte verdadero en el sentido de las agujas del reloj, acimut.

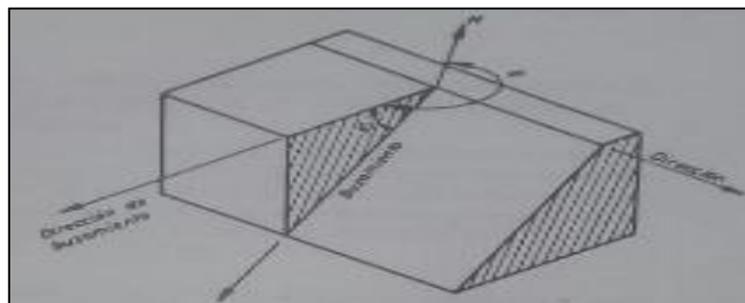


Figura 4.8.- Orientación de una discontinuidad.

Fuente: I Master en tecnologías geológicas y cursos de especialista en georecursos, riesgos naturales y medio ambiente geológico, 1998.

La tendencia de los ingenieros que trabajan en geotecnia es definir una discontinuidad mediante la dirección de buzamiento y el buzamiento, en lugar del rumbo y buzamiento, para de esta manera no haya confusión posible y además de ser muy útil al momento de procesar datos con un ordenador.

La orientación de las discontinuidades en una determinada estructura es un indicador de las condiciones que originan inestabilidad o deformaciones excesivas. La orientación de unas discontinuidades respecto a otras determinara la forma de los bloques.

Es conveniente medir un número suficiente de orientaciones para definir las diversas familias de juntas.

Espaciado.

El espaciado de las discontinuidades adyacentes es el factor determinante del tamaño de los bloques de roca. Si las familias de discontinuidades presentes tienen una separación pequeña, la cohesión del macizo rocoso es pequeña, mientras que aquellas discontinuidades que están muy separadas originan bloques de gran tamaño engranados entre sí.

La importancia del espaciado es mayor cuando existen otros factores condicionantes de la deformación del macizo rocoso, como, por ejemplo, una resistencia a la corte pequeña y un número suficiente de discontinuidades para que se produzca el deslizamiento.

El espaciado también tiene influencia en la permeabilidad del macizo rocoso y en las características internas que condicionan la circulación del agua.

Dimensiones.

Este apartado se refiere a la extensión o tamaño de una discontinuidad. Este parámetro se puede cuantificar observando las longitudes de las superficies estudiadas en los afloramientos.

Normalmente los afloramientos rocosos son pequeños comparados con el área o longitud de las discontinuidades y las dimensiones reales de estas solo se pueden estimar de una forma aproximada. Algunas veces se puede

medir la longitud según el buzamiento y la longitud según el rumbo y de aquí se estima el tamaño de la discontinuidad.

En cuanto a la terminología utilizada, las familias de discontinuidades pueden ser: continuas, subcontinuas y discontinuas, según su tamaño relativo.

Se puede definir el tamaño de las discontinuidades de acuerdo con la siguiente tabla 4.8.

CLASIFICACIÓN	TAMAÑO	VALORACIÓN
Continuidad muy pequeña	< 1 m	6
Continuidad pequeña	1 – 3 m	4
Continuidad media	3 – 10 m	2
Continuidad alta	10 – 20 m	1
Continuidad muy alta	> 20 m	0

Tabla 4.8.- Clasificación y valoración de Bieniawski de las continuidades.

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I González de Vallejo, 2004.

Rugosidad

La rugosidad de una discontinuidad es un factor muy importante, determinante de la resistencia al corte. La importancia de la rugosidad disminuye al aumentar la apertura, el espesor de relleno o cualquier desplazamiento sufrido con anterioridad.

En general la rugosidad de una discontinuidad viene caracterizada por una ondulación (las ondulaciones a gran escala que están en contacto originan una expansión cuando tiene lugar un desplazamiento cortante, ya que son demasiado grandes para que se rompan en el desplazamiento) y por una aspereza, que es una rugosidad a pequeña escala, que varía cuando se produce un desplazamiento cortante al romperse los pequeños picos de roca, a menos que la resistencia de los labios de la discontinuidad sea elevada o que la tensión aplicada sea pequeña.

La ondulación puede definirse mediante el ángulo como se indica en la figura 4.9

En los casos en que el deslizamiento está controlado por dos planos de discontinuidad que se cortan, la dirección del desplazamiento es paralela a la línea de intersección de los dos planos.

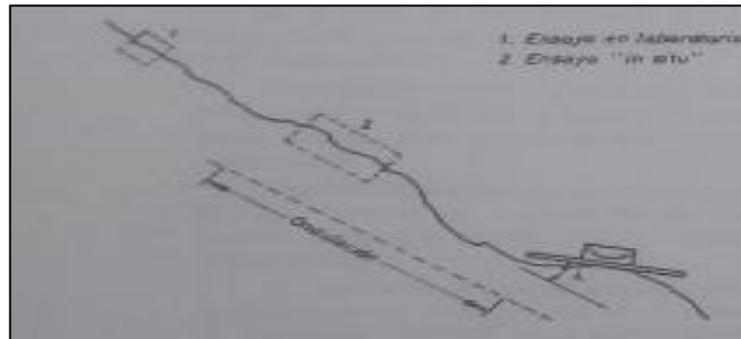


Figura 4.9.- Ondulación.

Fuente: I Master en tecnologías geológicas y cursos de especialista en georecursos, riesgos naturales y medio ambiente geológico, 1998.

Si no se conoce la dirección del desplazamiento más probable, se debe medir la rugosidad en tres dimensiones, en lugar de dos. Esto se puede llevar a cabo con una brújula y un clinómetro de disco.

Apertura.

La apertura es la distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de roca de una discontinuidad abierta, en la que el espacio que interviene tiene agua o aire. Por consiguiente, se distingue el término “apertura” del “espesor de relleno”.

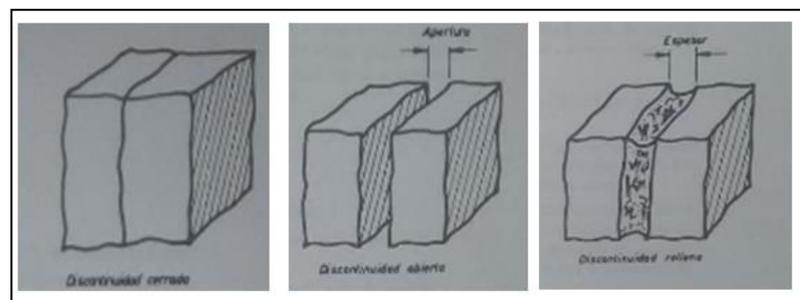


Figura 4.10.- Apertura de la roca.

Fuente: I Master en tecnologías geológicas y cursos de especialista en georecursos, riesgos naturales y medio ambiente geológico, 1998.

Las discontinuidades que estaban rellenas de arcilla, por ejemplo, y en las que dicho material ha sido parcialmente lavado, se ubican dentro de este apartado.

Las grandes aperturas puede ser el resultado de desplazamientos cortante de las discontinuidades que tiene una rugosidad y ondulación apreciables, o bien pueden estar producidas por tracciones, por lavado o por disolución. Las discontinuidades verticales o inclinadas que se han abierto en tensión como resultado de la erosión de un valle o de una retirada glaciaria, pueden tener aperturas muy grandes.

En la mayoría de los macizos rocosos las aperturas que existen en profundidad son pequeñas, probablemente inferiores a medio milímetro, comparadas con las aperturas de decenas, centenas o incluso miles de milímetros de aquellas que han sido lavadas. A no ser que las discontinuidades sean excepcionalmente suaves y planas, en lo referente a la resistencia al corte, el hecho de que una junta cerrada la separación sea de 0,1 mm o de 1 mm, apenas tiene influencia. Sin embargo, debido a la conductividad hidráulica, incluso en las juntas más cerradas, la separación puede ser significativa al cambiar las tensiones normales efectivas y, por tanto, la resistencia al corte.

El problema que se presenta es que la observación visual de pequeñas fracturas no proporciona datos suficientemente fiables, ya que las aperturas visibles vienen influidas por los movimientos producidos por voladuras o por los efectos superficiales de la meteorización. La importancia de las aperturas se pone en evidencia mediante ensayos de permeabilidad.

Relleno

El material de meteorización que rellena las discontinuidades puede tener su origen en la descomposición de la roca o la desintegración.

DESCOMPUESTO: la roca está meteorizada hasta el grado de "suelo" en el que la fábrica original del material está todavía intacta, pero algunos de los granos minerales están descompuestos.

DESINTEGRADO: la roca está meteorizada hasta la condición de "suelo" en el que la fábrica del material está todavía intacta. La roca es friable, pero los granos del mineral no están descompuestos.

El relleno se refiere al material que separa los labios adyacentes de una discontinuidad, por ejemplo, calcita, clorita, limo, etc. La distancia perpendicular entre las paredes de la discontinuidad se denomina “espesor” de la discontinuidad rellena, diferenciándose este término del de “apertura” de una discontinuidad.

Debido a las muchas posibilidades existentes de relleno de las discontinuidades, se presentan gran número de conductas diferentes, especialmente en lo referente a la resistencia al corte, deformabilidad y permeabilidad.

Las conductas a corto plazo y a largo plazo pueden ser muy diferentes y pueden inducir a error considerar condiciones favorables que se pueden producir a corto plazo.

Las diferentes conductas físicas dependen de muchos factores; los más importantes son:

1. Mineralogía del material de relleno.
2. Tamaño de las partículas y granulometría.
3. Relación de sobreconsolidación.
4. Contenido de agua y permeabilidad.
5. Desplazamientos cortantes previos.
6. Rugosidad de las paredes
7. Espesor.
8. Fracturación o aplastamiento de los labios de la discontinuidad.

En cada ensayo se anotan los factores anteriores, utilizando descripciones cuantitativas donde es posible, junto con esquemas y fotografías en color de los casos más importantes, como lo indica el I Master en tecnologías geológicas y cursos de especialista en georecursos, riesgos naturales y medio ambiente geológico, 1998.

Para todos los tipos de discontinuidades de campo, debe determinarse la fracción arcillosa del relleno, ya que es de gran interés a la hora de estimar la resistencia al corte a largo plazo. Esto último es de especial importancia cuando existen arcillas expansivas.

Se deben tomar muestras cuando exista duda acerca de la mineralogía y efectuar el análisis correspondiente.

Circulación de agua.

Se da a través de los macizos rocosos resulta principalmente del flujo de agua a lo largo de las discontinuidades (permeabilidad secundaria). En el caso de ciertas rocas sedimentarias, sin embargo, la permeabilidad "primaria" del material rocoso puede ser de una importancia tal que la circulación de agua se produzca principalmente por los poros de la roca.

A este respecto, hay que hacer las siguientes observaciones:

1. Los planos de estratificación y los estratos de rocas sedimentarias tienen una permeabilidad primaria elevada, posibilitan la conexión hidráulica de grandes zonas en los macizos rocosos sedimentarios. Estas conexiones hidráulicas tan eficientes tienen, no obstante, poca importancia en macizos rocosos ígneos o metamórficos, con ausencia de juntas o fallas de escala regional.
2. Las fallas a veces, contienen brechas altamente permeables adyacentes a zonas arcillosas muy impermeables. Por tanto, la conductividad hidráulica puede ser muy anisotrópica e incluso el flujo del agua puede quedar confinado a un plano paralelo al de falla. De aquí se deduce que es prematuro describir una zona de falla como seca si un túnel o una galería de exploración de desagüe no ha atravesado totalmente la discontinuidad.

El porcentaje de agua que circula por las discontinuidades, a grandes rasgos, es proporcional al gradiente hidráulico y a la permeabilidad direccional más importante; esta proporcionalidad depende del tipo de flujo. El flujo a alta velocidad a lo largo de las discontinuidades abiertas puede originar pérdidas de presión debidas a la turbulencia.

Niveles hidrostáticos irregulares y niveles freáticos colgados pueden encontrarse en los macizos rocosos cruzados por discontinuidades permeables persistentes, tales como, diques, discontinuidades rellenas de

arcilla, etc. Es de gran importancia la predicción de estas barreras potenciales de flujo y de los niveles freáticos irregulares asociados a ellas, especialmente en el caso de dichas barreras sean atravesadas por túneles, pues pueden producirse avenidas de agua a alta presión.

Las filtraciones de agua causadas por drenaje en el interior de una excavación subterránea, pueden tener graves consecuencias en los casos en el que el descenso del nivel hidrostático pueda originar un asentamiento de las estructuras apoyadas en depósitos arcillosos. “I Master en tecnologías geológicas y cursos de especialista en georecursos, riesgos naturales y medio ambiente geológico, 1998”.

Número de familias de discontinuidades.

El comportamiento y el aspecto de un macizo rocoso están dominados por el número de familias de discontinuidades existentes en él. El comportamiento está especialmente afectado por el número de familias de discontinuidades, que determina el grado en el que el macizo rocoso puede deformarse sin que se produzcan roturas en la roca. El aspecto del macizo rocoso se ve afectado por el número de familias, que determinan la forma de rotura por voladura, que tiene a ocurrir a lo largo de discontinuidades preexistentes. En la siguiente figura 4.11, se puede observar el efecto del número de familias de juntas sobre el aspecto de un macizo rocoso. La proporción de roturas debido a las voladuras depende principalmente del número de familias. Cuando se anota el número de familias, hay que distinguir las familias de juntas sistemáticas de aquellas que no lo son.

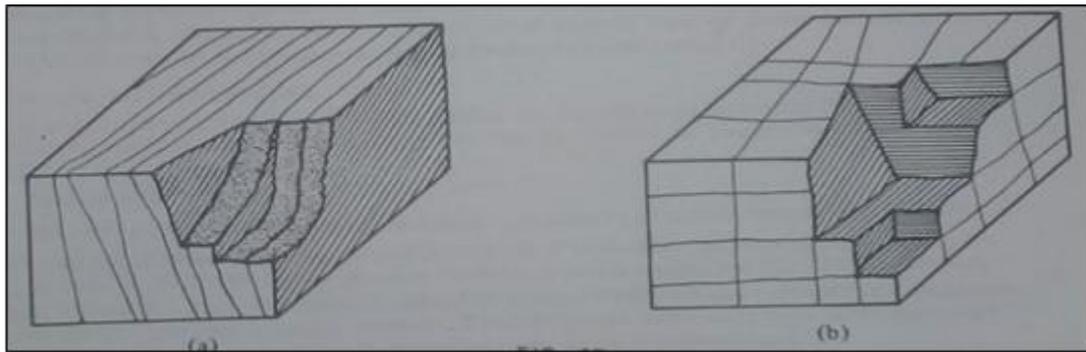


Figura 4.11.- Familia de discontinuidades.

Fuente: I Master en tecnologías geológicas y cursos de especialista en georecursos, riesgos naturales y medio ambiente geológico, 1998.

En general, las juntas sistemáticas serán rasgos continuos, con juntas individuales paralelas o subparalelas, mientras que las juntas no sistemáticas aparecen al azar, tanto en planta como en sección. Los problemas que surgen en la identificación de las familias cuando no se pueden distinguir fácilmente en el campo, pueden reducirse utilizando ensayos estadísticos para identificar las tendencias de la distribución de los polos trazados en las redes polares equiareales.

Las discontinuidades secundarias tales como las que se pueden desarrollar paralelas a la estratificación, o paralelas a la foliación y clivaje, deben incluirse a la estimación “local” del número de familias, si se considera que el método de excavación utilizado alterará al macizo rocoso suficientemente para que dichas discontinuidades se pongan de manifiesto.

Tamaño de los bloques.

El tamaño de los bloques es un parámetro importante de la calidad del macizo rocoso.

Las dimensiones de los bloques vienen determinadas por el espaciamiento de las discontinuidades, por el número de familias y por el tamaño de las discontinuidades que delimitan los bloques potenciales.

El número de familias y su orientación determina la forma de los bloques resultantes, que pueden tomar una forma aproximada de cubos, romboedros, tetraedros, láminas, etc. Sin embargo, las formas geométricas regulares son la excepción, ya que las juntas de cualquier familia raras

veces son constantemente paralelas. Las juntas de las rocas sedimentarias suelen producir los bloques más regulares.

Las propiedades combinadas de tamaño de los bloques y resistencia al corte entre los bloques, determinan el comportamiento mecánico del macizo rocoso bajo condiciones de tensión dadas.

