

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



TRABAJO DE GRADUACION:
“ESTUDIO GEOMECÁNICO DEL MATERIAL DE ARRASTRE EN
QUEBRADA LA ARENERA, CANTÓN EL VOLCÁN, CASERÍO LOS
CARRETOS, JURISDICCIÓN DE SAN MIGUEL”

PRESENTA:
RONALD ALFREDO GONZALEZ MARTINEZ
GILBERTO ALEXANDER VELÁSQUEZ ALVAREZ
GERMAN ERNESTO ZELAYA TORRES

PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL

DOCENTE DIRECTOR:
ING. FRANCISCO ANTONIO AGUIRRE GALLO

MAYO DE 2010
SAN MIGUEL EL SALVADOR CENTROAMERICA

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

Msc. Rufino Antonio Quezada Sánchez

VICERECTOR ACADEMICO:

Msc. Miguel Ángel Pérez Ramos

SECRETARIO GENERAL:

Lic. Douglas Alfaro Chávez

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DECANA INTERINA:

Dra. Ana Judith Guatemala de Castro

SECRETARIO:

Ing. Jorge Alberto Rugamas Ramírez

JEFE DE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA:

Ing. Uvin Edgardo Zuniga Cruz.

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

COORDINADOR DE PROCESOS DE GRADUACIÓN:

ING. MILAGRO DE MARIA ROMERO DE GARCIA

DOCENTE DIRECTOR:

ING. FRANCISCO ANTONIO AGUIRRE GALLO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título:

**ESTUDIO GEOMECÁNICO DEL MATERIAL DE ARRASTRE EN
QUEBRADA LA ARENERA, CANTÓN EL VOLCÁN, CASERÍO LOS
CARRETOS, JURISDICCIÓN DE SAN MIGUEL.**

Presentado por:

**RONALD ALFREDO GONZALEZ MARTINEZ
GILBERTO ALEXANDER VELÁSQUEZ ALVAREZ
GERMAN ERNESTO ZELAYA TORRES**

Trabajo de graduación aprobado por:

Coordinador :

Ing. Milagro de María Romero de García

Docente Director:

Ing. Francisco Antonio Aguirre Gallo

San Miguel, MAYO 2010

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES.

Queremos agradecer de manera muy especial a todas aquellas Personas e Instituciones que contribuyeron de manera desinteresada a la culminación de este Trabajo de Graduación:

A **Nuestra Alma Mater**, la Universidad de El Salvador, por abrirnos las puertas y dejarnos ser parte de ella, a su cuerpo docente por saber guiarnos a lo largo de la carrera y habernos transmitido sus conocimientos Profesionales.

A **Nuestro Director de Trabajo de Graduación** Ing. Francisco Antonio Aguirre Gallo y al Comité Evaluador formado por Ing. Guillermo Moya Turcios, Ing. Milagro de María Romero de García, Ing. Luis Clayton Martínez, por su constante orientación y aportes en el desarrollo de toda la investigación.

A **La Comunidad El Carreto**, por su apoyo logístico y bibliográfico para la realización de este proyecto. En especial a la Señora Marta Gladis Girón.

Al Máster en Ingeniería Geológica de la Universidad Complutense de Madrid Juan Miguel Insua Arévalo y su Esposa María Santana por haber sido la brújula que nos señaló el camino a seguir.

A **Nuestros Compañeros de Universidad** Xenia Carolina Lizama y Emilio Amaya por todas sus colaboraciones.

DEDICATORIA

Doy Gracias a **Dios todopoderoso**, que es la luz de mi vida, el guía en mi camino, mi soporte y apoyo en todo momento; Gracias por permitirme alcanzar esta meta que con dificultades de salud pude superar gracias a su poder y su sabiduría, por la vida, por la salud, por la sabiduría, por tu cuidado, por todas las bendiciones a lo largo de toda mi vida, sin ti nunca lo hubiera logrado.

A **María La Virgen Santísima**, por su cuidado, amor y auxilio; por escuchar mis suplicas, e interceder ante Dios por mí.

A **Mis Padres** Fernando González y Rocío de González, que con mucha humildad, esfuerzos y sacrificios, me apoyaron en este arduo camino, y que en los momentos difíciles me consolaron y me alentaron a seguir adelante, gracias por enseñarme a soñar y que todo es posible si se realiza con esfuerzo y dedicación.

A **Mi hermano**: Lester Fernando González Martínez, por apoyarme, cuidarme y, por estar pendiente de mí.

A **Mis abuelos**, Mamá Pimpa, Papá Nando, y Que Dios tenga en Gloria a mis abuelos Papá Moncho y mi abuela Mita, por ser ejemplos de vida para mí, y darme su apoyo cuando más lo necesite.

A mi tía, Luz Marina Gálvez por su cariño y comprensión.

A mi tío, Oscar González, por su apoyo incondicional.

A mi tío, Sonia González, por su apoyo incondicional.

A mi tío, Carlos Martínez, por sus consejos oportunos.

A **Mis primas**, Jeny Gálvez, Edlin Gálvez, Dayana Gálvez, Ana González, Oscar Gonzalez, Brian Gonzalez por alegrar siempre mi vida.

A **Mis compañeros de tesis**, German y Gilberto, por apoyarme y comprenderme siempre y regalarme entusiasmo en los momentos difíciles.

A **Los docentes** que si no fuera por la presión que nos ejercieron cuando compartían sus conocimientos en nuestra formación académica, no hubiéramos logrado esta meta.

A **Mis amigos y compañeros**, que me han apoyado en este largo camino para la finalización de mi carrera profesional.

RONALD ALFREDO GONZÁLEZ MARTINEZ

DEDICATORIA.

A mi Padre Celestial, por ser el arquitecto de mi vida y quien me ha permitido alcanzar las metas que he logrado. Gracias Padre, porque en los momentos en los que a veces cuesta caminar de repente llegabas tu y me dabas la Fe, Paz y Esperanza para seguir en el día a día caminar.

A nuestra Buena Madre la Virgen María y San Marcelino Champagnat Chirat porque siempre intercedieron por mi ante Dios y me muestran el rostro humano del señor. Gracias María porque aunque a veces mi amor te falte, tu nunca me dejas de amar, y solo tu Madre mía vas conmigo sin cesar siendo ejemplo de mi vida y mis fuerzas al caminar.

A mis Padres, Ruddy Velásquez porque sabes que este triunfo es todo tuyo, y ahora que eres un ser de Luz estoy seguro que tus bendiciones me seguirán llegando y sabes que te llevo muy adentro y mi corazón siempre estará contigo.

A mi Mama Crescencia del Tránsito por darme su total apoyo, y todo su amor, dándome palabras de ánimo en los momentos difíciles, y por abrirme su corazón creyendo siempre en mí. Infinitas gracias a los dos, por todos sus sacrificios, sin ustedes nunca habría llegado a lugares que solo existían en mi imaginación.

A mis Hermanos, Janci Maricela, Ruddy Armando y Fátima Fabiola, (el Doctor y las dos Licenciadas) por ayudarme siempre y estar en mis alegrías y tristezas. Por saber

comprenderme en mis momentos de dificultad a lo largo de mi vida y en especial para alcanzar esta meta.

A mi abuelita Gloria Alvarez Ponce con profundo amor por sus sabios consejos y guardarme siempre en sus oraciones.

A mis Tíos, Primos y demás Familia, quienes son una parte integrante de mi vida.

A los Hermanos Maristas por sus enseñanzas, pero sobre todo por enseñarme a confiar, amar y recurrir a Maria. Por hacerme comprender que la Gracia de Dios lo suaviza todo, y sembrar con sus consejos el ser un buen cristiano y un virtuoso ciudadano.

A mis compañeros de tesis, German y Ronald porque siempre supimos sobreponernos a las adversidades y salir adelante a pesar de todos los problemas y dificultades que se nos presentaron, manteniendo siempre un espíritu de solidaridad.

A todos ustedes mil gracias de todo corazón, que Dios los bendiga, porque han sido una bendición en mi vida.

GILBERTO ALEXANDER VELÁSQUEZ ALVAREZ.

DEDICATORIA

Primero que todo quiero agradecer de gran manera al ser que me ha permitido vivir hasta el día de hoy y que jamás me ha fallado: **DIOS**; ya que sin su ayuda no hubiese logrado los propósitos y metas que me he trazado.

Luego a **mis Padres**, Salvador Noe (Q.E.P.D.) le dedico este triunfo y aunque no esté físicamente entre nosotros se que siempre estuvo a mi lado para guiarme, a mi madre María Armida por su apoyo incondicional y por todos sus consejos a lo largo de todo este tiempo y en los momentos difíciles me ha apoyado y siempre ha querido lo mejor para mí.