Los macizos rocosos compuestos de grandes bloques tienden a ser menos deformables. En casos excepcionales el tamaño del bloque puede ser tan pequeño que se produce un “flujo” del terreno.

El tamaño de los bloques puede describirse por medio de la dimensión media de los bloques característicos (índice I_b del tamaño del bloque), o por el número total de juntas que interceptan una unidad de volumen del macizo rocoso (computo volumétrico de juntas, J_v), como se detalla en la tabla 4.9.

“I Master en tecnologías geológicas y cursos de especialista en georecursos, riesgos naturales y medio ambiente geológico, 1998”.

N° DE DISCONTINUIDADES (J_v)	TAMAÑO DEL BLOQUE (m^2)
< 1	Muy Grande
1 a 3	Grande
3 a 10	Medio
10 a 30	Pequeños
> 30	Muy Pequeños
> 60	Muy Brechificado

Tabla 4.9.- Clasificación del tamaño del macizo rocoso según el número de discontinuidades.

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I González de Vallejo, 2004.

4.1.1.5 Flujo de agua en el macizo rocoso.

Se llama agua subterránea a la que se encuentra en la zona de saturación bajo el nivel freático.

El agua subterránea procede principalmente de la infiltración del agua meteórica, tales como el agua de lluvia, del hielo y de nieve fundidos, y de

los escapes por filtración de cursos de agua, lagos, embalses u otros depósitos de agua. Hay aguas subterráneas que ascienden de los magmas o proceden de las lavas; son las aguas juveniles. También puede encontrarse agua subterránea que quedo retenida al mismo tiempo que se formaron las rocas ígneas o sedimentarias.

Entre el nivel freático y la superficie hay una zona no saturada por la cual el agua se infiltra para pasar a la zona saturada o quedar retenida en las proximidades de esta, debido a la capilaridad.

En la zona de saturación, el agua llena todos los poros de los suelos y todas las cavidades de las rocas infrayacentes.

A veces aparecen en zonas saturadas de agua por encima de la zona principal, limitadas por niveles impermeables.

La pérdida de agua subterránea, o descarga, se produce por evaporación superficial, transpiración de las plantas y manantiales.

Se puede hacer un balance hidrológico de la cuenca de la zona de estudio; el agua procedente de las lluvias es igual a la suma del agua de escorrentía, infiltración, evaporación y transpiración reales.

Para que el cálculo de la infiltración sea de cierta fiabilidad, hay que conocer con bastante aproximación las características climatológicas de la zona (pluviometría, temperaturas), así como las características topográficas, vegetación, cursos de aguas con sus caudales, etc.

4.1.1.6 Toma de datos.

4.1.1.6.1 Datos en superficie.

- Geología regional

Las condiciones geológicas estructurales que definen una zona determinada, son producto de la historia geológica de la región circulante. Por lo tanto, los tipos de roca, fallas, pliegues y juntas, en el área relativamente pequeña en que se mueve el ingeniero, forman parte de un modelo mucho mayor que refleja el proceso geológico a gran escala a que

estuvo sometida la región. A veces, puede ser muy interesante conocer el proceso geológico de la región, ya que de él se pueden deducir las tendencias estructurales que pueden pasar inadvertidas si solamente se tiene en cuenta la información detallada precedente del macizo rocoso a nivel local.

Se han llevado a cabo estudios geológicos en la mayor parte del mundo y estos estudios se pueden encontrar en revistas científicas o en planos que son propiedad de bibliotecas locales, universidades u organismos gubernamentales. Es importante localizar la información ya existente que cubre el área de estudio y conviene estudiar esta información tan pronto como sea posible en el proyecto.

En el capítulo 3 literal 3.2.1 se describe la geología regional para el presente caso de estudio.

También se han realizado fotografías aéreas de muchas partes del mundo. Las fotografías de buena calidad pueden proporcionar una información muy útil de las características estructurales y de algunos fenómenos bajo la superficie terrestre. Las fallas y otras discontinuidades lineales de mayor orden, normalmente son muy fáciles de identificar, pero es necesario ser un especialista para localizar zonas de hundimiento roturas que han tenido lugar en cavidades que han alterado el drenaje local, que dan como resultado pequeños cambios en el color o distribución de la vegetación superficial. El examen estereoscópico de pares adyacentes de fotografías aéreas es bastante útil en zonas donde existe un relieve topográfico importante, ya que puede darse el caso de que se localicen antiguos deslizamientos u otras características que pueden ser importantes a la hora de diseñar el proyecto en su conjunto.

Siendo el área de estudio un sitio con poco acceso para poder obtener las fotografías del sector, se optó efectuarlo por vía marítima, presentando este medio cierto grado de dificultad, puesto que el nivel del mar no estaba en las condiciones necesarias para que las lanchas pesqueras (recurso utilizado)

pudiese tener acceso, y a la vez el perfil costero del sector que posee material rocoso no permita el acceso a la orilla.

- **Observaciones de afloramiento.**

En una primera etapa en el proyecto de una excavación subterránea, puede darse el caso de que no se pueda tener acceso al macizo rocoso a la profundidad a la que se va a construir la excavación; bajo estas circunstancias, se debe utilizar la roca que aflora en superficie para obtener la máxima cantidad de información sobre los tipos de rocas y características estructurales del macizo rocoso.

Habitualmente, los hechos de los ríos son una fuente importante de información sobre los afloramientos, particularmente donde fluyen corrientes fuertes que han erosionado el material superficial y que han dejado la roca interior al descubierto. Cuando el área que aflora a la superficie es limitada, o cuando se considera que los afloramientos que son accesibles se han visto alterados intensamente por la meteorización, puede ser recomendable proceder a la excavación de trincheras o pozos. A veces, también puede ser necesaria una excavación posterior, por medio de voladura, en el lecho rocoso; en tales casos, hay que tener mucho cuidado de no destruir la información en el proceso de voladura. Otras veces, es suficiente limpiar la superficie del afloramiento con un chorro presurizado de agua o de aire para poner al descubierto el macizo rocoso.

Además de la identificación de los tipos de roca, los afloramientos de superficie se utilizan para la medida de la inclinación (buzamiento) y orientación (dirección y buzamiento) de las características estructurales, tales como planos de estratificación, clivaje y planos de juntas.

Se puede ahorrar mucho tiempo y energía si estas medidas se efectúan con los instrumentos que están diseñados específicamente para ello. El equipo que hay que utilizar debe incluir los siguientes instrumentos:

- ✓ Brújula geológica tipo Clark, con nivel de burbuja incorporado.
- ✓ Clinómetro.
- ✓ Cinta métrica de 10 m de longitud mínima.

✓ Regla plegable de 2 m de longitud, graduada mm.

- **Procedimiento operativo para estimar los valores de los caracteres geomecánicos de las continuidades**

A continuación, se describen los métodos para realizar el levantamiento geotécnico de los caracteres geomecánicos de los macizos rocosos que han sido mencionados anteriormente:

1.- Orientación

Se mide la inclinación (buzamiento) del plano medio de la discontinuidad, con el clinómetro, y se expresa en grados, con dos cifras (00° - 90°).

Se mide al acimut del buzamiento (dirección de buzamiento), en grados, contando en el sentido de las agujas del reloj desde el norte verdadero, con tres cifras (000° - 360°).

El buzamiento y su dirección se anotan en este orden, con el número de tres cifras, separado con una barra del de dos cifras, ej.: 010°/05°.

Es conveniente medir un número suficiente de orientaciones para definir las diversas familias de juntas de los dominios estructurales dados. Se deben tomar entre 80 y 300 medidas; este número varía con el área y con la dispersión de las discontinuidades. “I Master en tecnologías geológicas y cursos de especialista en georecursos, riesgos naturales y medio ambiente geológico, 1998”.

2.- Espaciado

Donde sea posible, se coloca la cinta métrica perpendicular a la traza del afloramiento de la discontinuidad. Si esto no es posible, hay que hacer correctamente para obtener el espaciado verdadero.

El espaciado más frecuente se calcula mediante:

$$S = dm \operatorname{sen} \alpha$$

Donde “dm” es la distancia más frecuente obtenida como se muestra en la figura 4.12.

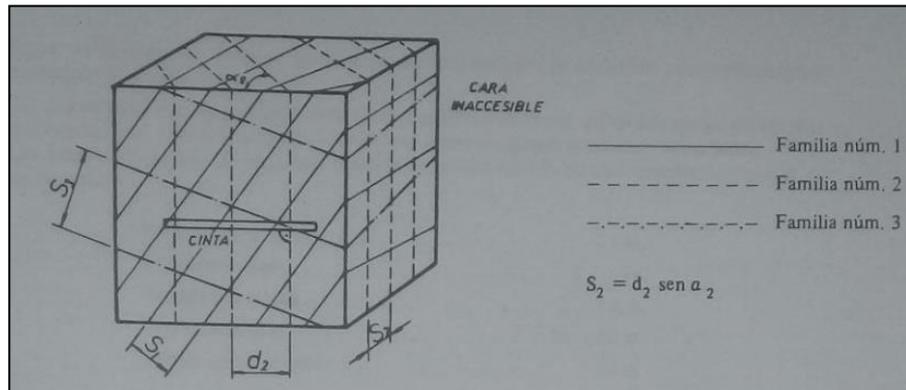


Figura 4.12.- Determinación del espacio en discontinuidades.

Fuente: I Master en tecnologías geológicas y cursos de especialista en georecursos, riesgos naturales y medio ambiente geológico, 1998.

Y para realizar la clasificación según el espaciado de las discontinuidades se utiliza la tabla 4.10.

DESCRIPCION	ESPACIADO	TIPO DE MACIZO ROCOSO	VALORACION
Muy separadas	>2m	Sólido	20
Separadas	0.6 - 2 mm	Masivo	15
Moderadamente juntas	200 - 600mm	En bloques	10
Juntas	60– 220 mm	Fracturado	8
Muy juntas	< 60 mm	Machacado	5

Tabla 4.10.- Clasificación de espaciado y valoración de Bieniawski de las discontinuidades.

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I González de Vallejo, 2004.

3.- Dimensiones

Se describen los afloramientos de roca o dominios reconocidos según el tamaño relativo de las diferentes familias de discontinuidades presentes. Es interesante disponer de un pequeño esquema que nos refleja gráficamente estos términos, para ver el tamaño relativo de las diversas familias de discontinuidades como manifiesta la figura 4.13.

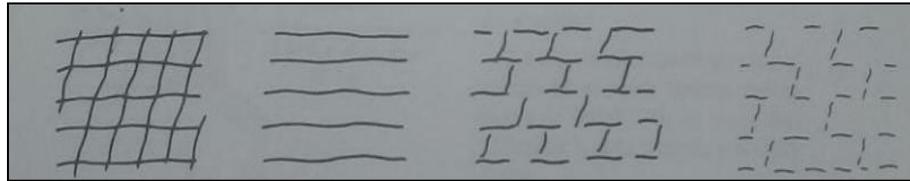


Figura 4.13.- Tamaño de discontinuidades.

Fuente: I Master en tecnologías geológicas y cursos de especialista en georecursos, riesgos naturales y medio ambiente geológico, 1998.

Según su tamaño, las diversas familias de discontinuidades se describen como sistemáticas, sub-sistemáticas y no sistemáticas.

Las discontinuidades que se extienden fuera del afloramiento se deben diferenciar de aquellas que determinan en roca en el afloramiento y de las que terminan contra otras discontinuidades.

Las longitudes medias de las trazas medidas para cada familia pueden describirse según el siguiente esquema, ver tabla 4.11.

DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN DE LAS CARAS	VALORACIÓN
Persistencia muy baja	< 1 m.	6
Persistencia baja	1 – 3 m.	4
Persistencia media	3 – 10 m	2
Persistencia alta	10 – 20 m.	1
Persistencia muy alta	> 20 m.	0

Tabla 4.11.- Persistencia de discontinuidades según sus longitudes.

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I González de Vallejo, 2004.

Una familia sistemática de discontinuidades con muchas discontinuidades que se extienden fuera del afloramiento es más persistente que otra familia sub-sistemática de discontinuidades con predominio de terminaciones contra otras discontinuidades. Las discontinuidades no sistemáticas tenderían a tener muchas terminaciones en roca.

4.- Rugosidad.

Términos descriptivos.

A veces pueden existir limitaciones de tiempo para determinar la rugosidad (por ejemplo, durante la fase de viabilidad del proyecto); en este caso se utilizan dos escalas descriptivas de observación de la rugosidad: escala pequeña (varios centímetros) y escala intermedia (varios metros).

La escala intermedia de rugosidad se divide en tres grados: escalonada, ondulada y plana.

La escala pequeña tiene tres grados para cada una de las divisiones de la escala intermedia: rugosa, lisa y pulida. El término “pulida” solo se utiliza si existe una evidencia clara de desplazamiento cortante previo a lo largo de la discontinuidad.

De esta forma, tenemos una escala con 9 grados de rugosidad:

I	Rugosidad (o irregular), escalonada
II	Lisa, escalonada
III	Pulida, escalonada
IV	Rugosa (o irregular), ondulada
V	Lisa, ondulada
VI	Pulida, ondulada
VII	Rugosa (o irregular), plana
VIII	Lisa, plana
IX	Pulida, plana

Tabla 4.12.- Escala de rugosidad.

Fuente: I Master en tecnologías geológicas y cursos de especialista en georecursos, riesgos naturales y medio ambiente geológico, 1998.

Esta escala se ilustra en la siguiente figura 4.14.

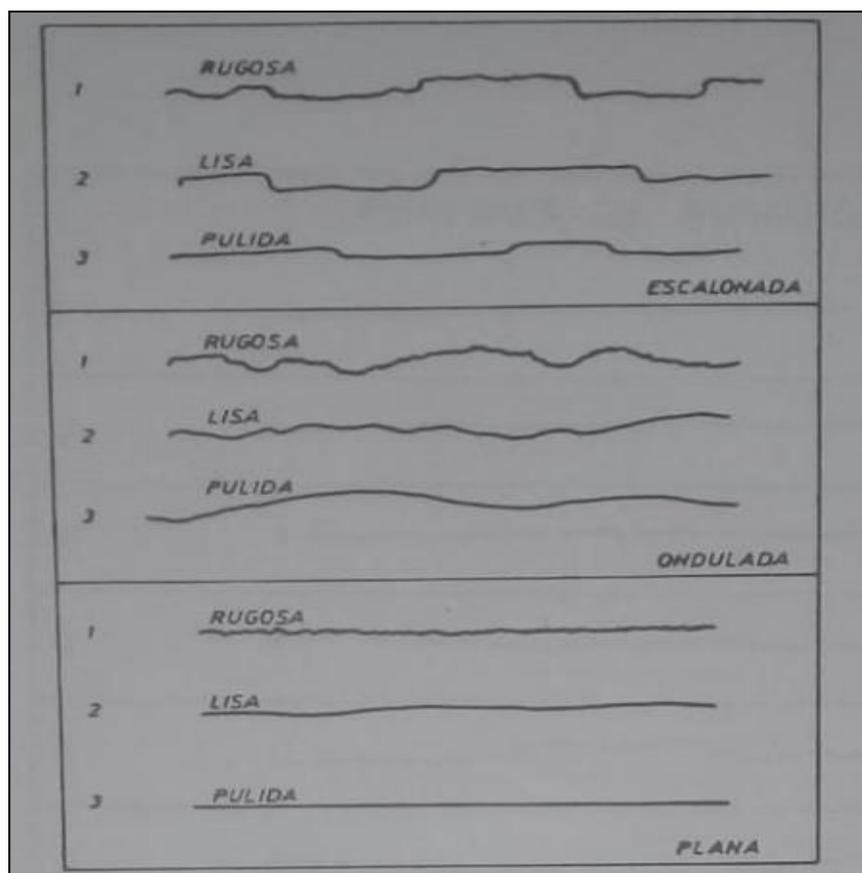


Figura 4.14.- Lámina de la escala de rugosidad.

Fuente: I Master en tecnologías geológicas y cursos de especialista en georecursos, riesgos naturales y medio ambiente geológico, 1998.

También pueden existir ondulaciones a gran escala, de varias decenas de metro, superpuestas a las escalas pequeña o intermedia. En estos casos hay que anotar estas características, por ejemplo, lisa ondulada (clase V), con ondulaciones a gran escala de metros de longitud de onda y cm. de amplitud. La cual se detalla en la tabla 4.13.

DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
Muy rugosa	6
Rugosa	4
Ligeramente rugosa	2
Lisa	1
Plana (espejo de falla)	0

Tabla 4.13.- Descripción y valoración Bieniawski de rugosidad.