A **mis hermanos**, Dimas, Marta y Luz Catalina por su apoyo incondicional a lo largo del desarrollo de mis estudios y mi proyecto de graduación. A mi familia en general porque siempre he encontrado refugio en ellos y no han permitido que me sienta solo a pesar de las adversidades.

A **mis compañeros** de carrera y principalmente a mis compañeros de Tesis con los que en equipo todo es más fácil, a las personas que nos ayudaron en el desarrollo de la tesis, especialmente a nuestro Asesor el Ing. Francisco Aguirre, el Ing. Clayton Martínez por sus valiosos aportes, el Ing. Guillermo Moya Turcios y un agradecimiento

especial a la señora Marta Gladis Girón por habernos colaborado en el transcurso de toda la investigación.

A **nuestros amigos**, Xenia, Lester, Oscar, Emilio, Jorge por habernos colaborado en algún momento en el desarrollo de este proyecto y por habernos brindado ese apoyo desinteresado lo cual valoramos mucho.

Y en general a todas las personas que de una u otra forma han sido parte de mi vida y que han contribuido a mi desarrollo como ser humano.

A todos mil gracias por ser participes de este proyecto y del proyecto de mi vida.

GERMAN ERNESTO ZELAYA TORRES

ÍNDICE.

CAPITULO 1: ANTEPROYECTO

| | |
|-----------------------------------|----|
| 1.1. INTRODUCCION. | 22 |
| 1.2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA | 25 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 1.2.1. Antecedentes. | 25 |
| 1.2.2. Enunciado del Problema. | 26 |
| 1.3. OBJETIVOS | 27 |
| 1.3.1. Objetivo General. | 27 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos. | 27 |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN. | 29 |
| 1.5. SUPUESTO..... | 31 |
| 1.6. ALCANCES..... | 32 |
| 1.7. LIMITACIONES | 33 |
| 1.8. METODOLOGIA | 34 |

CAPITULO 2: MARCO REFERENCIAL

| | |
|---|-----|
| 2.1. MARCO HISTORICO..... | 37 |
| 2.2. RESEÑA DE LA EJECUCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN EXISTENTES EN LA ACTUALIDAD..... | 44 |
| 2.3. MARCO TEÓRICO..... | 51 |
| 2.3.1. Generalidades. | 51 |
| 2.4. NOMENCLATURA DE UN TALUD..... | 63 |
| 2.5. NOMENCLATURA DE LOS PROCESOS DE MOVIMIENTO..... | 64 |
| 2.6. DIMENSIONES DE UN MOVIMIENTO. | 67 |
| 2.7. MOVIMIENTOS DE MASA. | 69 |
| 2.8. CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE MASA. | 72 |
| 2.9. MOVIMIENTOS DE LAHAR. | 88 |
| 2.9.1. Avalancha De Escombros, Desprendimientos De Tierra y Lahar. | 91 |
| 2.9.2. Futuros lahares y desprendimientos de tierra en el Volcán de San Miguel. | 95 |
| 2.9.3. Mapa De Zonas De Riesgo Por Lahar. | 96 |
| 2.9.4. Advertencias y Pronósticos De Riesgo Por Lahar. | 98 |
| 2.9.5. Protección a Las Comunidades y Ciudadanos En Contra De Los Riesgos De Lahar..... | 99 |
| 2.10. PROCESOS EROSIVOS..... | 101 |
| 2.11. PRECIPITACIONES Y CONDICIONES CLIMÁTICAS..... | 103 |
| 2.12. INVESTIGACIÓN DE CAMPO Y PRUEBAS DE LABORATORIO. | 104 |
| 2.12.1. Obtención de muestra en el campo..... | 104 |

| | |
|--|-----|
| 2.12.1.1. Prueba a cielo abierto. | 104 |
| 2.12.1.2. Sondeos mecánicos..... | 105 |
| 2.12.2. Pruebas De Laboratorio..... | 106 |
| 2.12.2.1. Examen petrográfico de agregados. (A.S.T.M. C-295)..... | 106 |
| 2.12.2.2. Determinación Del Contenido De Humedad Del Agregado Por Secado. (A.S.T.M. C-566)..... | 107 |
| 2.12.2.3. Determinación De Impurezas Orgánicas En El Agregado Fino Para El Concreto. (A.S.T.M C 40)..... | 108 |
| 2.12.2.4. Granulometría De Los Agregados Para Concreto (A.S.T.M C-136)..... | 109 |
| 2.12.2.5. Gravedad Específica y Absorción De Los Agregados. (A.S.T.M. C- 127, C-128, C-566)..... | 113 |
| 2.12.2.6. Coeficiente De Forma..... | 116 |
| 2.12.2.7. Desgaste Del Agregado Grueso Por Abrasión e Impacto En La Maquina De Los Ángeles. (A.S.T. M. C 131)..... | 119 |

CAPITULO 3: DESCRIPCIÓN DEL CANTÓN EL VOLCÁN, CASERÍO LOS CARRETOS, JURISDICCIÓN DE SAN MIGUEL

| | |
|---|-----|
| 3.1. MARCO GEOGRÁFICO, POLÍTICO-ADMINISTRATIVA Y SOCIO-ECONÓMICO..... | 123 |
| 3.1.1. Contexto Geográfico | 123 |
| 3.1.2. División político-administrativa. | 125 |
| 3.1.3. Situación socioeconómica. | 129 |
| 3.2. CLIMATOLOGÍA. | 130 |
| 3.2.1. El clima en El Salvador. | 130 |
| 3.2.2. Comportamiento de la precipitación en El Salvador..... | 131 |
| 3.3. GEOLOGÍA. | 132 |
| 3.3.1. Marco Geológico Regional..... | 132 |
| 3.3.1.1. Elementos Estratigráficos. | 135 |
| 3.3.2. Geomorfología y Relieve. | 137 |
| 3.3.3. Hidrografía. | 140 |
| 3.3.4. Marco Tectónico Regional. | 142 |
| 3.3.4.1. Formación de la Cordillera Volcánica salvadoreña. | 146 |

| | |
|---|---------|
| CAPITULO 4: ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO. | 150 |
| 4.1 DESCRIPCION DE TRABAJO DE CAMPO..... | 151 |
| 4.1.1. Visitas de reconocimiento. | 152 |
| 4.1.2. Extracción de muestras..... | 152 |
| 4.1.3. Precauciones para la extracción..... | 153 |
| 4.2. RESULTADOS DEL TRABAJO DE CAMPO. | 154 |
| 4.2.1. Descripción general..... | 154 |
| 4.3. DESCRIPCIÓN DE TRABAJO DE LABORATORIO. | 156 |
| 4.3.1. Determinación Del Contenido De Humedad..... | 157 |
| 4.3.2. Determinación De Impurezas Orgánicas..... | 157 |
| 4.3.3. Análisis Granulométrico..... | 158 |
| 4.3.4. Gravedad Específica Y Absorción De Los Agregados..... | 158 |
| 4.3.5. Coeficiente De Forma..... | 159 |
| 4.3.6. Desgaste Del Agregado Grueso Por Abrasión E Impacto En La Maquina De Los Ángeles..... | 160 |
| 4.3.7. Análisis Petrográfico..... | 161 |
| 4.4. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO..... | 163 |
| 4.4.1. Determinación Del Contenido De Humedad..... | 163 |
| 4.4.2. Determinación De Impurezas Orgánicas..... | 164 |
| 4.4.3. Análisis Granulométrico..... | 165 |
| 4.4.4. Gravedad Específica..... | 173 |
| 4.4.5. Coeficiente De Forma..... | 173 |
| 4.4.6. Desgaste Del Agregado Grueso Por Abrasión E Impacto En La Maquina De Los Ángeles..... | 174 |
| 4.4.7. Análisis Petrográfico..... | 174 |
| 4.5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 177 |
| CAPITULO 5: PROPUESTA PARA EL USO DEL MATERIAL DE ARRASTRE DE QUEBRADA LA ARENERA..... | 182 |
| 5.1. INTRODUCCIÓN..... | 183 |
| 5.2. SISTEMAS DE INFILTRACIÓN PARA LÍQUIDOS..... | 184 |
| 5.2.1. Tanque séptico..... | 185 |

| | |
|---|------------|
| 5.2.2. Trampa para grasa..... | 187 |
| 5.2.3. Pozo de absorción..... | 188 |
| 5.2.3.1. Prueba de infiltración para determinar profundidad de pozo de absorción | 190 |
| 5.2.4. Zanja de infiltración o campo de riego..... | 192 |
| 5.2.4.1. Prueba de infiltración para diseño e instalación de la zanja de infiltración o campo de riego..... | 194 |
| 5.2.5. Zanja de arena filtrante..... | 197 |
| 5.3. BALASTO DE CAMINOS..... | 201 |
| 5.3.1. Comportamiento vibratorio de la capa de balasto..... | 203 |
| 5.4. ELABORACIÓN DE MORTEROS..... | 204 |
| 5.4.1. Propiedades En Estado Endurecido..... | 205 |
| 5.5. FORMA DE EXTRACCIÓN DEL MATERIAL..... | 206 |
| 5.5.1. Monitoreo por parte de la comunidad el Carreto..... | 206 |
| 5.5.2. Gestión de maquinaria para la extracción del material..... | 207 |
| 5.5.3. Método de extracción controlada del material..... | 208 |
| 5.4.3.1. Descapote o carga..... | 208 |
| 5.5.3.2. Extracción y transporte..... | 208 |
| 5.5 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DEL MATERIAL PARA SU EXTRACCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN..... | 209 |
| CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 211 |
| 6.1. CONCLUSIONES..... | 212 |
| 6.2. RECOMENDACIONES..... | 213 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA..... | 215 |
| ANEXOS..... | 217 |
| A-1 MAPA DE RIESGO POR LAHAR..... | 218 |
| A-2 AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS | 219 |
| A-3 MAPA DE RIESGOS | 220 |
| A-4 MAPA GEOLOGICO DE EL SALVADOR..... | 221 |
| A-5 LEY DE PROTECCION CIVIL, PREVENCION Y MITIGACION DE DESASTRES | 222 |
| A-6 CÁLCULOS | 226 |

| | |
|---|--------------------------------------|
| A-6-1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO POR SECADO. ASTM C-566..... | 226 |
| A-6-2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO | 227 |
| A-6-3 COEFICIENTE DE FORMA. | 245 |
| A-6-4 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN | 247 |
| A-6-5 PRUEBA DE ABRASION | 249 |
| A-7 NORMAS TECNICAS (ASTM) | 251 |
| A-7-1 Designation: C 566 – 97 | 251 |
| A-7-2 Designation: C 40 - 97 | 253 |
| A-7-3 Designation: C 136 - 97 | 255 |
| A-7-4 Designation: C 127 C 128 C 566 - 97 | 261 |
| A-7-5 Designation: C 131 - 97 | 265 |
| A-7-6 Designation: C 295 - 97 | 268 |
| A-7-7 Designación: NCh - 1511..... | 271 |
| A-8 PLANO DE UBICACIÓN DE ZONA PROTEGIDA Y QUEBRADA LA ARENERA..... | ¡Error! Marcador no definido. |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| TABLA 2. 1: DATOS DESCRIPTIVOS DE LAHARES HISTÓRICOS DEL VOLCÁN DE SAN MIGUEL. ... | 42 |
| TABLA 2. 2: TIPOS DE MOVIMIENTO..... | 75 |
| TABLA 2. 3: LÍMITES MÁXIMOS DE SUSTANCIAS NOCIVAS O CONTAMINANTES..... | 108 |
| TABLA 2. 4: REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA PARA AGREGADO FINO | 111 |
| TABLA 2. 5: REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA PARA AGREGADO GRUESO..... | 112 |
| TABLA 2. 6: MODULO DE FINURA DE LA ARENA..... | 112 |
| TABLA 2. 7: FACTOR DE CORRECCIÓN A PARA DIFERENTES TEMPERATURAS..... | 115 |
| TABLA 2. 8: TAMAÑO DE AGREGADOS..... | 116 |
| TABLA 2. 9: GRADUACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO..... | 120 |
| TABLA 2. 10: CARGA ABRASIVA | 121 |
| | |
| TABLA 3. 1: DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DEL CANTÓN EL VOLCÁN. | 126 |
| TABLA 3. 2: SISTEMA DE VIVIENDAS EN EL CANTÓN EL VOLCÁN..... | 127 |
| TABLA 3. 3: TIPO DE LETRINAS EN EL CANTÓN EL VOLCÁN: | 127 |

| | |
|---|-----|
| TABLA 3. 4: RECURSOS DE INFRAESTRUCTURA EN EL CANTÓN EL VOLCÁN. | 128 |
| TABLA 3. 5: DURACIÓN APROXIMADA DE LAS ESTACIONES. | 131 |
| | |
| TABLA 4. 1: NORMAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS DE LABORATORIO. | 156 |
| TABLA 4. 2: ENSAYOS REALIZADOS EN EL TRABAJO DE GRADUACIÓN. | 161 |
| TABLA 4. 3: RESUMEN DE ENSAYOS QUE SE REALIZARON A CADA PROFUNDIDAD..... | 162 |
| TABLA 4. 4: PORCENTAJE DE HUMEDAD..... | 163 |
| TABLA 4. 5: DE IMPUREZA ORGÁNICA..... | 164 |
| TABLA 4. 6: GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO. | 165 |
| TABLA 4. 7: GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO..... | 166 |
| TABLA 4. 8: RANGO PARA EL MODULO DE FINURA..... | 166 |
| TABLA 4. 9: GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO | 167 |
| TABLA 4. 10: GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO..... | 168 |
| TABLA 4. 11: TABLA DE RANGO PARA EL MODULO DE FINURA. | 168 |
| TABLA 4. 12: GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO..... | 169 |
| TABLA 4. 13: GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO. | 169 |
| TABLA 4. 14: RANGO PARA EL MODULO DE FINURA..... | 170 |
| TABLA 4. 15: VALORES DE ABSORCIÓN Y GRAVEDAD ESPECIFICA GS DE LAS ARENAS. | 173 |
| TABLA 4. 16: VALORES DE ABSORCIÓN Y GRAVEDAD ESPECIFICA GS DE LAS GRAVAS. | 173 |
| TABLA 4. 17: PORCENTAJE DE DESGATE. | 174 |
| TABLA 4. 18: ANÁLISIS PETROGRÁFICO MUESTRA N 1..... | 174 |
| TABLA 4. 19: ANÁLISIS PETROGRÁFICO MUESTRA N 2..... | 175 |
| TABLA 4. 20: ANÁLISIS PETROGRÁFICO MUESTRA N 3..... | 176 |
| TABLA 4. 21: ANÁLISIS PETROGRÁFICO MUESTRA N 4..... | 176 |
| TABLA 4. 22: RESUMEN DE PARÁMETROS DE PRUEBAS REALIZADAS. | 181 |
| TABLA 4. 23: RESUMEN DE PRUEBA DE GRANULOMETRÍA. | 181 |
| | |
| TABLA 5. 1: DIMENSIONES DEL TANQUE SÉPTICO | 187 |
| TABLA 5. 2: COEFICIENTE PROMEDIO DE ABSORCIÓN DEL TERRENO..... | 191 |
| TABLA 5. 3: VALORES APROXIMADOS DE TASA DE INFILTRACIÓN PARA CÁLCULO DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN Y DE ARENA FILTRANTE..... | 196 |
| TABLA 5. 4: GRANULOMETRÍA DEL BALASTO | 202 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| ILUSTRACIÓN 2. 1: MATERIALES SUELTOS QUE DESCIENDEN DESDE LAS PARTES ALTAS DEL FLANCO NORTE DEL VOLCÁN CHAPARRASTIQUE. | 41 |
| ILUSTRACIÓN 2. 2: MAPA EN RELIEVE DEL VOLCÁN DE SAN MIGUEL. | 44 |
| ILUSTRACIÓN 2. 3: MUROS DE DEMACIÓN PARCIALMENTE CUBIERTOS DE MATERIALES VOLCÁNICOS ARRASTRADOS DESDE LA PARTE ALTA DEL VOLCÁN DE SAN MIGUEL. | 50 |
| ILUSTRACIÓN 2. 4: AMENAZA POR TERREMOTO. | 53 |
| ILUSTRACIÓN 2. 5: AMENAZA POR ERUPCIÓN. | 54 |
| ILUSTRACIÓN 2. 6: AMENAZA POR DESLIZAMIENTO. | 54 |
| ILUSTRACIÓN 2. 7: AMENAZA POR HURACÁN. | 55 |
| ILUSTRACIÓN 2. 8: AMENAZA POR INUNDACIONES. | 55 |
| ILUSTRACIÓN 2. 9: NOMENCLATURA DE TALUDES Y LADERAS | 63 |
| ILUSTRACIÓN 2. 10: MOVIMIENTO DE UN TALUD. | 65 |
| ILUSTRACIÓN 2. 11: NOMENCLATURA PARA DEFINIR LAS DIMENSIONES DE UN MOVIMIENTO. .. | 68 |
| ILUSTRACIÓN 2. 12: MOVIMIENTO DE LADERA EN LA VERTIENTE ESTE DEL PICACHO, VOLCÁN DE SAN SALVADOR. | 70 |
| ILUSTRACIÓN 2. 13: TIPOS DE MOVIMIENTO DE LADERA. | 73 |
| ILUSTRACIÓN 2. 14: CAÍDA LIBRE DE ROCAS EN TALUDES. | 76 |
| ILUSTRACIÓN 2. 15: ALGUNOS MECANISMOS DE FALLA DE CAÍDOS. | 77 |
| ILUSTRACIÓN 2. 16: VOLTEO DE UN BLOQUE DE UNA MASA DE SUELO. | 78 |
| ILUSTRACIÓN 2. 17: MOVIMIENTO DE REPTACIÓN. | 79 |
| ILUSTRACIÓN 2. 18: DESLIZAMIENTO ROTACIONAL CON CORONA IRREGULAR. | 81 |
| ILUSTRACIÓN 2. 19: DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL EN UNA COSTA CALIFORNIANA. | 82 |
| ILUSTRACIÓN 2. 20: TRAMO DE CARRETERA DAÑADO POR FLUJO DE LODO. | 86 |
| ILUSTRACIÓN 2. 21: FLUJO TÍPICO DE AVALANCHAS OCASIONADO POR LLUVIAS. | 88 |
| ILUSTRACIÓN 2. 22: EFECTOS DE SOTERRAMIENTO DE UN LAHAR PRODUCIDO EN PLYMOUTH (MONTSERRAT, WEST INDIES), EN 1995, POR LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN SOUFRIÈRE HILLS. | 89 |