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I González de Vallejo, 2004.

5.- Resistencia de los labios de la discontinuidad

La resistencia de los labios de las discontinuidades puede expresarse de la siguiente forma:

- a) Grado de meteorización del macizo rocoso y del material rocoso. Viene descrito bajo el apartado de meteorización.
- b) Ensayos manuales. Los índices de los ensayos manuales vienen detallados en la Tabla 4.2

Se debe tomar el material de las partes de las discontinuidades o en todo caso material representativo de las paredes y se anota el valor medio (r) de las cinco lecturas mayores.

6.- Apertura

Hay que lavar los afloramientos sucios cubiertos de tierra. Es bastante útil rociar pintura blanca a lo largo de las líneas de medida deseadas, de esta forma, las discontinuidades más delgadas son mejor y fácilmente visibles. Es fundamental disponer de una buena iluminación.

Las aperturas más delgadas se miden aproximadamente con láminas calibradas, mientras que las aperturas mayores se miden con una regla graduada en mm. Se anotan las aperturas de todas las discontinuidades que interceptan a la línea de medida. Por otro lado, las variaciones de la apertura de las mayores discontinuidades se miden a lo largo de la traza de la discontinuidad.

Es importante tener en cuenta que las aperturas visibles en un afloramiento rocoso son aperturas alteradas, debido a la superficie de meteorización o al modo de excavación. Por estas razones, las aperturas medidas son probablemente mayores que aquellas que existen dentro del macizo rocoso. Si la medición se realiza en afloramiento se debe realizar medidas a lo largo de 3m. la descripción se realizará según la terminología en la tabla 4.14.

ABERTURA DE LAS DISCONTINUIDADES		VALORACIÓN
NI	Ninguna	6
< 0.1 mm	Apretada	5
0.1 – 1 mm	Moderadamente abierta	4
1 – 5 mm	Abierta	1
> 5 mm	Muy abierta	0

Tabla 4.14.- Descripción y valoración Bieniawski de las aberturas de discontinuidades.

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I González de Vallejo, 2004.

7.- Relleno

Se miden los espesores máximos y mínimo de las discontinuidades rellenas y se estiman el espesor más frecuente (promedio). Si existen grandes diferencias entre los espesores máximos y mínimo, esto puede ser indicio de que ha existido desplazamientos cortantes, especialmente si las paredes están alternadas o sin meteorizar.

En los casos importantes, es conveniente hacer esquemas de campo en los que se indican las condiciones de los labios de la discontinuidad (o sea, grado de fracturación o alteración asociados).

En la figura 4.15 se muestran varios ejemplos.

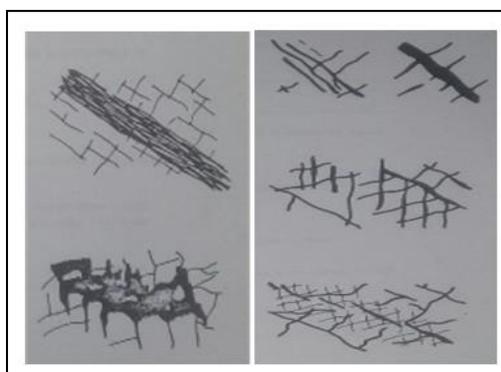


Figura 4.15.- Esquemas de campo.

Fuente: I Master en tecnologías geológicas y cursos de especialista en georecursos, riesgos naturales y medio ambiente geológico, 1998.

Cuando se sospecha que existen arcillas expansivas o se identifican éstas, como, por ejemplo, montmorillonita, y donde la condición de expansión es crítica para la estabilidad, se toman muestras para realizar los ensayos de hinchamiento libre y de hundimiento bajo presión. Donde sea posible, se registra el contenido de agua “in situ” y se toman las muestras en bolsas selladas.

En cuanto al tamaño de las partículas, el método de descripción de la granulometría dependerá del caso. Para estimar el porcentaje de arcilla, limo, arena y partículas de roca, es suficiente una somera descripción cuantitativa de la granulometría.

Los tamaños de las partículas se pueden clasificar de acuerdo con la escala modificada de Wentworth:

DESCRIPCIÓN	TAMAÑO
Cantos	200 – 600 mm
Gujarros	60 – 200 mm
Grava de grano grueso	20 – 60 mm
Grava de grano medio	6 – 20 mm
Grava de grano fino	2 – 6 mm
Arena de grano grueso	0,6 – 2 mm
Arena de grano medio	0,2 – 0,6 mm
Arena de grano fino	0,06 – 0,2 mm
Arcilla, limo	< 0,06 mm

Tabla 4.15.- Escala Modificada de Wentworth.

Fuente: I Master en tecnologías geológicas y cursos de especialista en georecursos, riesgos naturales y medio ambiente geológico, 1998.

Hay que determinar cuidadosamente si ha existido desplazamiento cortante previo en la discontinuidad (superficies de deslizamiento, juntas cruzadas, desplazadas, etc.) Esto debe anotarse junto con una estimación aproximada de la relación de consolidación (OCR) de cualquier relleno arcilloso.

En los que se refiere al contenido de agua y a la permeabilidad de una discontinuidad rellena, y en particular con relleno arcilloso, se verá el procedimiento del estudio en el próximo punto.

Para la clasificación según el relleno y espesor que este ocupó en una discontinuidad se presenta la tabla 4.16

DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
Blando > 5 mm	0
Blando < 5 mm	2
Duro > 5 mm	2
Duro < 5 mm	4
Ninguno	6

Tabla 4.16.- Descripción y valoración Bieniawski del relleno

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I González de Vallejo, 2004.

8.- Circulación de agua

Además de la descripción de la hidrogeología local, hay que describir la circulación de agua en las juntas o familias de juntas más relevantes, con relación a la estabilidad. Es conveniente obtener una información meteorológica adicional con datos sobre lluvias, temperatura, etc.

Se estudian las fotografías aéreas para obtener una visión del tipo de drenaje en conjunto y deducir los niveles hidrostáticos probables. (Los niveles hidrostáticos pueden venir indicados por el desarrollo de la vegetación a lo largo de fallas y diques). También hay que tratar de averiguar las variaciones estacionales de los niveles hidrostáticos.

En las fases preliminares de la elaboración del mapa geológico, la descripción de la hidrogeología local se realiza de una forma bastante limitada. Probablemente no se dispondrá de sondeos para realizar ensayos de bombeo, ni pozos para la determinación de los niveles de agua, ni instalaciones piezométricas.

Por lo tanto, la hidrogeología tendrá que ser interpretada a partir de las predicciones geológicas de las situaciones de los acuíferos, de la orientación probable y situación de las barreras impermeables al flujo de las direcciones probables de circulación de agua y niveles hidrostáticos. De todos estos datos se decidirá la situación de una serie de sondeos para realizar los

ensayos precisos para la determinación de los niveles de agua, instalaciones piezométricos y bombeo.

Para poder determinar la presencia de aguas se presenta la tabla 4.17.

DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
Seco	15
Ligeramente húmedo	10
Húmedo	7
Goteando	4
fluyendo	0

Tabla 4.17.- Descripción y valoración Bieniawski de la presencia de agua.

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I González de Vallejo, 2004.

9.- Número de familias de discontinuidades.

Frecuentemente, el número de familias es función del tamaño del área observada para elaborar el mapa geológico.

En la investigación preliminar conviene anotar todas las familias presentes. El reconocimiento de familias individuales se lleva a cabo a la vez que se realizan las medidas de orientación. Puede ser necesario medir más de 150 juntas y el número de familias se determina contorneando los polos trazados en una res polar equiareal. Si las orientaciones son persistentes, se puede reducir bastante el número de medidas de juntas a realizar para definir el número de familias.

En las fases más detalladas de las investigaciones de campo, se anota el número de familias presentes localmente. El reconocimiento visual del número de familias debe ir acompañado de un sistema de numeración con fines de identificación. Por ejemplo, la familia más sistemática y persistente puede marcarse como “familia núm. 1”, y así sucesivamente. También se pueden numerar las familias en orden de importancia respecto de la estabilidad.

4.1.1.7 Clasificación RMR

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo rocoso. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa
- Grado de facturación en términos del RQD
- Espaciado de las discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades
- Condiciones hidrogeológicas
- Orientación de las discontinuidades
-

La orientación de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo rocoso se expresa por medio del **índice de calidad RMR, *rock mass rating***, que varía de 0 a 100.

Para calcular el índice RMR correspondiente a la zona de estudio se sigue el procedimiento señalado en la tabla 4.18.

Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple (Mpa)		
	Compresión simple	>250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	<1
Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
RQD		90% - 100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	25%		
Puntuación		20	17	13	6	3		
Separación entre diaclasas		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m		
Puntuación		20	15	10	8	5		

Estado de las discontinuidades.	Longitud de la continuidad	< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
	Puntuación	6	4	2	1	0
	Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando <5 mm	Relleno blando > 5 mm
	Puntuación	6	4	2	2	0
	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
Puntuación	6	5	3	1	0	
Agua Freática	Caudal por 10 m de Túnel	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 litros/min	> 125 litros/min
	Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
Corrección por la orientación de discontinuidades.						
Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60
Clasificación						
Clase		I	II	III	IV	V
Calidad		Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala
Puntuación		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Características geotécnicas						
Clase		I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud.		10 años con 15m de vano	6 meses con 8m de vano	1 semana con 5m de vano	10 horas con 2.5m de vano	30 minutos con 1 m de vano
Cohesión		> 4 Kp/ cm ²	3 - 4 Kp/cm ²	2 - 3 Kp/cm ²	1 - 2 Kp/cm ²	< 1 Kp/cm ²
Ángulo de rozamiento		> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	15°

Tabla 4.18.- Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I González de Vallejo, 2004.

Esta clasificación distingue cinco clases, cuyo significado geotécnico se expresa en la tabla 4.19; a cada clase de macizo se le asigna una calidad y unas características geotécnicas.

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN RMR	COHESIÓN	ÁNGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy Buena	100 – 81	$> 4 \text{ Kg/cm}^2$	$> 45^\circ$
II	Buena	80 – 61	$3 - 4 \text{ kg/cm}^2$	$35^\circ - 45^\circ$
III	Media	61 – 41	$2 - 3 \text{ kg/cm}^2$	$25^\circ - 35^\circ$
IV	Mala	40 – 21	$1 - 2 \text{ kg/cm}^2$	$15^\circ - 25^\circ$
V	Muy mala	< 20	$< 1 \text{ kg/cm}^2$	$< 15^\circ$

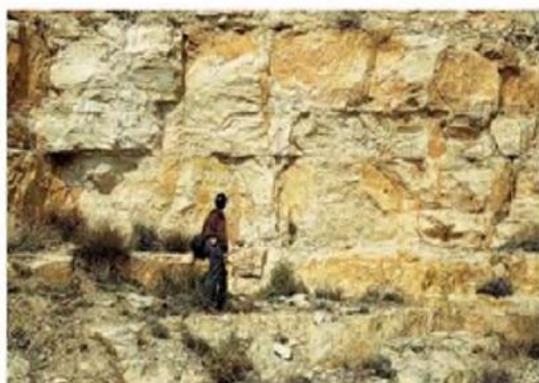
Tabla 4.19.- Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR.

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I González de Vallejo, 2004.

La suma de cada parámetro evaluado, da la clasificación geomecánica la cual establece de manera directa datos de cohesión y ángulo de rozamiento, los cuales permiten desarrollar un análisis de estabilidad de los taludes proyectados a desarrollar en la presente tesis.

En la Figura 4.16 se presentan ejemplos de macizos correspondientes a las diferentes clases según el índice RMR.

Macizos de Clase I (RMR = 81 – 100) y Clase II (RMR = 61 – 80)



Dolomías cretácicas. Calidad muy buena. Dos familias de discontinuidades principales.



Granito. Calidad buena. Varias familias de discontinuidades alteradas.

Macizos de Clase III (RMR = 41 – 60)



Pizarras ordovícicas. Calidad media. Grado de fracturación alto. Grado de meteorización: III.



Cuarcitas ordovícicas. Calidad media. Grado de fracturación alto. Matriz rocosa muy resistente.

Macizos de Clase IV (RMR = 21 – 40) y Clase V (RMR ≤ 20)



Cuarcitas ordovícicas. Calidad mala. Macizo alterado y brechificado.



Pizarras paleozoicas. Calidad muy mala. Fracturación muy intensa. Grado de meteorización V.

Figura 4.16.- Ejemplos de clases de macizos rocosos.

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I González de Vallejo, 2004.

4.1.1.8 Clasificación SMR

La clasificación SMR de Romana (1985, 1993, 1995) es una adaptación de la clasificación RMR de Bieniawski (1973, 1979, 1989, 1993) a taludes, mediante la aplicación de factores de corrección adecuados. El índice SMR, "Slope Mass Rating", se obtiene sumando al RMR básico un "factor de ajuste", función de la orientación de las juntas (y producto de tres subfactores, F1-F2-F3) y un "factor de excavación" (F4) que depende del método de excavación.

Se puede concluir que la clasificación SMR proporciona una estimación muy fiable del verdadero comportamiento del talud, aunque resulta ligeramente pesimista en la estimación del estado futuro. Así mismo se ha comprobado la práctica coincidencia entre los métodos de protección/sostenimiento sugeridos y los aplicados en la realidad.

Cualquier clasificación debe considerar, en primer lugar, que la rotura de un talud rocoso puede ocurrir según formas muy diferentes. En la mayoría de los casos la rotura de la masa rocosa está gobernada por las discontinuidades y se produce según superficies formadas por una o varias juntas. Todo sistema de clasificación debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Caracterización global de la masa rocosa (incluyendo frecuencia, estado y presencia de agua en las juntas).
- Valor de la diferencia entre los rumbos de la cara del talud y de las familias predominantes de juntas.
- Valor de la diferencia entre los buzamientos de la cara del talud y de las familias predominantes, ya que esa diferencia controla la emergencia de las juntas en la cara del talud, condición necesaria para las roturas planas y/o en cuña, y también la oblicuidad de la resultante de las tensiones que actúan sobre la junta.
- Relación entre el buzamiento de las juntas con los valores normales de la fricción (para roturas planas y/o cuña).
- Comparación entre las tensiones tangenciales (a lo largo de juntas con riesgo de rotura por vuelco) con la fricción que puede desarrollarse en ellas.

4.1.1.8.1 Índice SMR

El índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del índice RMR básico sumando un “factor de ajuste”, que es función de la orientación

de las juntas (y producto de tres subfactores) y un “factor de excavación” que depende del método utilizado:

$$\text{SMR} = \text{RMR} + (\text{F1} \times \text{F2} \times \text{F3}) + \text{F4}$$

Cuando aparecen diferentes familias de juntas en el talud se ha de calcular el SMR para cada familia, tomando el valor más desfavorable. Si el flujo de agua es irregular y/o la roca no está meteorizada en su totalidad, también debe tomarse el valor más desfavorable. En rocas meteorizadas y en las evolutivas la clasificación debe ser aplicada dos veces: para la situación inicial de roca sana y para la situación futura de roca meteorizada.

Factor de ajuste de las juntas.

El factor de ajuste de las juntas es producto de tres subfactores:

- **F1** depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y el de la cara del talud.

Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja). Estos valores, establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la expresión:

$$F_1 = (1 - \text{sen} |\alpha_i - \alpha_s|)^2$$

Siendo α_i y α_s las direcciones de buzamiento de la junta y del talud respectivamente.

- **F2** depende del buzamiento de la junta en la rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia a esfuerzo cortante de la junta. Varía entre 1,00 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°). Fue establecido empíricamente pero puede ajustarse aproximadamente según la relación:

$$F_2 = \text{tg}^2 (\beta_i)$$

Donde β_i es el buzamiento de la junta F_2 vale 1,00 para los roturas por vuelco.

- **F3** refleja la relación entre los buzamientos de la junta y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por Bieniawski en 1976/79 que son siempre negativos. Para roturas planas F_3 expresa la probabilidad de que las juntas afloren en el talud. Se supone que las condiciones son “normales” cuando el buzamiento medio de la familia de juntas es igual al del talud, y por lo tanto aflorarán algunas pocas juntas. Cuando el talud buza más que las juntas, casi todas afloran y las condiciones serán “muy desfavorables” lo que supone un valor de F_3 de -60 (para $\beta_s - \beta_i > 10^\circ$), o “desfavorables” lo que supone un valor de F_3 de -50 (para $0 < \beta_s - \beta_i < 10^\circ$). La diferencia con el valor de F_3 “normal” (que es -25) es muy grande.