| | |
|---|-----|
| ILUSTRACIÓN 2. 23: LAHAR (FLUJO DE ESCOMBROS) DE PEQUEÑA MAGNITUD EN LA ZONA DE CABECERA DE LA QUEBRADA LA ARENERA (VOLCÁN DE SAN MIGUEL) EN OCTUBRE DE 2003..... | 90 |
| ILUSTRACIÓN 2. 24: EROSIÓN LATERAL EN CAUCES DE DINÁMICA FLUVIAL..... | 102 |
| ILUSTRACIÓN 2. 25: BLOQUE DE SUELO PARA MUESTRA INALTERADA. | 105 |
| ILUSTRACIÓN 2. 26: COEFICIENTE DE FORMA. | 117 |
| ILUSTRACIÓN 2. 27: AGREGADO MEDIDO CON PIE DE REY. | 119 |
| | |
| ILUSTRACIÓN 3. 1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CANTÓN EL VOLCÁN..... | 123 |
| ILUSTRACIÓN 3. 2: UBICACIÓN DE QUEBRADA LA ARENERA. | 124 |
| ILUSTRACIÓN 3. 3: TALA DE ÁRBOLES POR PARTE DE LA POBLACIÓN LOCAL EN LAS FALDAS DEL VOLCÁN DE SAN MIGUEL. | 129 |
| ILUSTRACIÓN 3. 4: MAPA EN RELIEVE DE EL SALVADOR. | 140 |
| ILUSTRACIÓN 3. 5: MAPA HIDROLÓGICO DE EL SALVADOR. | 142 |
| ILUSTRACIÓN 3. 6: PLACAS TECTÓNICAS EN AMÉRICA CENTRAL..... | 143 |
| ILUSTRACIÓN 3. 7: MAPA DEL SISTEMA DE FALLAS EN EL SALVADOR..... | 144 |
| ILUSTRACIÓN 3. 8: CADENA VOLCÁNICA DEL ORIENTE DE EL SALVADOR..... | 148 |
| ILUSTRACIÓN 3. 9: MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL DE LA ZONA DEL VOLCÁN DE SAN MIGUEL Y VOLCÁN PACAYA. | 149 |
| | |
| ILUSTRACIÓN 4. 1: MAPA DE ZONAS DE AMENAZA DE LAHAR PARA EL VOLCAN DE SAN MIGUEL CONSTRUIDO A PARTIR DEL MODELO PROPUESTO EN EL SOFTWARE LAHAR-Z. | 151 |
| ILUSTRACIÓN 4. 2: EXTRACCIÓN DE MUESTRA EN NUESTRO LUGAR DE ESTUDIO. | 153 |
| ILUSTRACIÓN 4. 3: VISITA A LA ZONA DE ESTUDIO. | 156 |
| ILUSTRACIÓN 4. 4: MUESTRAS PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD. | 157 |
| ILUSTRACIÓN 4. 5: REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE IMPUREZAS ORGÁNICAS. | 158 |
| ILUSTRACIÓN 4. 6: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA..... | 158 |
| ILUSTRACIÓN 4. 7: GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE ARENAS Y GRAVAS. | 159 |
| ILUSTRACIÓN 4. 8: PROBETA 1000 ML CON MUESTRA INTRODUCIDA..... | 159 |
| ILUSTRACIÓN 4. 9: REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE COEFICIENTE DE FORMA. | 160 |
| ILUSTRACIÓN 4. 10: ENSAYO DE DESGASTE EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES. | 160 |
| ILUSTRACIÓN 4. 11: MUESTRA DE ROCAS DE LAS PROFUNDIDADES DE 0.50, 1.0 Y 2.0 MTS. | 161 |

| | |
|---|-----|
| ILUSTRACIÓN 5. 1: ELEMENTOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO INDIVIDUAL DE AGUAS NEGRAS Y GRISES. | 185 |
| ILUSTRACIÓN 5. 2: SECCIÓN DE TANQUE SÉPTICO. | 186 |
| ILUSTRACIÓN 5. 3: TRAMPA DE GRASA. | 188 |
| ILUSTRACIÓN 5. 4: SECCIÓN DE POZO DE ABSORCIÓN. | 189 |
| ILUSTRACIÓN 5. 5: ZANJA DE INFILTRACIÓN O CAMPO DE RIEGO. | 192 |
| ILUSTRACIÓN 5. 6: ZANJA DE ARENA FILTRANTE. | 198 |
| ILUSTRACIÓN 5. 7: CONFORMACIÓN Y BALASTADO DE CAMINOS. | 203 |
| ILUSTRACIÓN 5. 8: CONCRETO SUJETO AL INTEMPERISMO. | 205 |
| ILUSTRACIÓN 5. 9: MUROS DE DEMACIÓN PARCIALMENTE CUBIERTOS DE MATERIALES VOLCÁNICOS ARRASTRADOS DESDE LA PARTE ALTA DEL VOLCÁN DE SAN MIGUEL CON PRESENCIA DE COBERTURA VEGETAL. | 207 |
| ILUSTRACIÓN 5. 10: RELLENO COMPLETO DE UNA ZANJA, LOS MATERIALES HAN SIDO DERIVADOS HACIA LA ORILLA IZQUIERDA DEL TORRENTE POR EL MURO DE TIERRA CONSTRUIDO. | 208 |
| ILUSTRACIÓN 5. 11: RETROEXCAVADORA Y CAMIÓN DE ESTACA. | 209 |

Capítulo 1

Anteproyecto



1.1. INTRODUCCION.

El desarrollo organizado de una nación requiere del conocimiento de datos básicos de comportamiento del subsuelo, como la geología, la geomorfología, y el conocimiento del comportamiento físico y mecánico de los materiales de la superficie, entre otros, ya que estos materiales afectan, ya sea en forma positiva o negativa, las obras que se planea localizar sobre ellos.

Por su parte, la actividad volcánica da lugar a la aparición de edificios volcánicos o volcanes, producto de la acumulación de materiales procedentes del interior de la tierra en un punto. En este caso, los efectos producidos por los mismos se suelen restringir a una zona muy pequeña alrededor del volcán. No obstante, también pueden ser focos de sismos relacionados con la ascensión del magma desde el interior de la corteza, de modo excepcional, explosiones que puedan afectar a una gran superficie, pudiéndose sentir sus efectos en todo el planeta durante un período de tiempo que puede llegar a ser importante.

Además de los procesos internos descritos con anterioridad, en la superficie terrestre actúan otros procesos relacionados con la actividad existente en la atmósfera y que se denominan externos. Los procesos de este tipo más importantes que se registran en el país, son las lluvias estacionales, que debido a su carácter torrencial, pueden dar lugar a situaciones de riesgos. Este hecho combinado con que la mayoría de los terrenos existentes en el país son de origen volcánico, con un grado de compactación muy bajo, hace que sean muy susceptibles a ser arrastrados desde las zonas altas a las más bajas. A raíz de estas situaciones nace la idea de un análisis geomecánico para analizar los



parámetros resistentes de las rocas y el análisis cuantitativo de las discontinuidades presentes con la finalidad de determinar el comportamiento del mismo ante una futura obra de ingeniería; que mediante el uso de variables de conocimiento básico del territorio (geología, geomorfología y geotecnia), permita conocer las características físicas y mecánicas de los materiales presentes y su comportamiento ante determinados procesos.

Como se define la temática, es de fundamental importancia para toda obra de ingeniería Civil el llevar a cabo un estudio de la Geomecánica¹, la cual se define como “la aplicación de principios geológicos y de ingeniería al comportamiento de los suelos, del agua subterránea y al uso de estos principios a la ingeniería civil, ingeniería de minas, ingeniería de costas e ingeniería ambiental en el sentido más amplio”.