Para la rotura por vuelco no se supone que puedan existir condiciones desfavorables, o muy desfavorables, ya que el vuelco rara vez produce roturas bruscas y en muchos casos los taludes con vuelco de estratos se mantienen. Se ha utilizado la condición de Goodman-Bray (1977) para evaluar la probabilidad de vuelco. Sin embargo, se ha observado que muchos vuelcos se producen para valores ligeramente distintos, lo que puede interpretarse como que la resistencia al esfuerzo cortante se reduce unos 5° , sea por el hecho de que en muchos taludes volcados las juntas están meteorizadas, o porque el ángulo de rozamiento experimente una ligera reducción en el caso de roturas rotacionales (Goodman, 1976). La citada condición de Goodman-Bray sólo es válida para el caso de roturas con pie volcador (que son más frecuentes en la práctica), pero no para el caso de pie deslizante, donde la superficie basal del macizo roto aflora en el talud con el aspecto de una junta deslizante.

Factor de ajuste según el método de excavación.

El factor de ajuste según el método de excavación, F_4 , se estableció empíricamente:

- Los taludes naturales son más estables, a causa de los procesos previos de erosión sufridos por el talud, y de los mecanismos

internos de protección que muchos de ellos poseen (vegetación, desecación superficial, drenaje torrencial, etc.).

$$F_4 = +15$$

- El precorte aumenta la estabilidad de los taludes en media clase.

$$F_4 = +10$$

- Las técnicas de voladura suave (recorte), bien ejecutadas, también aumentan la estabilidad de los taludes.

$$F_4 = +8$$

- Las voladuras normales, con métodos razonables, no modifican la estabilidad.

$$F_4 = 0$$

- Las defectuosas, muy frecuentes, pueden dañar seriamente a la estabilidad.

$$F_4 = -8$$

- La excavación mecánica de los taludes por ripado solo es posible cuando el macizo rocoso está muy fracturado o la roca blanda. Con frecuencia se combina con prevoladuras poco cuidadas. Las caras del talud presentan dificultades de acabado. Por ello el método ni mejora ni empeora la estabilidad.

$$F_4 = 0$$

4.1.1.8.2 Clases de estabilidad.

Los valores límites del SMR encontrados empíricamente para cada forma de rotura son los que se presentan en la tabla 4.20. Todos los taludes con valores del SMR inferiores a 20 se caen rápidamente. No se han encontrado con valores inferiores a 10 lo que indica que no son físicamente factibles. Según el valor del índice SMR se obtienen 5 clases de estabilidad, definidas simplídicamente en la tabla 4.21. En la práctica habitual de aplicación de clasificación SMR parece conveniente dividir cada una de las anteriores en dos subclases (a y b) con una amplitud de 10 puntos.

TIPO DE ROTURA	INTERVALO SMR	FRECUENCIA
PLANAS	SMR > 60 60 > SMR > 40 40 > SMR > 15	Ninguna Importantes Muy grandes
EN CUÑA	SMR > 75 75 > SMR > 49 55 > SMR > 40	Muy pocas Algunas Muchas
POR VUELCO	SMR > 65 65 > SMR > 50 40 > SMR > 30	Ninguna Menores Importantes
COMPLETAS	SMR > 30 30 > SMR > 10	Ninguna Posible

Tabla 4.20.- Valores del SMR para cada tipo de rotura.

Fuente: V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables

DESCRIPCION DE LAS CLASES SMR										
CLASE N°	V b	V a	IV b	IV a	III b	III a	II b	II a	I b	I a
DESCRIPCION	MUY MALA		MALA		NORMAL		BUENA		MUY BUENA	
ESTABILIDAD	TOTALMENTE INESTABLE		INESTABLE		PARCIALMENTE INESTABLE		ESTABLE		TOTALMENTE ESTABLE	
ROTURAS	GRANDES ROTURAS POR PLANOS CONTINUOS O POR LA MASA		JUNTAS O GRANDES CUÑAS		ALGUNAS JUNTAS O MUCHAS CUÑAS		ALGUNOS BLOQUES		NINGUNA	
SOSTENIMIENTOS	REEXCAVACION		IMPORTANTES		SISTEMÁTICOS		OCASIONALES		NINGUNO	

Tabla 4.21.- Clases de estabilidad según el SMR

Fuente: V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables

4.1.1.8.3 Métodos de sostenimiento propuesto por el SMR.

Cuando un talud muestra inestabilidades, éstas se pueden corregir con muchas medidas diferentes (tabla 4.22), conjuntamente o por separado.

SIN SOSTENIMIENTO	Ninguno Saneo
PROTECCIÓN	Zanja de pie. Vallas (de pie o de talud). Redes y/o mallas (sobre la superficie del talud).
REFUERZO	Bulones Anclajes
HORMIGÓN	Gunita

	Hormigón dental Contrafuertes y/o vigas.
DRENAJE	Superficial Profundo
REEXCAVACIÓN	Tendido del talud Muros de contención.

Tabla 4.22.- Medidas de corrección de taludes en roca

Fuente: V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables

A partir de la experiencia de los métodos de sostenimiento presentes en los taludes inventariados se establecen unas recomendaciones de las medidas a tomar según el valor del SMR. En general, los taludes con valores del SMR superiores a 75 no requieren medida alguna, y 60 parece ser el límite por debajo del cual no existe ningún talud totalmente estable, mientras que 30 es el límite superior de los totalmente inestables.

El estudio de un talud potencialmente inestable es una labor compleja que requiere un cuidadoso trabajo de campo, un análisis detallado y buen sentido ingenieril para valorar la importancia relativa de los diferentes factores de inestabilidad que pueden estar actuando. Ningún sistema de clasificación puede sustituir todo este trabajo, pero puede ser de utilidad, indicando los límites habituales de uso para cada tipo de medidas de corrección. La elección entre dichas medidas está fuera de alcance de una clasificación geomecánica.

En general, los conceptos de la clasificación SMR han sido utilizados en tres formas diferentes:

- a) Como una manera de cuantificar el efecto de las juntas en la estabilidad de taludes.
- b) Como un complemento a otros métodos.
- c) Como un método de trabajo.

Entre muchas de las conclusiones de los autores antes citados cabe destacar:

- 1) Que la clasificación parece ligeramente pesimista,

- 2) Que los valores más desfavorables del coeficiente F_3 propuestos por Bieniawski plantean algunas dificultades en la práctica,
- 3) Que las formas de rotura sugeridas parecen cumplirse en la práctica.
- 4) Que el método de excavación influye mucho (el factor F_4 parece justificado),
- 5) Que la clasificación de taludes con bermas presenta dificultades.
- 6) Que la clasificación no tiene en cuenta la altura de los taludes.

También se ha incluido en numerosas aplicaciones informáticas sobre estabilidad de taludes y excavaciones en roca. Diversos grupos de investigación han desarrollado o están desarrollando métodos para la utilización del SMR mediante SIG (Sistemas de Información Geográfica): Ronzani et al. (1999); Irigaray et al. (2000); Romana et al. (2000a, 2000b).

4.1.1.8.4 Herramienta SMRTool.

SMRTool es una herramienta desarrollada por Riquelme et al. (2014) para el cálculo de la clasificación geomecánica Slope Mass Rating (Romana 1993). Está programada en Excel (Figura 4.17) y permite calcular los coeficientes F_1 , F_2 y F_3 a partir del buzamiento (azimut y buzamiento) del talud y en la discontinuidad o intersección de planos de rotura en cuña.

Calcula automáticamente los ángulos auxiliares A, B Y C así como el tipo de rotura (cuña, plana o vuelco). Introduciendo el RMR básico, así como el tipo de excavación calcula el SMR indicando su descripción, estabilidad, modos de fallo y sistema de sostenimiento recomendado por Romana (1993).

Como novedad, además de facilitar y automatizar el cálculo, éste se realiza según la formulación discreta (Romana 1993) y la continua (Tomas et al 2007).

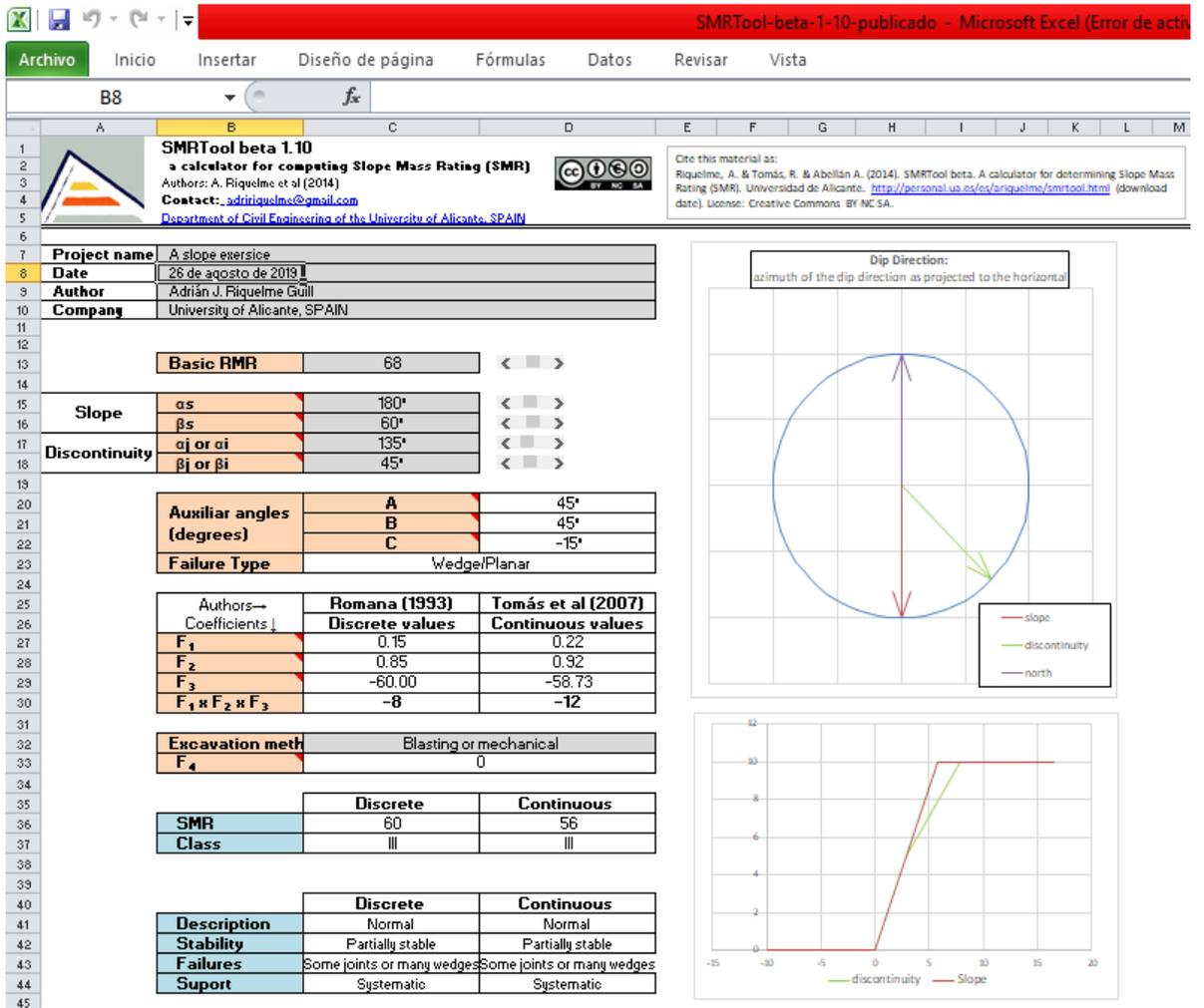


Figura 4.17.- Hoja de cálculo SMR.

Fuente: Herramienta SMRTool.

CAPÍTULO 5

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Para analizar los valores geológicos del área de estudio, se siguieron una serie de pasos que se describen a continuación:

5.1 Identificación del afloramiento

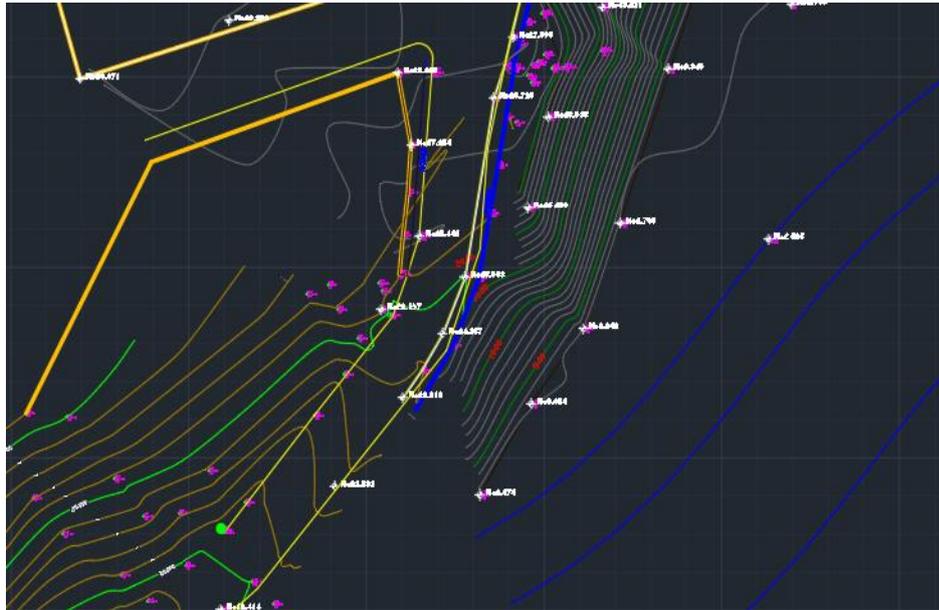
Se procedió en primer lugar a obtener un mapa topográfico y ortofotos detalladas y actualizadas, que nos permitieron ubicar con tal precisión los puntos de interés y accesos a la zona. También se investigó sobre la información geológica previa utilizable, identificando las litologías en la zona y su evolución geológica.

Luego, se realizó un reconocimiento de campo por las distintas zonas de accesos que tiene el área de estudio, identificando lugares directos donde se pudieron observar elementos geológicos de cierta entidad, y que ser posible nos permitieron hacer una explicación que ayudo a entender el contexto geológico.

Posteriormente, se estableció el área de estudio la cual ha sido detallada en la sección 3.1.1.

5.2 Levantamiento topográfico

Mediante el levantamiento topográfico (ANEXO 8) que indicaba la metodología para el área de estudio se obtuvo la siguiente información que se detalla a continuación en las siguientes figuras.



0+350.00 (anexo 9) que corresponde a nuestra área de estudio, con lo que se recopilaron los datos necesarios para poder estudiar tanto la caracterización geotécnica del macizo rocoso como el análisis de estabilidad del talud, en el que se detalla a continuación en la tabla 5.1.

DATOS DE LA ESTACION 0+350.00	
ALTURA DEL TALUD	16.11 m
ANGULO DE INCLINACION	76°
PERIMETRO	60.78 ml
BASE DEL TALUD	16 m
SUPERFICIE	224 m ²

Tabla 5.1.- Datos del área de estudio ESTACIÓN 0+350.00

Fuente: Manrique M. Vania y Tigrero R. Paola.

5.3 Toma de datos y análisis geotécnico en el afloramiento

Para la toma de datos en el afloramiento se tuvo en cuenta la metodología propuesta en el apartado 4.1.1.

Se procedió a la delimitación de las zonas, en las cuales se realizaron las descripciones geológicas-geotécnicas, las mismas que presentan una homogeneidad en las condiciones tanto geológicas como geotécnicas.

5.3.1 Litología

La proporción textural del suelo de Anconcito tiene una gran acumulación de franco arenoso, seguido del franco arcilloso y una proporción menor de franco limoso. (EP., 2015).

En el sector de estudio, el suelo geotécnico es tipo C, puesto que la composición geológica de la superficie involucra muchas limolitas y arcillolitas con ciertos niveles de areniscas, ver figura 5.3.

A partir de la composición geológica que hemos obtenido a través de la exploración de campo se pudo conseguir los datos suficientes para elaborar la columna lito estratigráfica del sitio de estudio ver figura 5.4.



FIGURA 5.3.- Afloramiento donde se obtuvieron los datos para realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso.

Fuente: Manrique M. Vania y Tigrero R. Paola.