La Geomecánica es quizás una de las ramas tecnológicas más antiguas del universo, los griegos y egipcios en sus construcciones emplearon áreas rocosas para obras. En las pirámides construidas en Egipto se emplearon bloques de caliza dura. Todas estas fastuosas obras, contaron con excelentes mineros que desarrollaron una amplia gama de construcciones y fortificaciones que hoy se observan y conservan en nuestros días.

La caracterización geomecánica facilita en forma significativa y hace más confiable el pronóstico sobre el comportamiento del suelo, lo que disminuye la probabilidad de que se produzcan afectaciones de diferentes índoles que puedan atentar tanto la economía como la seguridad de las obras y los trabajadores que se encuentran en ellas.

¹ Definición según La Australian Geomechanics Society.



*"ESTUDIO GEOMECÁNICO DEL MATERIAL DE ARRASTRE EN
QUEBRADA LA ARENERA, CANTÓN EL VOLCÁN, CASERÍO
LOS CARRETOS, JURISDICCIÓN DE SAN MIGUEL"*

INGENIERÍA CIVIL - FMO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

La Geomecánica está dando a la construcción, un creciente soporte científico y técnico que ha encontrando su máximo exponente en la última década, hasta el punto de que hoy en día, la mayoría de las obras civiles se hacen bajo supervisión de un experto en geotecnia.



1.2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

1.2.1. Antecedentes.

Este trabajo no es una actuación aislada dentro de la zona pues para todos es conocido que uno de los mayores problemas que enfrenta nuestro país hoy en día son el apareamiento de cárcavas, deslizamientos e inundaciones producidas por efecto de la naturaleza aumentando así la vulnerabilidad y amenazas de riesgo para los habitantes de los alrededores de estos.

En nuestra jurisdicción podemos citar las cárcavas o grietas del volcán Chaparrastique y el de Usulután así también los desbordamientos de ríos y quebradas que se producen por las obstrucciones debido al material de arrastre que estos conducen. Los volcanes forman cárcavas como parte de su dinámica natural, las cuales se agrandan cuando llueve, pero que cuando se realizan labores agrícolas en sectores no adecuados, en laderas pronunciadas, aunado a la tala del bosque, las quemas así como urbanizaciones provocan deterioro y aumento en dichas grietas.

En los cantones El Volcán y El Conacastal fue necesario en 2004 realizar capacitaciones y obras de mitigación² debido a que todos los años bajaba arena y piedras del Chaparrastique, dejando la calle cubierta e incomunicando hacia los municipios de San Rafael y San Jorge. Geólogos del Mundo se encargó del proyecto, se construyeron resumideros y muros para detener el afluyente de material pétreo. Sin embargo, dicho esfuerzo no ha tenido seguimiento de parte de Protección Civil o del Comité de Emergencia Municipal (CEM).

² A través del Programa DIPECHO II



1.2.2. Enunciado del Problema.

El crecimiento poblacional genera la necesidad de crear espacios para vivir, por lo que muchas familias se ven obligadas a establecerse en zonas de riesgo.

En las faldas del volcán Chaparrastique, muchas de las comunidades rurales están formadas por familias de escasos recursos que no alcanzan a cubrir sus necesidades básicas y que se caracterizan por ocupar viviendas frágiles aun conociendo las graves amenazas a las que están expuestas, siendo los movimientos de laderas uno de los fenómenos que más afecta los asentamientos humanos y la infraestructura.

En el Caserío Los Carretos, donde se desarrolló un proyecto de gestión de riesgo en el cual el componente de mitigación tuvo especial relevancia. Los muros de contención previstos en el diseño de las obras de mitigación de riesgos fueron construidos por el Comité Ambiental de San Miguel (CASAMI) y la Comunidad de Los Carretos, a través de un proyecto financiado por FONAES (Fondo Ambiental de El Salvador, gestionado por el Ministerio de Medio Ambiente de El Salvador y financiado por la cooperación gubernamental canadiense), durante los meses de julio y agosto de 2002.

La finalidad de los proyectos realizados era reducir la vulnerabilidad de la población frente a varios tipos de amenazas naturales y socio naturales, especialmente ante la ocurrencia de correntadas (flujos de escombros, lahars) de recurrencia anual, a través de la implementación de acciones de prevención, mitigación y preparación para la emergencia.



1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General.

- Desarrollar un estudio geomecánico en la Quebrada la Arenera, con el fin de obtener la caracterización del comportamiento físico, mecánico de los materiales de arrastre presentes en la quebrada que amenazan las comunidades aledañas al volcán de San Miguel.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Realizar un análisis geomecánico al material de arrastre de la quebrada La Arenera para la implementación de este; en la industria de la construcción como agregado u otro tipo de uso de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas.
- Proporcionar la información técnica para ser utilizada como fuente de consulta por instituciones, estudiantes, etc., interesados en el tema de protección de las comunidades ubicadas en las faldas del volcán de San Miguel.
- Determinar las propiedades de los materiales (Gravedad Específica, Granulometría, Resistencia al desgaste, Contenido de Humedad) a encontrarse en las zonas de estudio, por medio de la recopilación de estudios de suelos y los ensayos propuestos a realizarse.



*"ESTUDIO GEOMECÁNICO DEL MATERIAL DE ARRASTRE EN
QUEBRADA LA ARENERA, CANTÓN EL VOLCÁN, CASERÍO
LOS CARRETOS, JURISDICCIÓN DE SAN MIGUEL"*

INGENIERÍA CIVIL - FMO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

- Analizar la viabilidad de una propuesta para la extracción controlada del material de arrastre y contribuir para darle seguimiento a las recomendaciones de mantenimiento de las obras de mitigación realizadas anteriormente.



1.4. JUSTIFICACIÓN.

Los lahars en el volcán de San Miguel son flujos de material sólido (suelos y rocas no consolidados) generados en la zona más alta del volcán, principalmente a causa de lluvias intensas. El proceso de erosión de los materiales acumulados en las zonas altas o en las cabeceras de los torrentes se ve acelerado por la deforestación y los incendios. Los lahars descienden a gran velocidad desde las partes altas del volcán arrastrando materiales sueltos, bloques de coladas de lava fracturadas y vegetación, siguiendo la pendiente natural del terreno generalmente a través de las zonas más deprimidas (torrentes), y depositándose posteriormente en forma de abanico en las partes con menor pendiente. A su paso sepultan viviendas, infraestructuras y vías de acceso, así como las superficies destinadas a la agricultura.

Los proyectos ejecutados anteriormente en el volcán Chaparrastique, giran básicamente en tres componentes los cuales son:

- Caracterización del riesgo. Consistió en determinar las amenazas naturales y socio naturales existentes, así como los grados y tipos de vulnerabilidad de las comunidades de la zona.
- Mejora de las capacidades locales. Para dar respuesta a las amenazas, paralelamente y utilizando la nueva información disponible, se desarrolló un proceso de formación de las comunidades.
- Diseño de obras físicas de retención e implementación de un sistema de alerta temprana.



*“ESTUDIO GEOMECÁNICO DEL MATERIAL DE ARRASTRE EN
QUEBRADA LA ARENERA, CANTÓN EL VOLCÁN, CASERÍO
LOS CARRETOS, JURISDICCIÓN DE SAN MIGUEL”*

INGENIERÍA CIVIL - FMO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Con respecto a este último nuestro propósito es darle seguimiento a las recomendaciones realizadas por las instituciones y organismos que desarrollaron el proyecto “Gestión integral de amenazas y vulnerabilidades en el municipio de San Miguel, Plan DIPECHO II.” Y generar una propuesta de mantenimiento que garantice la sostenibilidad de las obras realizadas en la Quebrada la Arenera en beneficio de los habitantes del Caserío Los Carretos.



1.5. SUPUESTO.

El realizar un Estudio Geomecánico del Material de arrastre en Quebrada la Arenera cantón el Volcán, caserío Los Carretos, jurisdicción de San Miguel, nos brindara la base técnica y objetiva sobre el comportamiento de los suelos en esa zona de estudio, aportando información novedosa que respalde el seguimiento de futuras investigaciones.



1.6. ALCANCES.

- Se realizarán la extracción de muestras alteradas e inalteradas, análisis granulométrico, Contenido de humedad, ensayo de desgaste y abrasión, Contenido de materia orgánica y ensayo de gravedad específica y así determinar los posibles usos del material de arrastre de la quebrada.
- Realizar la digitalización del plano de la zona de estudio para tener las dimensiones del área afectada por el material que baja por la quebrada.
- Contribuir con este estudio para que la comunidad tenga un documento técnico y pueda gestionar con mayor respaldo la maquinaria necesaria para realizar el mantenimiento de las obras de mitigación realizadas en la quebrada La Arenera.
- Entender y explicar los procedimientos y resultados de los parámetros cuantificados, mediante la ejecución de los ensayos sobre muestras de suelo.