Descripción de la columna lito estratigráfica.

Para empezar a detallar cada uno de los estratos que conforman la columna lito estratigráfica se midió tanto la orientación y dirección de la misma, datos que se obtuvieron por medio del uso de la brújula geológica y los mismos que presentamos a continuación:

Rumbo: N62°E

Buzamiento: S12°O

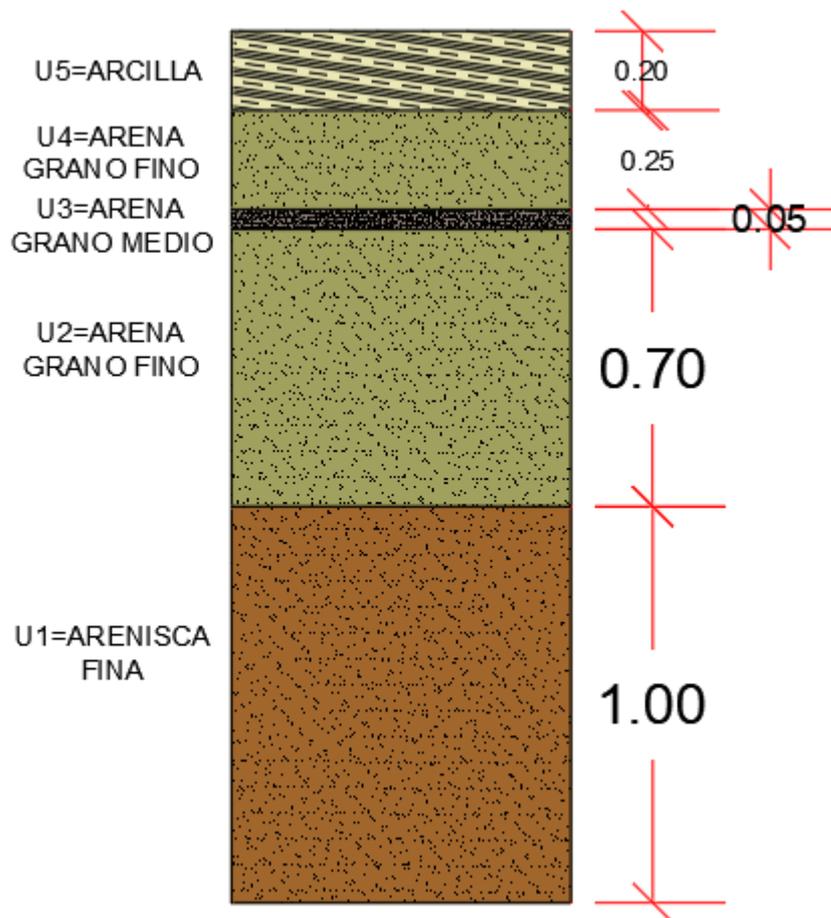


FIGURA 5.4.- Columna lito-estratigráfica de la zona de estudio.

Fuente: Manrique M. Vania y Tigrero R. Paola.

- Unidad 1 (U1)

La Unidad 1, se refiere a un estrato compuesto por areniscas finas las cuales presentan una edad considerada dentro de la composición del macizo rocoso, además posee contenido de arcillas pobremente cementadas y consolidadas, con alto grado de alteración.

Tiene una superficie de color café-amarillento, también se pudo presenciar un color rojizo producto de la oxidación.

El espesor es de 1m por tanto se consideró como un estrato métrico, en el mismo se pudo observar con mucha facilidad las fracturas que tiene y deducir previo al tanteo que prácticamente éste se desintegra.

- **Unidad 2 (U2)**

Se trata de un estrato de 0.70 m de espesor, compuesto de areniscas finas, con una superficie de color gris amarillento.

- **Unidad 3 (U3)**

La unidad 3 describe a un estrato de espesor de 0.05 m conformado por una arena de grano medio y presenta un color gris claro.

- **Unidad 4 (U4)**

Esta unidad pertenece a un estrato de 0.25 m de espesor, formado por una arena de grano con un cierto porcentaje de areniscas de grano medio, el cual presenta un color gris claro.

- **Unidad 5 (U5)**

Esta unidad corresponde básicamente a un estrato de 0.20m de espesor que básicamente lo conformo una arcilla expansiva con intermediaciones de areniscas de grano fino, además se pudo observar que tiene una superficie de color amarillenta.

5.3.2 Número y orientación de familia de discontinuidades

A partir del procesamiento de los datos tomados a lo largo de la zona escogida fue posible identificar las principales familias existentes, que a continuación se detalla mediante las siguientes Figuras 5.5, 5.6, 5.7



Figura 5.5.- Familia 1.

Fuente: Manrique M. Vania y Tigreiro R. Paola.



Figura 5.6.- Familia 2.

Fuente: Manrique M. Vania y Tigrero R. Paola.



Figura 5.7.- Familia 3.

Fuente: Manrique M. Vania y Tigrero R. Paola.

En el ANEXO 7 se ilustra los planos y polos de las discontinuidades encontradas en la zona de estudio y la dirección del talud, en ella puede

evidenciar que se observa la presencia de intersecciones de planos que generan una **falla planar/cuña**, a continuación, se detalla los datos estructurales de cada familia, ver tabla 5.2.

N° FAMILIA	RUMBO	CUADRANTE RUMBO	BUZAMIENTO	CUADRANTE BUZAMIENTO
Familia 1	30°	NO	75°	NE
Familia 2	55°	NO	55°	SE
Familia 3	60°	NS	60°	NO
Dirección de talud	62°	NE	12°	SO

Tabla 5.2. Datos estructurales de discontinuidades.

Fuente. Tigrero R. Paola y Manrique M. Vania.

5.3.3 RQD

La medición del valor RQD, se realizó teniendo en cuenta el número de discontinuidades presentes en un m³ y se utilizó la siguiente fórmula para el cálculo del mismo.

$$RQD = 115 - (3.3) J_v$$

Donde J_v es el número de discontinuidades (fracturas) en un m³, que a continuación se detallan en la tabla 5.3, además con este valor hallado podemos clasificar el tamaño del macizo rocoso según el número de discontinuidades como indica la tabla 4.9.

Familias	Fracturas J_v	Tamaño del bloque (m²)
1	16	Pequeños
2	14	Pequeños

3	11	Pequeños
Jv PROMEDIO	13.67	Pequeños

Tabla 5.3. Conteo de fracturas y clasificación del tamaño del macizo rocoso según el número de familia de discontinuidades.

Fuente. Tigrero R. Paola y Manrique M. Vania.

Entonces reemplazando en la ecuación anterior, el valor promedio de $J_v=13.67$, obtendremos el valor de RQD para poder determinar la calidad del macizo rocoso según la tabla 4.19.

$$RQD = 115 - (3.3) J_v$$

$$RQD = 115 - (3.3) (13.67)$$

$$RQD = 69.89 \approx 70$$

De acuerdo con este valor de RQD, podemos concluir que la calidad de la roca es **REGULAR**.

5.3.4 Abertura

Se tomó la distancia perpendicular existente entre las paredes de las discontinuidades en las cuales se encontraban sin algún material de relleno obteniendo los siguientes resultados que se muestran en la tabla 5.4.

DISCONTINUIDADES	ABERTURA (mm)
Familia 1	53
Familia 2	32
Familia 3	33
ABERTURA PROM.	40

Tabla 5.4. Valores de aberturas mediante las discontinuidades.

Fuente. Tigrero R. Paola y Manrique M. Vania.

Por lo tanto la medida de la abertura de las discontinuidades que predomina en el macizo rocoso analizado es de **40mm** y que según la tabla 4.14 corresponden a **DISCONTINUIDADES MUY ABIERTAS**.

5.3.5 Forma y Rugosidad

Tanto la medición de la forma como la rugosidad de las discontinuidades se realizó de manera visual teniendo como referencia la codificación estándar propuesta en el apartado de la tabla 5.5 y en base a la recolección de datos se expone en la tabla 5.6 que la forma y rugosidad que predomina en el macizo rocoso es una superficie **RUGOSA ONDULADA**.

DISCONTINUIDADES	FORMA	RUGOSIDAD
Familia 1	Semiondulada	Rugosa
Familia 2	Ondulada	Rugosa
Familia 3	Ondulada	Muy rugosa

Tabla 5.5. Valores de forma y rugosidad de las discontinuidades.

Fuente. Tigrero R. Paola y Manrique M. Vania.

5.3.6 Relleno

A continuación se ilustra en la tabla 5.6 el tipo de relleno encontrado en la exploración del macizo rocoso, el cual se compone de relleno de YESO y ARCILLA, el mismo que predomina a lo largo de todo el afloramiento.

DISCONTINUIDADES	RELLENO	ESPESOR DEL RELLENO
Familia 1	Yeso y arena	10mm
Familia 2	Yeso y arcilla	10mm
Familia 3	Yeso y arcilla	10mm

Tabla 5.6. Relleno en las discontinuidades.

Fuente. Tigrero R. Paola y Manrique M. Vania.

Por lo tanto se considera según las especificaciones de la tabla 5.9, un **RELLENO BLANDO**.

5.3.7 Resistencia

La resistencia se obtuvo en campo mediante el uso del martillo de Schmidt, cuyo ensayo nos permitió obtener los siguientes datos que se detallan en la tabla 3.7, utilizando las medidas descritas en el apartado 4.1.1.2.

MEDIDA	No. REBOTE	RESISTENCIA (kg/cm²)	RESISTENCIA (MPa)
#1	0	-	-
#2	30	210	21
#3	10	-	-
#4	27	165	16
#5	20	-	-
#6	25	140	14
RESISTENCIA PROMEDIO		172	17

Tabla 5.7.- Valores de la resistencia por el ensayo de rebote.

Fuente. Tigrero R. Paola y Manrique M. Vania.

La resistencia obtenida por el martillo es considerada el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial. Dicha resistencia a la compresión nos muestra un promedio de **17 MPa** y que mediante la tabla 5.7 podemos describir al macizo rocoso de resistencia **BLANDA**.

5.3.8 Meteorización

Mediante la observación realizada al macizo rocoso expuesto, podemos indicar que el mismo presenta un grado **MUY ALTO DE ALTERACION** o de meteorización debido a que las rocas llevan mucho tiempo expuestas a los agentes climáticos y no conservan sus características originales.

En la tabla 5.8 se detallan las observaciones obtenidas en la exploración de campo:

DISCONTINUIDADES	° DE METEORIZACION.
Familia 1	MUY ALTO
Familia 2	MUY ALTO
Familia 3	MUY ALTO

Tabla 5.8.- Grado de meteorización.

Fuente. Tigrero R. Paola y Manrique M. Vania.

5.3.9 Continuidad.

Se analiza las condiciones tectónicas de la zona de estudio y la dirección en la que se presentan las discontinuidades y se obtiene un valor de continuidades de 10m en el rumbo y de 10 a 15m en la dirección del buzamiento.

5.3.10 Filtraciones

En el análisis realizado en el macizo rocoso no se encontró la presencia de agua que perjudique el comportamiento mecánico del mismo.

5.4 Clasificación del Macizo Rocos.

Como se indicó en el apartado anterior, se realizó una exploración geológica-geotécnica en el afloramiento donde se obtuvieron los parámetros necesarios para lograr la caracterización geomecánica.

Tales parámetros han sido evaluados y clasificados según lo propone la metodología RMR y SMR, los cuales se detallan a continuación:

5.4.1 Clasificación RMR.

Del análisis realizado de los parámetros obtenidos en afloramiento se consiguieron los siguientes resultados:

PARÁMETROS	VALOR	PUNTUACIÓN
Resistencia	<1	2
RQD	50-75%	13
Continuidad	3-10m	2
Espaciamiento	200-600 mm	10
Abertura	>5mm	0
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Blando 5-10mm	3
° de Meteorización	Muy alterada	1

Infiltración	Seco	15
PUNTUACIÓN RMR		51

Tabla 5.9.- Parámetros de Macizo Rocoso.

Fuente. Tigrero R. Paola y Manrique M. Vania.

Según la tabla 5.9 la puntuación total obtenida de cada uno de los parámetros evaluados es **51**, la misma que se encuentra en el rango de clasificación de **60-41**, por lo que se le otorga una clasificación de macizo de **CALIDAD MEDIA** y de **CLASE III**, por consiguiente este macizo rocoso presenta según la clasificación adquirida un ángulo de rozamiento entre **25-35°** y una cohesión de **2-3 Kpa/cm³**, factores que se serán utilizados para el análisis de estabilidad de talud del macizo rocoso del área de estudio.

5.4.2 Clasificación SMR.

Para el cálculo del SMR se ha empleado la hoja Excel SMRTool específica, publicada por Riquelme et. al (2014).

De esta manera trabajaremos para el análisis del SMR de cada familia de discontinuidades con el valor de RMR antes calculado.

- **Cálculo de SMR- Familia 1 (ANEXO #10)**

DATOS:

RMRb = 51

RUMBO PENDIENTE (SLOPE) = 62°

BUZAMIENTO PENDIENTE (SLOPE) = 12°

RUMBO DISCONTINUIDAD 1 (DISCONTINUITY) = 30°

BUZAMIENTO DISCONTINUIDAD 1 (DISCONTINUITY) = 75°

RESULTADOS:

AUTORES	ROMANA (1993)	TOMAS ET AL (2007)
COEFICIENTES	VALORES DISCRETOS	VALORES CONTINUOS
F1	0.15	0.30

F2	1.00	0.99
F3	0.00	-0.30
METODO DE EXCAVACION	MECANICA O VOLADURA	
F4	0	
SMR	51	51
CLASE	III	III
DESCRIPCION	Normal	Normal
ESTABILIDAD	Parcialmente estable	Parcialmente estable
FALLAS	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas
METODO DE SOSTENIMIENTO	Sistemático	Sistemático

Tabla 5.10.- Análisis de estabilidad-Familia 1.

Fuente. Tigrero R. Paola y Manrique M. Vania.

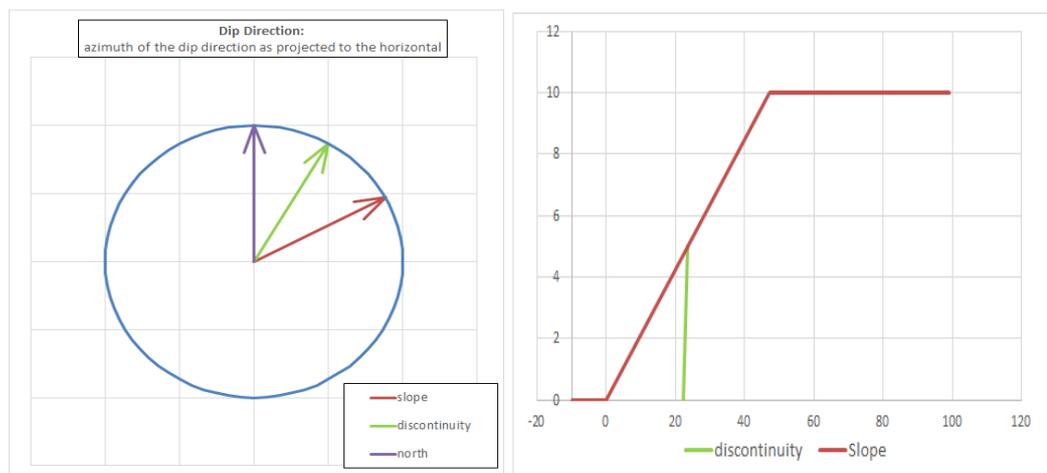


Figura 5.8.- SMR FAMILIA 1

Fuente.- Tigrero R. Paola y Manrique M. Vania.

- **Cálculo de SMR- Familia 2 (ANEXO #11)**

DATOS:

RMRb = 51

RUMBO PENDIENTE (SLOPE) = 62°

BUZAMIENTO PENDIENTE (SLOPE) = 12°

RUMBO DISCONTINUIDAD 2 (DISCONTINUITY) = 55°

BUZAMIENTO DISCONTINUIDAD 2 (DISCONTINUITY) = 55°

RESULTADOS:

AUTORES	ROMANA (1993)	TOMAS ET AL (2007)
COEFICIENTES	VALORES DISCRETOS	VALORES CONTINUOS
F1	0.85	0.91
F2	1.00	0.96
F3	0.00	-0.44
METODO DE EXCAVACION	MECANICA O VOLADURA	
F4	0	
SMR	51	51
CLASE	III	III
DESCRIPCION	Normal	Normal
ESTABILIDAD	Parcialmente estable	Parcialmente estable
FALLAS	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas
METODO DE SOSTENIMIENTO	Sistemático	Sistemático

Tabla 5.11.- Análisis de estabilidad-Familia 2.

Fuente. Tigrero R. Paola y Manrique M. Vania.

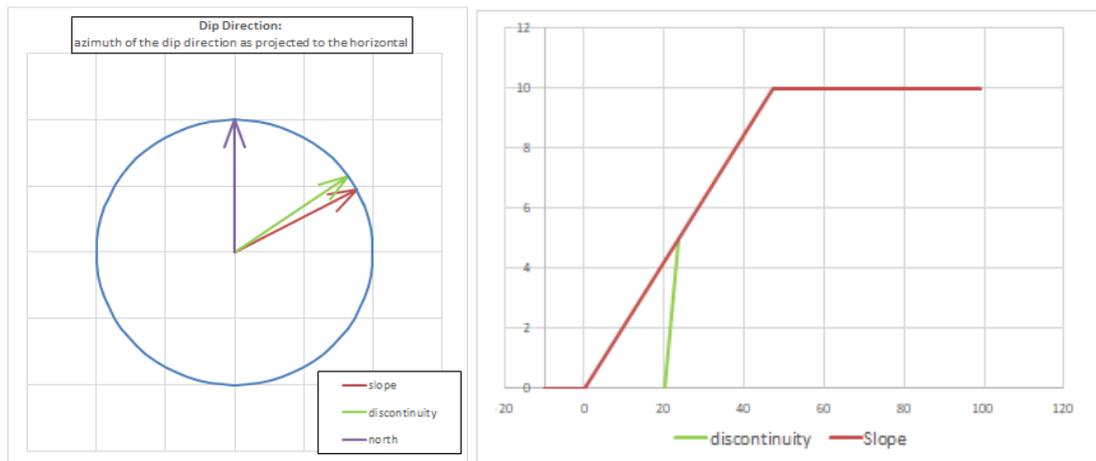


Figura 5.9.- SMR FAMILIA 2

Fuente.- Tigrero R. Paola y Manrique M. Vania.

- Cálculo de SMR- Familia 3 (ANEXO #12)

DATOS:

RMRb = 51

RUMBO PENDIENTE (SLOPE) = 62°

BUZAMIENTO PENDIENTE (SLOPE) = 12°

RUMBO DISCONTINUIDAD 3 (DISCONTINUITY) = 60°

BUZAMIENTO DISCONTINUIDAD 3 (DISCONTINUITY) = 60°

RESULTADOS:

AUTORES	ROMANA (1993)	TOMAS ET AL (2007)
COEFICIENTES	VALORES DISCRETOS	VALORES CONTINUOS
F1	1	0.98
F2	1.00	0.97
F3	0.00	-0.40
METODO DE EXCAVACION	MECANICA O VOLADURA	
F4	0	
SMR	51	51
CLASE	III	III
DESCRIPCION	Normal	Normal
ESTABILIDAD	Parcialmente estable	Parcialmente estable
FALLAS	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas
METODO DE SOSTENIMIENTO	Sistemático	Sistemático

Tabla 5.12.- Análisis de estabilidad-Familia 3.

Fuente. Tigreiro R. Paola y Manrique M. Vania.

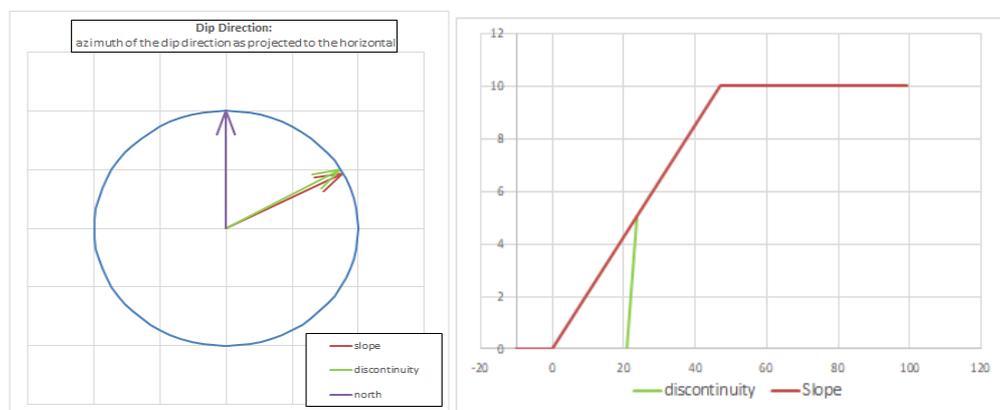


Figura 5.10.- SMR FAMILIA 3

Fuente.- Tigreiro R. Paola y Manrique M. Vania.

Se da como resultado mediante el **SMR=51** que obtuvimos a través del análisis que se realizó utilizando la herramienta SMRTool para cada una de las familias de discontinuidades que encontramos en el área de estudio, se ha determinado que el talud en estudio se encuentra **PARCIALMENTE INESTABLE**, pertenece a una **CLASE III** dentro de la clasificación SMR, y exige un método de sostenimiento **SISTEMATICO** como se indica en la Tabla 4.21.

CAPÍTULO 6

DISEÑO DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD DEL MACIZO ROCO SO EN EL ÁREA DE ESTUDIO DEL SECTOR 9 DE OCTUBRE DE LA PARROQUIA ANCONCITO

6.1 Medidas de estabilización

En el momento en que un talud presenta inestabilidad es preciso el desarrollo de medidas que logren su estabilización obteniendo el respectivo factor de seguridad.

Las medidas estabilizadoras pueden consistir en:

- Modificación de la geometría del talud.
- Drenajes.
- Aumento de la resistencia del terreno mediante la introducción en el talud de elementos estructurales resistentes.
- Construcción de muros u otros elementos de contención.
- Disminuir la inclinación del talud.
- Eliminar peso de la cabecera del talud (descabezamiento).
- Incrementar el peso en el pie del talud (tacones o escolleras).
- Construir bancos y bermas (escalonar el talud). (PEARSON EDUCACIÓN, 2002)

6.1.1 Métodos de estabilización

Las estructuras de contención poseen como finalidad la colocación de fuerzas adicionales, las mismas que soporten el movimiento. Al colocar fuerzas externas permite aumentar las fuerzas resistentes sin que disminuyan las actuantes.

Los tipos de estructuras tienen un sistema diferente de trabajo y deben ser diseñadas acorde a su comportamiento.

Sistemas de remediación de deslizamientos:

- Estructuras de gravedad.
- Muros en voladizo.
- Estructuras ancladas.
- Estructuras enterradas.
- Estructuras de anclaje.

6.1.2 Método de estabilización recomendado en el sitio de estudio

Como propuesta de metodología a aplicar para la corrección de deslizamiento del sector 9 de Octubre, nos enfocaremos en las estructuras de gravedad incluyendo así los muros de gaviones.

Estructura de gravedad.- Son aquellos muros que laboran como un peso o contrafuerte de un movimiento en la parte inferior. Entre estas estructuras se hallan los muros ciclópeo, muros de concreto simple, muros de gaviones, mampostería, enrocado.

Los muros son estructuras resistentes que, se ubican al pie del talud, mejorando la estabilidad del mismo, produciendo los siguientes efectos:

- Compensan los empujes del terreno mediante un empuje pasivo.
- Suponen un sobrepeso en el pie del talud.
- Actúan como elementos de retención de bloques desprendidos.
- Protegen el pie del talud de la meteorización y alteración del terreno

Los muros se pueden clasificar en función de su material constructivo.

Muro de gaviones

Se construyen mediante la superposición de cajas prismáticas de malla de alambre galvanizado o plástico, que se rellenan en obra con cantos o

bloques rocosos de pequeñas dimensiones. Este tipo de muros casi no se emplean como elementos de contención en macizos rocosos, si no mas bien como sobrepeso y como protección contra desprendimientos y la erosión. El muro puede flectarse sin necesidad de que ocurra su volcamiento o deslizamiento, y es común encontrar deflexiones hasta el 20% de la altura.

Ventajas:

- Sencillo de construir, mantener y se emplea los cantos y rocas disponibles en el sitio.
- Se puede construir sobre fundaciones débiles.
- Su estructura es flexible, puede soportar asentamientos diferenciales mayores que otro tipo de muros y es simple de demoler o reparar.

Se pueden utilizar tres tipos de mallas diferentes, hexagonales o de triple torsión, electrosoldada y eslabonada simple. Existe una gran variedad de tamaños de malla disponible para formar las cajas. Por lo regular, se utilizan cajas de 2m x 1m x 1m. La forma básica es trapezoidal.

Desventajas:

Las mallas de acero galvanizado se corroen fácilmente en ambientes ácidos, por ejemplo, en suelos residuales de granitos se requiere cantos o bloques de roca, los cuales no necesariamente están disponibles en todos los sitios. Al amarre de la malla y las unidades generalmente no se le hace control de calidad. (Deslizamiento: Técnicas de remediación. Capítulo 3 Pág. 116. Jaime Suárez.)

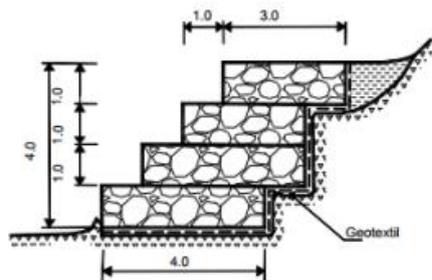


Figura 6.1.- Muro de gavión.

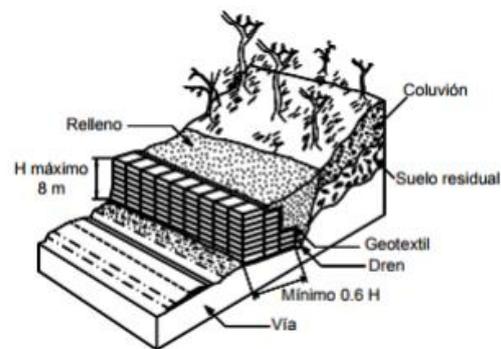


Figura 6.2.- Esquema de gavión.

Fuente: Técnicas de remediación, Jaime Suárez).

La piedra que se utiliza para relleno de gaviones puede ser de origen natural u originario de otro sitio, sin agentes corrosivos y que posean resistencia a la acción del agua y la intemperie. La presencia de suelos arcillosos, ciertos de ellos con características de expansividad han destruido las estructuras de los muros, lo que hace necesario realizar un buen control de calidad del terreno de apoyo para evitar posibles fallas.

Muro de escollera.

Se construyen con bloques rocosos de grandes dimensiones (peso superior a 250 kg) con forma aproximadamente prismática. Su menor coste, la disminución de los empujes del agua en el trasdós (son drenantes), su mejor adaptación a los movimientos del terreno, ya que admiten deformaciones mayores y la reducción de los impactos ambientales.

En el caso de puertos y obras hidráulicas se requiere que la granulometría sea uniforme, teniendo en cuenta que los volúmenes de cada elemento deben ser mayores en función a las acciones que deba soportar.

El material a usar en las escolleras debe ser debidamente seleccionado, cuya extracción incluye un procedimiento estricto para lograr obtener los tamaños adecuados, reduciendo así que el material sea manipulado. Para ello se requiere el estudio y tipo de colocación necesario para obtener el máximo rendimiento en la extracción de canteras.

Las escolleras al pie del talud con deslizamientos se emplean como elemento resistente para estabilizar talud, reforzando y aportando peso, muy utilizada en los casos de inestabilidades superficiales en sitios con presencia de material arcilloso.

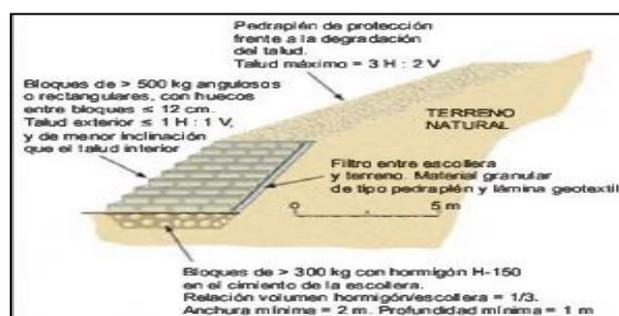


Figura 6.3.- Estabilización de un talud mediante escollera.

Fuente: Ingeniería Geológica, 2002.

Para establecer el tipo de rompeolas a usar se debe determinar:

- Disponibilidad del material cerca del lugar.
- Profundidad del mar.
- Condición del fondo del mar.
- Función.
- Disponibilidad de equipos y maquinarias para la construcción.

Es necesario analizar la solidez, densidad y capacidad de la roca para seccionar ésta, siendo factores importantes para decidir su uso.

El diseño de rompeolas de escollera para defensora litoral o costera necesita contar con información oceanográficas de la región, a su vez las características del oleaje local y como incide en la playa; dicha información se detalla en el capítulo 3.1.5 y 3.1.6.

La construcción de la estructura rocosa también depende de la batimetría, la configuración de la bahía y del tipo de material de la playa.

Parámetros básicos:

- Refracción de olas.- Este fenómeno se presenta por el cambio de dirección de la propagación de las olas, que se origina por la disminución de velocidad de una parte del tren del oleaje respecto a otra. Esta disminución se origina también por el frenado en la parte inferior de las olas por fricción contra el fondo.
- Rompimiento de la ola.- Consiste en la disipación total de energía, cuando la altura y el periodo de las olas aumentan de una manera desigual por la acción del viento, en cierto momento crece más de prisa la altura proporcional que la longitud, de esta manera la ola pierde su equilibrio al hacerse más convexa y finaliza desplomándose.
- Difracción de la ola.- Depende del grado de reflexión de la misma estructura. La presencia de las olas es un factor que hace más difícil poder establecer los límites permisibles de ésta, las cuales penetran a través de la entrada del puerto. El flujo lateral de la energía es

irrupción su avance por el rompeolas a lo largo de un tren incidente de las mismas.

- Run up de la ola.- Subida de la ola con respecto a su nivel normal de aguas tranquilas. Se da cuando el tren de oleaje refractado que no alcanza aun la condición de romper incidiendo con la pendiente de un rompeolas de escollera, sufriendo por el esfuerzo de descolocar las unidades de armadura en un alto grado de disipación de energía, sea esto por fricción, turbulencia, etc.
- Sobrepasso de la ola.- Se manifiesta cuando el Run up excede a la cresta del rompeolas; es también conocido como overtopping.
- Run down de la ola.- O refluo máximo sobre la pendiente, interviene como parte importante para el diseño de la capa principal del rompeolas, ya que influye en la estabilidad de la uña y por consiguiente de la estructura en conjunto.

Como el rompeolas de escolleras desde en principio una estructura permeable, debemos pensar también que las olas pueden penetrar a través de la estructura.

En la práctica, esta permeabilidad se permite debido al hecho de que las olas son relativamente cortas y que es posible la presencia de un núcleo de material fino en el rompeolas. Sin embargo, si este núcleo está construido casi exclusivamente de material grueso, y el periodo de la ola es largo (mayor a 12 s), la penetración del oleaje no podrá ser despreciada.

La transmisión de la ola en el sotavento del rompeolas puede modificar el modelo del oleaje, formando olas estacionarias de diversas alturas; ello es debido al avance y retroceso de la ola reflejada entre el rompeolas y las otras estructuras del puerto. **(MARTINEZ, 1992)**

Todos los parámetros ya mencionados son necesarios para poder realizar un buen diseño de rompeolas.

Se debe obtener información existente de la orientación de las olas, luego evaluar y definir la utilidad de la misma, para así poder medir el oleaje.

Para seleccionar una altura de ola de diseño dependerá si la estructura está sujeta al ataque de las olas rompientes, no rompientes o de las que su energía se haya disipado, y a las características de geometría y porosidad

de la estructura. Una vez conocido esto, se procede a determinar si en el lugar del rompeolas, la altura de la ola está controlada por la profundidad del agua.

Las condiciones de las olas deberían ser analizadas en varios puntos a lo largo de la estructura, puesto que debido a las fluctuaciones (mareas) de una sección determinada, el tipo de acción de la ola que experimenta un rompeolas puede variar a lo largo de éste

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Se logró evaluar la estabilidad del talud ubicado en la parroquia Anconcito del sector 9 de Octubre presentando varios factores que implican con el transcurso del tiempo un talud parcialmente inestable produciendo un deslizamiento tipo rotacional.