1.7. LIMITACIONES

- La entrada de la temporada lluviosa nos obliga a realizar el trabajo de campo después que esta termine, pues para tomar las muestras es necesario hacerlo antes o después que termina la época de invierno y en nuestro caso será al termino de la época lluviosa.
- El acceso a información de estudios realizados por parte del SNET, Geólogos del Mundo, CASAMI-FONAES en la zona, para contribuir a nuestra investigación.
- Es necesario significar que la zona de estudio donde se realiza la investigación, abarca una pequeña región de la zona nor-oriental del volcán de San Miguel, por lo que se realiza un micro estudio de las características geomecánicas del material de arrastre de la quebrada la arenera.
- Los periodos establecidos para este tipo de investigación son insuficientes debido a que existen ciertos parámetros que no podrán ser medidos por ejemplo la cantidad de material que baja por la quebrada en cada invierno.
- La accesibilidad a diferentes puntos de la quebrada para la extracción de muestras ya que algunos lugares están completamente cubiertos por una densa vegetación lo cual impide su libre tránsito.



1.8. METODOLOGIA

El objetivo de cualquier ciencia es adquirir conocimientos y por ello la elección de un método adecuado es fundamental para conocer la realidad. Es así que en algunas investigaciones se plantea necesariamente la aplicación del Método Científico, del cual hacemos uso en nuestra investigación, para así lograr un procesamiento de la información que se recopilara y luego se analizara. Básicamente por la naturaleza de nuestro trabajo realizaremos una investigación Cuantitativa, la que nos permitirá la relación de variables cuantificadas.

Por el lugar utilizaremos la investigación diagnóstica exploratoria que incluya a dos clases de estilos de investigación: cuantitativa e histórica.

Se iniciará con la recopilación de los estudios de suelos existentes realizados en la zona de estudio, de esta manera, se logrará identificar los tipos de suelos, estratigrafía y sus propiedades a encontrarse. Luego se procederá a la delimitación del área de estudio, para lo cual se necesitará un plano de localización actualizado (se investigará en el Centro Nacional de Registros CNR) de la ciudad de San Miguel. Al mismo tiempo se hará la actualización de resultados de laboratorio obtenidos.

Revisaremos los mapas geológicos de la zona para determinar qué tipos de materiales se encuentran en la zona y así determinar con precisión las pruebas de laboratorio que se le realizaran a las muestras, teniendo que extraer en el lugar muestras representativas de la zona que garanticen la homogeneidad de los tipos de suelos y rocas existentes en la zona de estudio.



Se pueden resumir los trabajos geotécnicos a desarrollar dentro del proyecto en la siguiente forma:

- **Exploración de campo:** Con el fin de complementar la información secundaria se ejecutaran sondeos con una profundidad promedio de exploración aun no determinada para la exploración geotécnica de campo, de lo cual se obtendrán muestras alteradas e inalteradas a las cuales se les realizaran ensayos básicos de caracterización y ensayos de deformación y resistencia.

- **Recolección y análisis de información:** Se recopilara información y con esta se clasificara, organizara y se determinara en campo el sitio donde se obtendrán las muestras contenidas en los estudios para la zona que carece de dicha información. Con esta información se creara una base de datos en formato Excel para facilitar la manipulación y análisis estadístico de la información.

- **Desarrollo de Ensayos de Laboratorio:** A las muestras recuperadas se les realizaran los ensayos básicos que se indican: Humedad natural, gravedad específica, granulometría, % que pasa el Tamiz 200, contenido de materia orgánica, abrasión entre otros.

Terminada la etapa de recolección de información y muestras se procederá al análisis de los resultados que permitirán la caracterización del material en el lugar.

Capítulo 2

Marco Referencial



2.1. MARCO HISTORICO

El volcán de San Miguel, también conocido como Chaparrastique, es uno de los muchos volcanes a lo largo del arco volcánico en El Salvador. Además es uno de los volcanes más activos en Centroamérica. Es un estratovolcán situado en el este de El Salvador a $13,43^{\circ}$ N, $88,27^{\circ}$ W, y con una elevación de 2130 metros. Se encuentra por encima de las comunidades de San Miguel, El Tránsito, San Rafael Oriente y San Jorge. Además de las comunidades más grandes que rodean el volcán, varias comunidades pequeñas y plantaciones de café se ubican sobre o en los alrededores de los flancos del volcán, además, la carretera Panamericana y la autopista costera cruzan los flancos más bajos del norte y sur del volcán. La densidad de la población alrededor del volcán San Miguel junto con la proximidad de las rutas principales de transporte aumenta el riesgo de que incluso los eventos más pequeños relacionados con el volcán, como las erupciones y los desprendimientos de tierra, podrían tener un impacto importante sobre la gente y la infraestructura.

El Volcán de San Miguel está situado en una de las zonas más pobladas y económicamente activa regiones de El Salvador. La Ciudad de San Miguel se encuentra a sólo 10 Km. al este de la cumbre. Es la tercera en tamaño en El Salvador, con más de 300.000 habitantes, y es el centro de la actividad económica para el este de El Salvador. Desde la fundación de la ciudad de San Miguel, en 1530, el volcán ha producido ocho flujos de lava a través de fisuras en las laderas del cono volcánico. La erupción más recordada ocurrió en 1762, cuando la lava se dirigió a la ciudad de San Miguel.



El Chaparrastique, en términos geológicos es un edificio volcánico estratificado de 2.129 metros de altura y unos 13 km de perímetro, cuyo magnífico cráter presenta un diámetro medio de 400 m. Está compuesto por materiales piroclásticos: lapillis, cenizas y coladas de lava de composición andesítica y basáltica procedentes de la fusión de corteza oceánica.

Fisiográficamente, se encuentra situado en la mitad oriental de la cordillera volcánica salvadoreña y junto con el volcán de Conchagua (departamento de La Unión) son los volcanes activos más orientales de El Salvador. Aparece como un volcán aislado sobre una planicie de 100 metros de altitud media, a excepción de su flanco norte donde se interestratifica con el cono truncado del volcán del Pacayal, actualmente inactivo. Sus laderas alcanzan pendientes de hasta un 75% en las zonas más altas y entre un 15 y 30 % en las zonas que conforman el pie de las mismas.

La actividad volcánica que originó la aparición del estratovolcán es de edad holocena. Se sabe que ha sido continua durante los últimos 500 años y ha dado como resultado, además de las coladas lávicas, la acumulación de tefras, lapilli y cenizas de hasta 40 metros de espesor, que se encuentran en equilibrio inestable en sus laderas y que son susceptibles de ser erosionadas y desestabilizadas fácilmente. Las últimas erupciones importantes tuvieron lugar en la segunda mitad del siglo XIX, con la emisión, desde bocas laterales orientadas al NNW, SSE y SW, de una serie de coladas de lava de composición andesítica. Recientemente, en 1970, 1976, 1977 y 1986, se han producido pequeñas erupciones con emisión de cenizas que alcanzaron en la del año 1970 un radio de 10 Km alrededor del cráter. Esta actividad es monitoreada actualmente por medio de



una estación sismológica remota y el muestreo y análisis de los gases expulsados en sus fumarolas, ante el peligro volcánico siempre latente.

Durante los últimos 250 años, ha entrado en erupción al menos 28 veces. Es el segundo en número de erupciones históricas de El Salvador después del volcán Izalco. Según Simkin y Siebert (2000), San Miguel ha estallado en 1510, 1699, 1762, 1769, 1787, 1819, 1844-1848, 1855, 1857, 1862, 1867-1868, 1882, 1884, 1890-1891, 1919-1920, 1920-1925, 1929, 1930, 1931, 1939, 1954, 1964, 1966, 1967, 1970, 1976-1977, 1985-1986, and 1995, y probablemente (incierto) en 1798, 1811, 1854 y 1936. Si tenemos en cuenta que antes del siglo XVIII, las observaciones de este volcán, probablemente no están bien documentadas, el número de erupciones indica que la probabilidad de una erupción en un año determinado es del 16%. Durante los últimos, trece años, San Miguel ha sido de desgasificación de azufre con un pequeño penacho de dióxido de emisiones de ceniza y ocasionalmente pequeñas.

Entre las amenazas naturales presentes en su zona de influencia están el peligro de erupción, temblores, incendios, y la formación de lahares que tras las precipitaciones torrenciales, que tienen lugar todos los años en los meses de invierno (mayo-noviembre), se precipitan por sus laderas afectando a los cultivos y asentamientos humanos próximos al edificio volcánico.

Durante los últimos diez años, tras el fin de la guerra en El Salvador, se fueron revitalizando los cultivos de café, lo que dio lugar al asentamiento incontrolado de jornaleros en lugares próximos a las fincas y, por lo tanto, en lugares "no reclamados" de las laderas del volcán. Este aumento de población, actualmente estimado en 13,873



habitantes, ha hecho que se ocupen espacios con una elevada peligrosidad natural, lo que conlleva que, dado el carácter vulnerable de las construcciones, infraestructuras y grupos sociales que se asientan en estas áreas, el riesgo sea muy alto.