Como resultado del trabajo de campo, el macizo rocoso se localiza en la formación geológica del grupo Ancón, miembro arenisca seca, altamente meteorizada a un material tipo suelo, donde no se observan las estructuras originales como planos de estratificación y las evidencias del tectonismo casi ha desaparecido.

Para la evaluación estructural del macizo rocoso, se realizó la identificación litológica, familias de estructuras donde fue posible, características de las fracturas como abertura, rugosidad, relleno y meteorización. Este último parámetro es definitivo en la evaluación del macizo rocoso, donde se establece el alto grado de la descomposición de la roca original y donde actualmente existe un suelo de baja resistencia.

Según los parámetros recopilados que describen las propiedades geomecánicas del afloramiento, a través del trabajo de campo se obtuvieron los siguientes resultados con la que se demuestra la calidad del macizo rocoso, que de acuerdo a la clasificación RMR (Rock Mass Rating) pertenece a la CLASE III, el cual lo categoriza como CALIDAD MEDIA respectivamente, exponiendo cohesión de $2-3\text{Kpa/cm}^3$ y un ángulo de rozamiento entre $25-35^\circ$.

Dado los resultados obtenidos mediante el Slope Mass Rating, $\text{SMR}= 51$, se concluye globalmente que las familias de las discontinuidades son **PARCIALMENTE INESTABLES** por falla cuñar determinado por la

proyección estereográfica, indicando un método de sostenimiento sistemático adecuado para la clase III.

Por otra parte, al identificar los factores desencadenantes con mayor influencia que alteran la estabilidad del macizo rocoso, se encontró la problemática ocurrida debido al asentamiento inadecuado de viviendas que han sido a su vez afectadas por la inestabilidad del terreno; por otro lado la falta de un sistema de alcantarillado y aguas lluvias lo cual induce a que exista infiltración en el macizo rocoso provocando así la erosión del mismo.

Debido a la calidad del material que forma el talud del sector 9 de Octubre, se concluye que es necesario estabilizar el talud con el empleo de una obra geotécnica de uso frecuente en nuestro sitio como es la construcción de muros de gaviones para reducir la erosión al pie del talud, agregando a una protección costera (escollera) que permitirá la disminución de la energía de las olas al romperse contra el macizo rocoso.

7.2 Recomendaciones

Se recomienda a fin de lograr y mantener nuestra zona de estudio, implementar el sistema adecuado de conducción de aguas de escorrentías y drenajes; la ampliación de la red del sistema de alcantarillado del sector 9 de Octubre, el adecuado destino de basura y escombros.

Evitar que existan más asentamientos inadecuados de las viviendas, logrando así conservar su topografía actual.

Mediante los GAD tanto Parroquiales como Municipales y tomando en cuenta el desarrollo de la presente investigación se logre cristalizar la estabilización del macizo rocoso del sector 9 de Octubre para evitar que el alto proceso de erosión continúe y este falle.

Realizar estudios geofísicos para delinear discontinuidades en el subsuelo, los cuales podrían incidir en nuevos deslizamientos.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

- Anconcito, G. P. (2015). *GAD Parroquial de Anconcito*. Salinas.
- AREO, I. E. (1983). *TERCER CONGRESO ECUATORIANO DE INGENIEROS GEOLOGOS DE MINAS Y PETROLEOS. GUAYAQUIL.*
- BRISTOW. (1979).
- CAMPOVERDE, K. (2013).
- Chunga, K. (2009). *Análisis estructural de fallas geológicas y potenciales*. La Libertad. REVISTA CIENCIA Y TECNOLOGÍA UPSE.
- EP., S. E. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Anconcito – 2015-2019*. SALINAS.
- HOFFSTETTER, A. L. (1977).
- INOCAR. (2007). Características de las precipitaciones, la temperatura del aire y los vientos en la costa ecuatoriana. *Acta oceanográfica del Pacífico*, (pág. 5). Guayaquil.
- INOCAR. (2018). *Instituto Oceanográfico Armada del Ecuador*. Pagina web oficial.
- Martinez, I. G. (1992). *Ingeieria de rios y costas*. Mexico.
- MIDUVI. (2011). *Ministerio de desarrollo urbano y vivienda*.
- Ministerio de desarrollo urbano y vivienda. (2014). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN*. Quito: Dirección de comunicación social, MIDUVI .
- MITE. (1989).
- PEARSON EDUCACIÓN. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid.
- PENNINGTON. (1981).
- REITER. (1990).

SENAGUA. (2011).

THALMAN. (1946).

Linkografía

<https://provinciasecuador.com/mapa-politico-del-ecuador/> (MAPA POLÍTICO)

<http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/T-SENESCYT-000352.pdf> (SISMICIDAD)

<http://jaimeargudo.com/wp-content/uploads/2011/05/2011-SISMICA-Cap-2-Parte-3.pdf> (SISMICIDAD)

<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Estratigrafia/Introduccion-estratigrafia.html> (ESTRATIGRAFIA)

http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0960001380001_DIAGNOSTICO%20PDOT%202015%20marzo_13-03-2015_20-29-41.pdf (FALLA GEOLÓGICA)

<http://186.42.174.241/InamhiPronostico/>

<http://186.42.174.236/InamhiEmas/#>

<https://studylib.es/doc/7194444/cap%C3%ADtulo-v--de-puntilla-de-santa-elena-a-punta-capones> (DESCRIPCION DE ANCONCITO)

https://www.inocar.mil.ec/boletin/ALN/Derrotero_2005.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Asentamiento de viviendas del sector 9 de Octubre con presencia de fallas y agrietamientos.

Fuente: Manrique M. Vania y Tigreiro R. Paola.



Anexo 2. Evidencia de la falla rotacional y deslizamiento circular
Fuente: Manrique M. Vania y Tigreiro R. Paola.



Anexo 3. Estabilización de la parte superior del talud con enrocado.
Fuente: Manrique M. Vania y Tigreiro R. Paola.



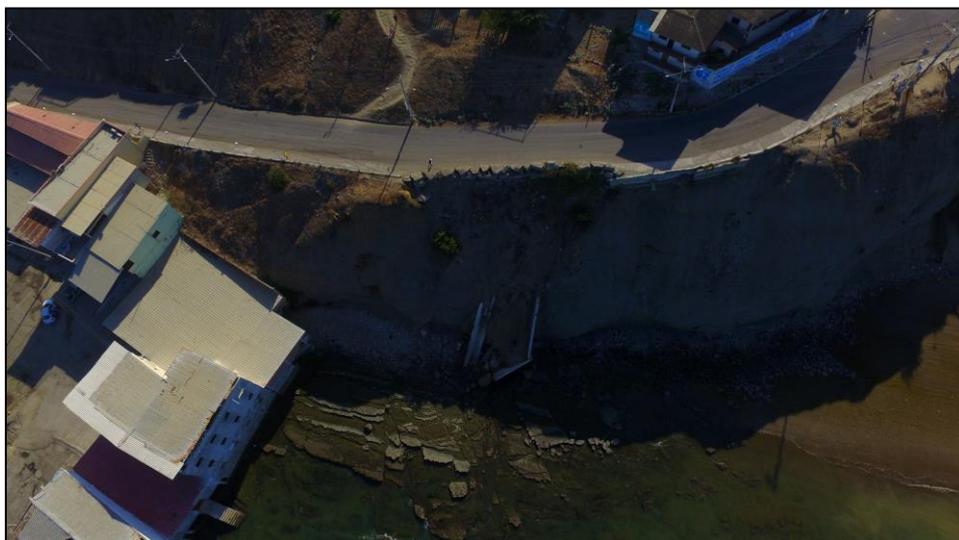
Anexo 4. Zona de estudio altamente meteorizada.

Fuente: Manrique M. Vania y Tigreiro R. Paola.



Anexo 5. Fotos aéreas (drone) del sector 9 de Octubre.

Fuente: Vania Manrique y Paola Tigreiro.



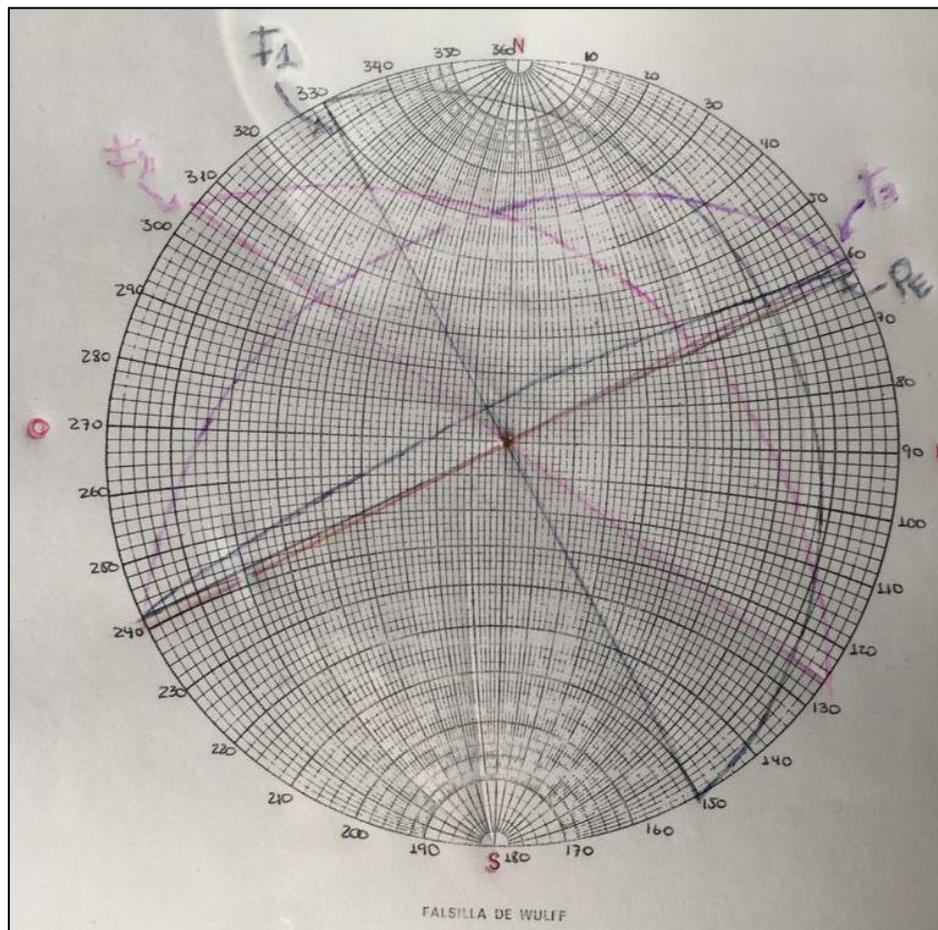
Anexo 6. Vía del talud colapsada por presencia de lluvia.

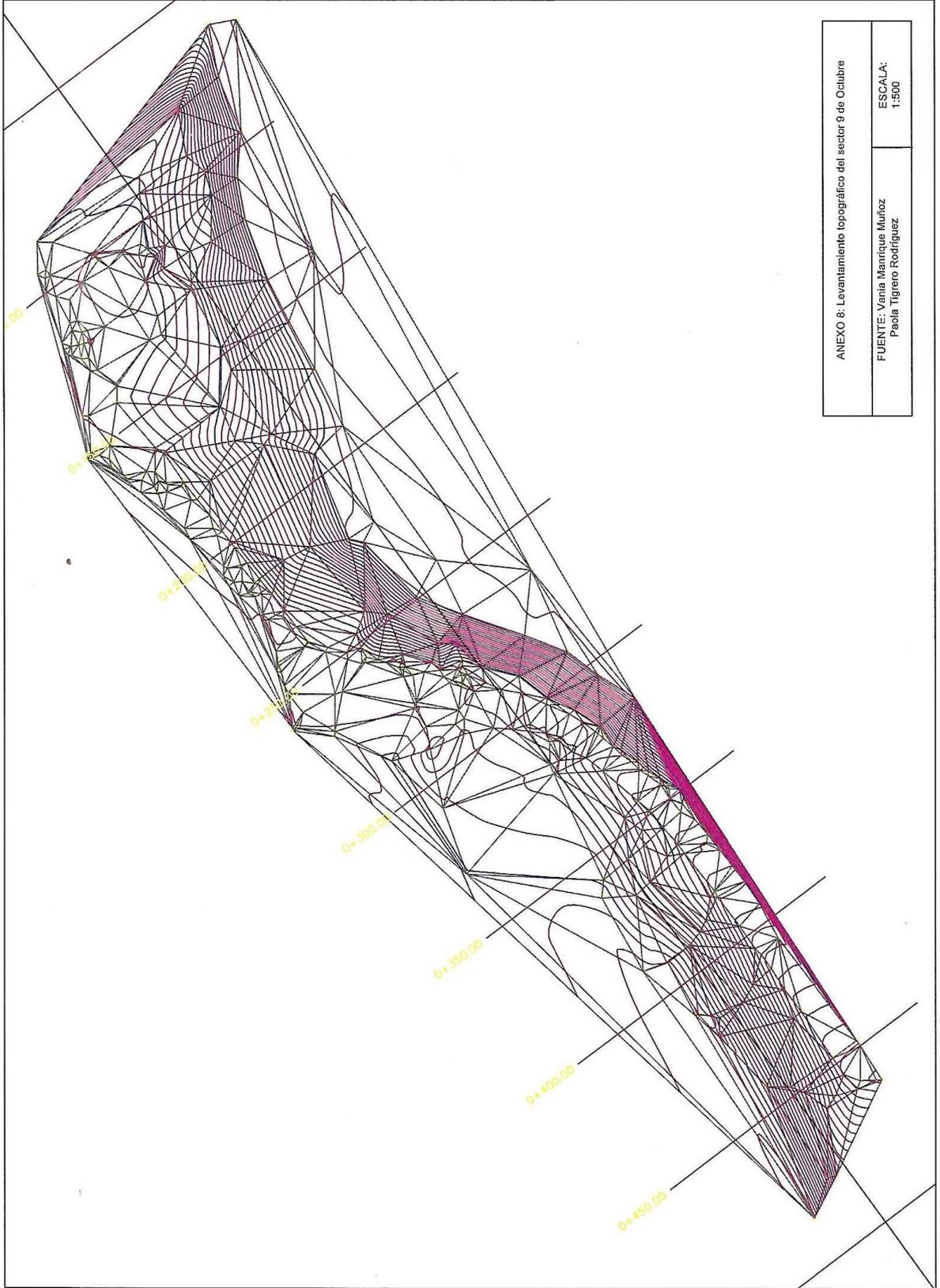
Fuente: Ecuavisa.



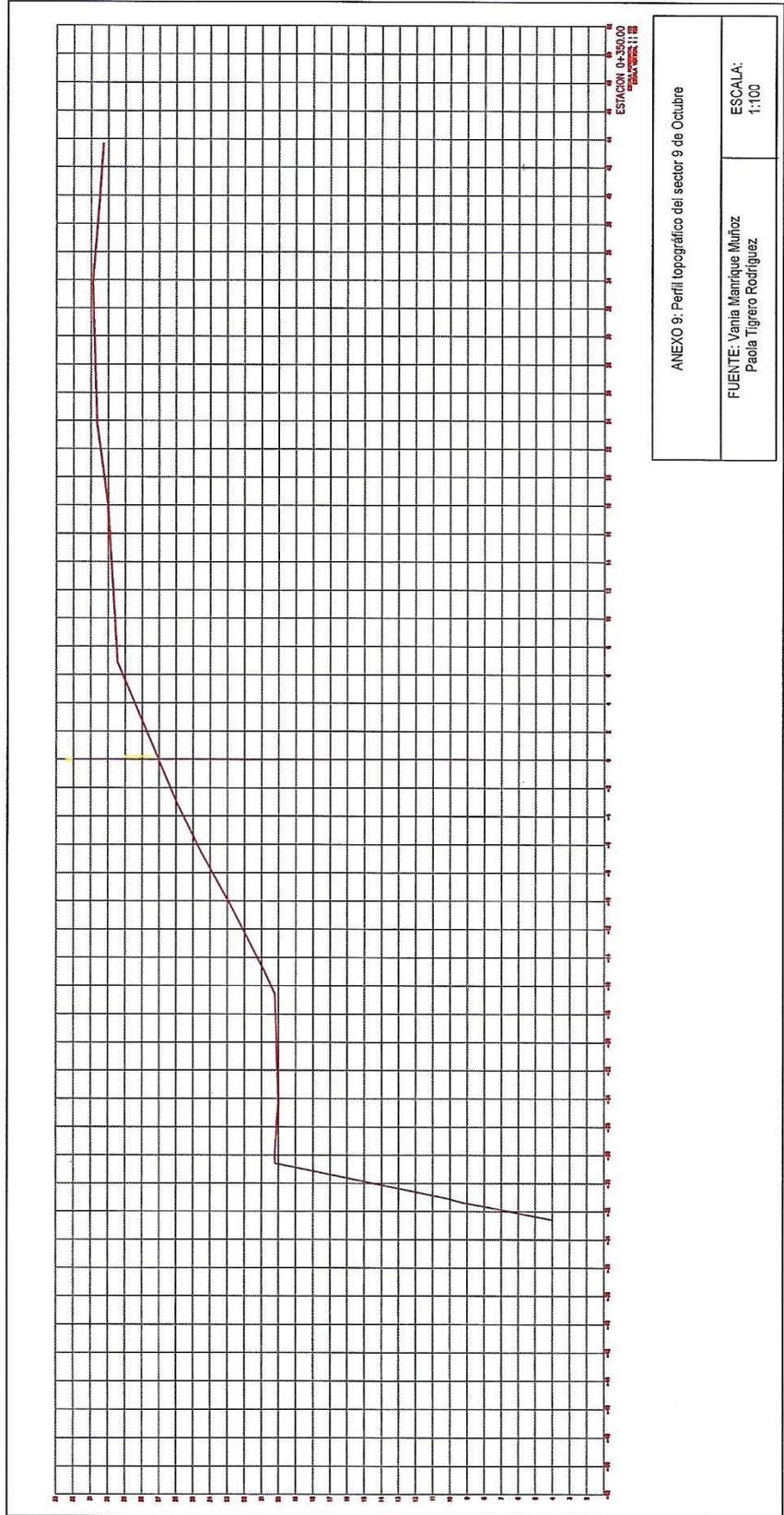
Anexo 7. Red estereográfica.

Fuente: Vania Manrique y Paola Tigrero.





ANEXO 8: Levantamiento topográfico del sector 9 de Octubre	
FUENTE: Vania Manrique Muñoz Paola Tigrero Rodríguez	ESCALA: 1:500





SMRTool beta 1.10

a calculator for computing Slope Mass Rating (SMR)

Authors: A. Riquelme et al (2014)

Contact: adriquirme@rmail.com

Department of Civil Engineering of the University of Alicante, SPAIN



Cite this material as:
Riquelme, A. & Tomás, R. & Abelián, A. (2014). SMRTool beta. A calculator for determining SI Rating (SMR). Universidad de Alicante. <http://personal.ua.es/es/ariquelme/smrtool.html> (d

Project name	ANEXO 10 SMR FAMILIA 1	
Date	9 de septiembre de 2019	
Author	Adrián J. Riquelme Guill	
Company	University of Alicante, SPAIN	

Slope	Basic RMR	51
Discontinuity	α_s	62º
	β_s	12º
	α_j or α_i	30º
	β_j or β_i	75º

Auxiliar angles (degrees)	A	32º
	B	75º
	C	63º
Failure Type	Wedge/Planar	

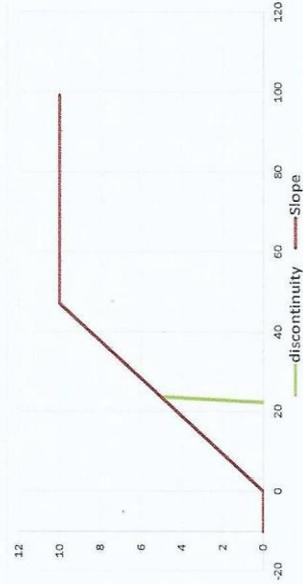
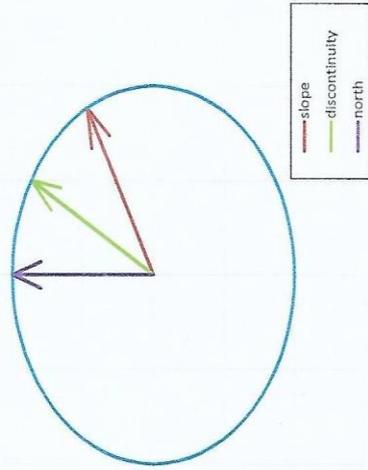
Authors →	Romana (1993)	Tomás et al (2007)
Coefficients ↓	Discrete values	Continuous values
F_1	0,15	0,30
F_2	1,00	0,99
F_3	0,00	-0,30
$F_1 \times F_2 \times F_3$	0	0

Excavation method	Blasting or mechanical
F_4	0

SMR	Discrete	Continuous
Class	51 III	51 III

Description	Discrete	Continuous
Stability	Normal	Normal
Failures	Partially stable	Partially stable
Support	Some joints or many wedges Systematic	Some joints or many wedges Systematic

Dip Direction:
azimuth of the dip direction as projected to the horizontal





SMRTool beta 1.10

a calculator for computing Slope Mass Rating (SMR)

Authors: A. Riquelme et al (2014)

Contact: adiriquelme@gmail.com

Department of Civil Engineering of the University of Alicante, SPAIN



Cite this material as:
Riquelme, A., Tomás, R. & Abellán A. (2014). SMRTool beta. A calculator for determining Slope Mass Rating (SMR). Universidad de Alicante. <https://personal.ua.es/ariqueme/smrtool.html> [d]

Project name	ANEXO 11 SMR FAMILIA 2	
Date	9 de septiembre de 2019	
Author	TIGRERO-MANRIQUE	
Company	UNIVERSIDAD ESTADL PENINSULA DE SANTA ELENA	

Basic RMR	51	<	>
α_s	62º	<	>
β_s	12º	<	>
α_j or α_i	55º	<	>
β_j or β_i	55º	<	>

Auxillar angles (degrees)	A	7º
	B	55º
	C	43º
Failure Type	Wedge/Planar	

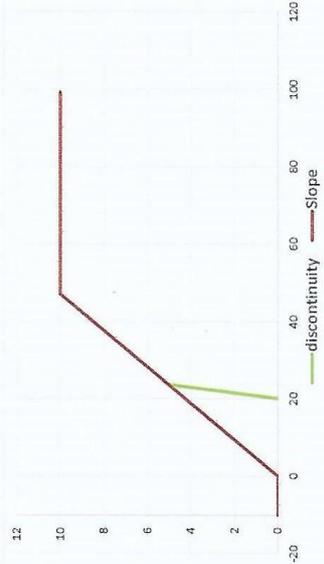
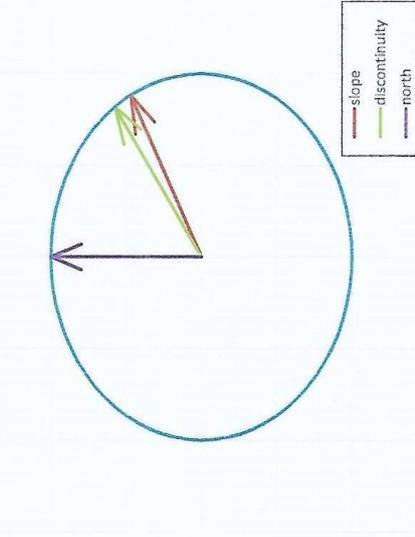
Authors→	Romana (1993)	Tomás et al (2007)
Coefficients ↓	Discrete values	Continuous values
F_1	0,85	0,91
F_2	1,00	0,96
F_3	0,00	-0,44
$F_1 \times F_2 \times F_3$	0	0

Excavation method	Blasting or mechanical
F_4	0

SMR	51	Continuous
Class	III	III

Description	Discrete	Continuous
Stability	Normal	Normal
Failures	Partially stable	Partially stable
Support	Some joints or many wedges	Some joints or many wedges
	Systematic	Systematic

Dip Direction:
azimuth of the dip direction as projected to the horizontal





SMRTool beta 1.10

a calculator for computing Slope Mass Rating (SMR)

Authors: A. Riquelme et al (2014)
 Contact: adriquirquime@gmail.com

Department of Civil Engineering of the University of Alicante, SPAIN



Cite this material as:
 Riquelme, A. & Tomás, R. & Abellán, A. (2014). SMRTool beta. A calculator for determining S1
 Rating (SMR). Universidad de Alicante. <http://personal.ua.es/es/ariquelme/smrtool.html> (d

Project name	ANEXO 12.SMR FAMILIA 3	
Date	9 de septiembre de 2019	
Author	TIGRERO-MANRIQUE	
Company	UNIVERSIDAD ESTADL PENINSULA DE SANTA ELENA	

Basic RMR	51
α_s	62°
β_s	12°
α_j or α_i	60°
β_j or β_i	60°

Auxillar angles (degrees)	A	2°
	B	60°
	C	48°
Failure Type	Wedge/Planar	

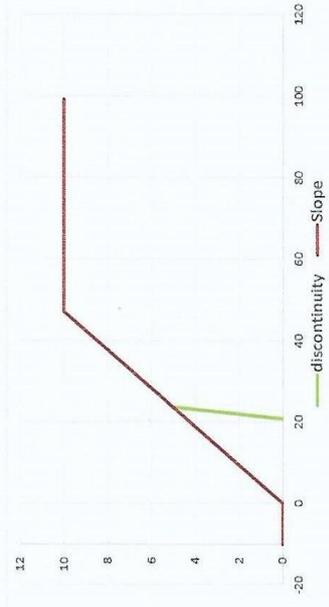
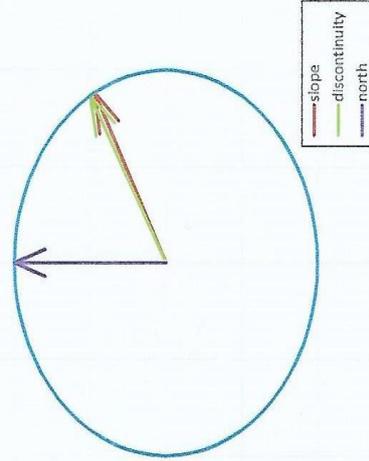
Authors→	Romana (1993)	Tomás et al (2007)
Coefficients ↓	Discrete values	Continuous values
F_1	1,00	0,98
F_2	1,00	0,97
F_3	0,00	-0,40
F_4 x F_2 x F_3	0	0

Excavation method	Blasting or mechanical
F_4	0

SMR	51
Class	III

Description	Discrete	Continuous
Stability	Normal	Normal
Failures	Partially stable	Partially stable
Support	Some joints or many wedges	Some joints or many wedges
	Systematic	Systematic

Dip Direction:
 azimuth of the dip direction as projected to the horizontal



SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

<u>SÍMBOLO</u>	<u>SIGNIFICADO</u>
C	Resistencia a la compresión
Φ	Ángulo de inclinación
°C	Grados Centígrados
mm	Milímetro
m	Metro
m/s	Metro sobre segundo
mb	Milibares
\hat{A}	Albedo
ff	Flat front (frente plano)
dd	Dirección del viento en decenas de grados
kg/cm ²	Kilogramos sobre centímetros cuadrados
Ha	Hectárea
m	Metro
B	Bajamar (marea baja)
P	Pleamar (marea alta)
μ	Micrómetro

<u>ABREVIATURA</u>	<u>SIGNIFICADO</u>
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INOCAR	Instituto Nacional Oceanográfico de la Armada
ESPOL	Escuela Politécnica del Litoral
TSA	Temperatura Superficial del aire
TSM	Temperatura Superficial del mar
ASCAT	Cambio del viento global
NO	Norte - Oeste
SE	Sur – Este
NW	North – West (Norte – Oeste)
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua
MIDUVI	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda

IEPC	Instituto de Estudios para la Paz y Cooperación
WAAPC	Western States Seismic Policy Council (Consejo de Política Sísmica de los Estados del Oeste)
ISRM	International Society for Rock Mechanics (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas)
RMR	Rock mass rating (Índice de calidad de la roca)
RQD	Rock Quality Designation (Designación de calidad de la roca)
UCSG	Universidad Católica Santiago de Guayaquil
JRC	Coeficiente de rugosidad de la discontinuidad
OCR	Over Consolidation Ratio (Relación de consolidación de un suelo)
UPSE	Universidad Estatal Península de Santa Elena
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción

GLOSARIO

- A -

Anisotropía: Cualidad de un cuerpo o un medio que es anisótropo.

Aluvión: Sedimentos arrastrados por una corriente de agua, que quedan depositados en un terreno.

Artesiana: Cuenca artesiánica denominada básicamente a la formación geográfica (hidrográfica y geológica), caracterizada por ser una cuenca con importantes capas freáticas (subterráneas).

- B -

Buzamiento: Inclinación de un filón o de una capa del terreno.

Basalto: Roca volcánica de color negro verdoso, compuesta generalmente de feldespato y piroxeno.

Biohémica: Tipo de caliza, son rocas formadas por colonias de animales marinos.

- C -

Chert: Es una roca sedimentaria rica en sílice de grano fino microcristalino, criptocristalina o microfibrosa que pueden contener pequeños fósiles.

Clinómetro: Es un aparato de metal que se utiliza para medir el ángulo desde la vertical de ciertos elementos.

Clivaje: Propiedad que representan determinados minerales de dividirse fácilmente ante un efecto mecánico siguiendo unos planos determinados de debilidad siempre en concordancia con la simetría mineral.

- D -

Diaclasa: Ruptura o grieta de una roca en la que no existe desplazamiento de los dos bloques.

Detrítico: Que está formado o compuesto por fragmentos.

- E -

Escorrentía: Agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno.

Erosión: Desgaste y modelación de la corteza terrestre causados por la acción del viento, la lluvia, los procesos fluviales, marítimos y glaciales, y por la acción de los seres vivos.

Estratigrafía: Parte de la geología que estudia la disposición y las características de las rocas sedimentarias y los estratos.

Estereografía: Técnica de representar los sólidos proyectados sobre un plano.

Émbolo: Pieza de una bomba o del cilindro de un motor que se mueve hacia arriba o hacia abajo impulsado un fluido o bien recibiendo el impulso de él.

- F -

Flanco: Parte lateral de una cosa, en especial de una embarcación o de una formación de tropa.

Facies: Conjunto de características de una roca o terreno consideradas desde el punto de vista de su formación.

Friable: Que se desmenuza fácilmente.

Foliado: Que tiene hojas.

- G -

Gavión: Cesta grande de mimbre o alambre, rellena de tierra o piedra, que se emplea como defensa en fortificaciones, construcciones hidráulicas, etc.

- H -

Homoclinal: Terraza estructural. Área donde localmente se tienen estratos horizontales en una zona en la que predominan estratos inclinados.

Histograma: Gráfico de la representación de distribuciones de frecuencias, en el que se emplean rectángulos dentro de unas coordenadas.

- I -

Isoyetas: O Isohietas es una isolínea que une los puntos en un plano cartográfico que presenta la misma precipitación en la unidad de tiempo considerada.

Imbricar: Disposición de hojas, escamas, etc., a la manera de las tejas en un tejado

- L -

Lístrico: Término aplicando a planos de fracturas que se curvan o bien a planos casi horizontales que se empinan o a planos casi verticales que pierden verticalidad.

Lumaquela: Es una roca sedimentaria detrítica calcárea formada por fósiles de conchas, de ahí su otro nombre, caliza conchífera o fosilífera.

- N -

Nódulo: Masa mineral globular que aparece en el interior de ciertas rocas y es de distinta composición o estructura que estas.

- P -

Plegamiento: Ondulación producida en la corteza terrestre por el movimiento de rocas sometidas a una presión lateral.

Pizarra: Roca metamórfica de color negro azulado y de grano muy fino, que se exfolia con facilidad.

Presurizado: Es un verbo que procede de la expresión inglesa to pressurize. Se trata de la acción que se desarrolla para resguardar, en un cierto ámbito, las condiciones normales de presión atmosférica, aun cuando en el exterior dicha presión sea muy diferente.

- R -

Reptante: Que reptas o se arrastra.

- S -

Subsidencia: Proceso de hundimiento vertical de una cuenca sedimentaria como consecuencia del peso de los sedimentos que se van depositando en ella de una manera progresiva.

Socavar: Excavar alguna cosa por debajo, dejándola sin apoyo y expuesta a hundirse.

- T -

Tectónico: Que se produce por movimientos de la corteza terrestre.

- V -

Veril: Mar. Orilla o borde de un bajo, sonda.

Veta: Estrato alargado de un mineral que rellena la grieta de una formación rocosa y se distingue de ella por su color o constitución; pueden ser objeto de explotación minera.