Así, en los últimos veinte años se vienen repitiendo fenómenos catastróficos provocados por la avenida de lahares que, repetidamente durante los siete meses de lluvias (mayo-noviembre), descienden desde las partes altas del flanco norte del volcán (ver ilustración 2.1) arrastrando materiales sueltos, bloques de colada fracturada, vegetación, etc..., a gran velocidad. Estos flujos discurren y pierden su carga en las partes bajas y con menos pendiente del volcán donde se asienta la población, destruyendo infraestructuras y casas y provocando, además, cortes en las carreteras. Estos lahares, con características de flujos de derrubios hiperconcentrados, tienen su origen en zonas apicales afectadas por una gran erosión, condicionada y acelerada por la deforestación y los incendios, a menudo intencionados. Forman depósitos con mezcla de materiales de tamaño grava, arena y limo que, dependiendo de la energía de la avenida y de su situación espacial en el área de sedimentación, adquieren diferentes dimensiones, estructuras, tamaños y alcances. Los que regularmente (dos o tres eventos similares al año) alcanzan las áreas habitadas presentan espesores variables entre 1 y 3 metros, con secuencias de deposición mixtas, granocrecientes y granodecrescentes centimétricas, con tamaños predominantes arena y limo, que engloban algunos fragmentos de piroclastos de mayor tamaño (hasta 10 cm). Las secuencias culminan con el depósito de piroclastos de piedra pómez que, debido a su baja densidad, se desplazan flotando sobre la corriente. Solo en eventos



importantes, producidos por lluvias intensas, se han producido lahares con carga de bloques de hasta 1 metro de diámetro, que descendieron hasta las zonas en riesgo.

Ilustración 2. 1: Materiales Suelos que descienden desde las partes altas del flanco norte del Volcán Chaparrastique.



Fuente: Grupo de Tesis.

Históricamente el volcán de San Miguel ha tenido actividad de flujos de escombros generados principalmente por lluvias intensas que movilizaron rocas volcánicas (escorias y lapilli) desde la zona alta del cono volcánico que tiene pendientes mayores a 40 grados en el flanco Noroeste.

Pequeños flujos de escombros han descendido del volcán por la Quebrada La Arenera, en el sector norte del volcán, en dirección NNW afectando viviendas de los caseríos Los Carretos (cantón El Volcán, municipio de San Miguel), Las Placitas (cantón Conacastal, municipio de Chinameca) y la carretera que une la Panamericana y la Litoral pasando por San Jorge (ver ilustración 2.2). El evento más significativo ocurrió en mayo de 1975, causando la muerte de una niña. Posteriormente, se han documentado en esta quebrada



la ocurrencia de otros flujos durante los años 1985, 1988, 1992, 1994, 1999, 2000 y 2001, todos directamente asociados a la acción de lluvias intensas (tabla 2.1).

Tabla 2. 1: Datos Descriptivos de lahares históricos del Volcán de San Miguel.

| Fecha | Quebrada | Origen | Sedimentos (potencia) | Desborde | Daños |
|------------|----------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------|-----------------------------------|
| 19/06/1945 | Quebradona | Fuerte tormenta en año de incendios | ¿? | Si | Casa y calles aterradas |
| 06/05/1951 | La Silva y M ^a Chávez | Lluvia fuerte | Arena y lodo (1 m) | Si | Ateramiento de calle |
| 05/1965 | La Arenera | Lluvia muy fuerte | Bloques y Lapilli (2 m) | Si | Casa y calles aterradas |
| 15/09/1965 | La Arenera | Lluvia fuerte en el cerro | ¿? (1 m) | ¿? | ¿? |
| 08/05/1975 | La Piedrita | Lluvia | Arenas, material fino (1 m) | No | Niña muerta |
| 07/05/1985 | La Placita | Lluvia | Gravas arenas y algún bloque (1,5 m) | Si | Casa aterrada, corte de carretera |
| 28/09/1992 | La Arenera | Lluvia | Estación 5000 pies (1,5 m) | Si | Corte de calle y casas soterradas |
| 26/08/2000 | La Arenera | Lluvia fuerte en el cerro | Gravas, arena, palos y algún bloque (1,5 m) | 2 – 3 Madrugada | Corte de calle y casas soterradas |
| 06/09/2001 | La Arenera | Lluvias | Arenas y gravas | No | Relleno de borda de contención |

Fuente: “Estudio de Caracterización de Amenaza por Lahares en el Volcán de San Miguel”. Geólogos del Mundo, 2001. Proyecto DIPECHO³ II

³ Disaster Preparedness Programme The European Commission's Humanitarian Aid Department



En los cauces principales de los cuatro flancos del volcán existen depósitos de lahares de pequeña y moderada magnitud.

De acuerdo a observaciones de campo, se ha determinado que algunos drenajes del sector poniente y surponiente del volcán, son bastante propensos a transportar flujos de escombros, entre ellos: La Quebradona, La Piedra, La Piedrona, La Ceiba, El Clavo y El Llano. En todas las quebradas antes mencionadas existen depósitos de lahares endurecidos con espesores máximos de 1,5 metros, a distancias que varían de 3,5 a 10 kilómetros del cráter.

Se observó también que los flancos sureste y noreste del volcán son menos susceptibles a producir lahares, debido a que no existe una gran acumulación de escorias y rocas sueltas en estos sectores. Sin embargo, es posible la ocurrencia de algunas inundaciones en la ciudad de San Miguel ocasionadas por crecidas que bajan por las quebradas del flanco oriental del volcán, durante inviernos copiosos como fue el de 2004.

Ninguno de los flujos de escombros de los que se tiene conocimiento ha estado asociado con actividad eruptiva. El principal factor desencadenante de los lahares son lluvias fuertes e intensas.



Ilustración 2. 2: Mapa en relieve del Volcán de San Miguel.



Nota: se señalan con flechas azules la direcciones preferenciales de los flujos de escombros históricos. La flecha punteada indica la zona potencialmente amenazada por futuras inundaciones.

Las lluvias generadas por el Huracán Mitch, por ejemplo, produjeron un tirante de agua de 1,9 metros en octubre de 1998. Aún así, no se produjeron lahares en la zona, probablemente, porque las lluvias fueron duraderas y de moderada intensidad y distribuidas en el tiempo.

2.2. RESEÑA DE LA EJECUCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN EXISTENTES EN LA ACTUALIDAD.

En ocasiones, las características ocupacionales y la precariedad de las infraestructuras hacen que los grupos sociales sean altamente vulnerables y, por tanto, que el riesgo con que conviven sea también muy alto. La finalidad del proyecto fue reducir la vulnerabilidad de la población frente a varios tipos de amenazas naturales y siconaturales, especialmente ante la ocurrencia de tormentadas (flujos de escombros,



lahars) de recurrencia anual, a través de la implementación de acciones de prevención, mitigación y preparación para la emergencia.

El Proyecto se llevó a cabo a través de tres partes principales:

1. Estudios geológicos aplicados al diseño de obras de mitigación y diseño de un sistema de alerta temprana por lahars.

El estudio y la caracterización de la amenaza por lahars en el torrente de La Arenera, canal que actualmente se considera el más activo y cuyo cauce coincide con el asentamiento de la comunidad de Los Carretos (aproximadamente 5.000 habitantes), se llevaron a cabo a través del análisis de los diferentes aspectos geomorfológicos, geológicos, hidrológicos y ambientales, con el fin de comprender en primer lugar la dinámica de los procesos erosivos, analizar la susceptibilidad de los movimientos de masa y determinar qué factores podían ser desencadenantes del fenómeno.

Posteriormente, se llevó a término la modelización hidráulica de La Arenera. A partir de los diferentes caudales de agua, calculados a partir del análisis estadístico de las precipitaciones y utilizando diferentes cargas de sedimento en la mezcla teóricamente transportada, se obtuvo la caracterización de la amenaza por inundaciones o avenidas. Con toda esta información se obtuvieron las alturas de las avenidas de agua, para diferentes períodos de retorno y condiciones de flujo, que permitieron elaborar la cartografía de las zonas expuestas con diferentes grados de peligrosidad. Estos resultados se traducen en el mapa de peligrosidad por lahars a escala de detalle y en un conjunto de recomendaciones y consideraciones para la mitigación de los riesgos a corto



y medio plazo, y para la planificación territorial a largo plazo. Las recomendaciones son las siguientes:

- Recomendaciones de acciones de prevención: obras de conservación de suelos, reforestación, recolección y captación de escorrentías, entre otros.
- Recomendaciones para el diseño de obras físicas de mitigación: obras de retención y derivación de sedimentos.
- Recomendaciones para el diseño de un sistema de alerta temprana.

Parte de las acciones recomendadas se implementaron con financiación del proyecto, mientras que en el caso de otras se pretendía que fueran las comunidades, a través de organizaciones locales y ayuntamientos, las que tomaran la iniciativa de gestionar solicitudes de apoyo económico, seguimiento y mantenimiento de las acciones.

2. Diseño de obras de mitigación y de derivación: la propuesta de obras consistió en la determinación de la tipología de obras y su posible ubicación a lo largo del cauce de La Arenera. Se recomendaron siete tipos de obras:

1. Áreas de deposición no confinadas o zanjas de acumulación.
2. Impedimentos al flujo.
3. Presas de retención en los cauces.
4. Bermas o muros laterales.
5. Muros o bermas desviadoras.
6. Muros, presas o bermas terminales.
7. Estructuras de filtro de partículas sólidas.



Todas las obras propuestas se basaron en los resultados del cálculo hidrometeorológico y en el modelo de flujos de lahars confeccionado en el estudio geológico. La función y finalidad de cada una de ellas es diferente, pero en general su objetivo es:

- a) Conducir el flujo y no permitir el desbordamiento.
- b) Provocar la desaceleración y sedimentación controlada del material sólido en áreas no vulnerables.

En el transcurso del proyecto se llevaron a cabo obras con mano de obra comunitaria y con la supervisión del proyecto y la colaboración del Ministerio de Obras Públicas; con recursos propios del proyecto se implementaron obras de almacenamiento y derivación de material, distribuidas en el torrente. Se recomendaba desviar el flujo hacia áreas ocupadas ahora por flujos de lava no ocupadas previamente por sedimentos, por el hecho de que estas áreas tienen una superficie irregular de gran rugosidad. Se hizo especial hincapié en que la vida útil de las obras propuestas sería más larga siempre que se estableciera un sistema de seguimiento para su mantenimiento, a la vez que implicaría un incremento de la seguridad de las comunidades.

3. Implementación de un sistema de alerta temprana (SAT).

Finalmente, el análisis hidrometeorológico permitió determinar un umbral de intensidad de lluvias que se considere factor desencadenante para la formación de lahares y que sirviera de base para el diseño del sistema de alerta implementado en el torrente de La Arenera a una cota de 1.700 metros, junto a la estación sísmica. Posteriormente, también



en el torrente de El Tránsito, al sur del volcán (a través del programa DIPECHO⁴ III), se diseñó e implementó un SAT para avenidas de escombros con la misma metodología. Estos SAT, aunque diferentes en sus componentes instrumentales y su grado de automatización, se basan en los mismos principios de medición de precipitación, cálculo de intensidad, comparación con umbrales previamente programados y transmisión de señales visuales y acústicas de alerta. El componente humano o social de estos sistemas, tanto la organización comunitaria como la institucional, es un aspecto que debe fortalecerse de forma continua para que funcione realmente y pueda enviarse información oportuna a toda la población que puede resultar afectada.

El SAT fue diseñado pensando en dos objetivos principales: generar datos sobre la intensidad de la lluvia que permitieran validar y calcular los umbrales del sistema y generar señales de alerta para las comunidades más próximas a los torrentes que históricamente han sufrido este tipo de fenómenos.

Funcionamiento de las obras de mitigación

Los muros de derivación se construyeron con financiación del proyecto a través de una empresa de ingeniería que contrató mano de obra comunitaria. Estas obras consisten en dos muros de derivación de flujos de escombros de 30 y 50 metros de longitud en las cotas 1.060 y 930 metros, respectivamente. Para su construcción se obtuvieron los avales municipales, de la Gobernación Departamental y del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. También se obtuvo el aval de la comunidad, que mostró

⁴ Disaster Preparedness Programme The European Commission's Humanitarian Aid Department



inicialmente reticencias por temer que las obras no cumplieran su función de derivación de escombros y provocaran daños en zonas habitadas. Finalmente, con la validación por parte de ingenieros del Servicio Nacional de Estudios Territoriales, la comunidad estuvo de acuerdo en llevarlas adelante.

Los muros de contención previstos en el diseño de las obras de mitigación de riesgos fueron construidos por el Comité Ambiental de San Miguel (CASAMI) y la Comunidad de Los Carretos, a través de un proyecto financiado por FONAES (Fondo Ambiental de El Salvador, gestionado por el Ministerio de Medio Ambiente de El Salvador y financiado por la cooperación gubernamental canadiense), durante los meses de julio y agosto de 2002.

En la inspección efectuada en noviembre de 2002 pudo comprobarse que los muros de derivación retuvieron y desviaron parte de los materiales que se deslizaban. Durante los meses de enero a mayo de 2003, la directiva del caserío Los Carretos solicitó apoyo a la Gobernación Departamental de San Miguel y a la Municipalidad para gestionar maquinaria que permitiese dar mantenimiento a las obras, siguiendo las recomendaciones de técnicos de Geólogos del Mundo y del Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Finalmente, durante el mes de mayo de 2003, la Municipalidad proporcionó operarios y maquinaria para llevar a cabo los trabajos de mantenimiento, aunque estos se efectuaron solo de forma parcial.

En el transcurso de la época de lluvias de 2003 no se produjeron precipitaciones de intensidad superior a los 40 mm. No obstante, algunas de las lluvias provocaron la movilización de los materiales acumulados en el interior del torrente, por lo que el



relleno de las obras de contención aumentó, tal como pudo comprobarse en las inspecciones hechas durante agosto y noviembre de 2003. El Servicio Nacional de Estudios Territoriales efectuó una última inspección el mes de febrero de 2004, en la que se comprobó que no se habían realizado trabajos de mantenimiento en los muros y las zanjas, por lo que emitió una nota de recomendaciones a las autoridades locales.

Aunque se ha podido constatar en los últimos años que en la función de las obras construidas no ha habido afectación de sedimentación de materiales al núcleo de Los Carretos, es aún patente la falta de organización y de un plan de mantenimiento que garantice la sostenibilidad. Este es un buen ejemplo de que las intervenciones puntuales de los proyectos y el tiempo de implementación de estos son, a veces, insuficientes para asegurar una correcta coordinación entre instituciones y compromisos de seguimiento que garanticen una correcta reducción de los riesgos.

Ilustración 2. 3: Muros de demarcación parcialmente cubiertos de materiales volcánicos arrastrados desde la parte alta del volcán de San Miguel.



Fuente: Revista Pobres X Desastres.



2.3. MARCO TEÓRICO

2.3.1. Generalidades.

La Geomecánica de Suelos ha sido siempre una rama de la investigación aplicada en las Ciencias Geológicas empleada para conocer las propiedades intrínsecas de los suelos y su eventual respuesta frente a fenómenos naturales como a obras de infraestructura desarrollada por la actividad antrópica. El término Geomecánica se utiliza para definir las propiedades resistentes y deformacionales de los materiales geológicos. Estos materiales pueden ser rocas o suelos. El límite entre ambos mundos (rocas y suelos) se supone es su resistencia (mayor para las rocas que para los suelos) pero este límite es realmente difuso⁵. Se puede hablar de comportamiento Geomecánico de los materiales que se van a analizar siempre y cuando se acabe obteniendo parámetros resistentes y deformacionales de ellos. Y para ello se tienen que utilizar ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, a parte de las relaciones empíricas. Algunos de los análisis más comúnmente efectuados a los suelos son: Determinación de las propiedades físicas, ingenieriles e índices de suelos, mediante métodos de medición estandarizados. Clasificación de suelos en los sistemas universalmente usados y en términos de su origen geológico. Estudios del uso de ciertos tipos de suelos cuya calidad implique la conveniencia de su uso en la construcción. Análisis de la respuesta del suelo a los cambios de carga y humedad. Determinación de los efectos del agua sobre las propiedades de los suelos y el movimiento de la misma a través del suelo. Determinación de elementos básicos de estadística y probabilidad como herramienta

⁵ Msc. Juan Miguel Insua Arévalo, Profesor Responsable de Trabajos de Curso del Máster de Ingeniería Geológica. Universidad Complutense de Madrid, España.



para evaluar programas de ensayos de suelo o la confiabilidad de una información. Investigación de métodos de solución de ciertos problemas de mecánica de suelos. La problemática de la ingeniería en todos los diseños estructurales es la predicción del comportamiento de la estructura bajo las cargas actuantes o durante su vida útil.

Fenómenos tan variados como la erosión, movimientos sísmicos y erupciones volcánicas y las precipitaciones pueden producir deslizamientos y desprendimientos en las laderas, coladas de tierra y derrubios, aterramientos, hundimientos, etc.

Estos movimientos del terreno son el reflejo del carácter dinámico del medio geológico y de la evolución natural del relieve, pero también pueden ser provocados o desencadenados por el hombre al interferir con la naturaleza y modificar. Los efectos de los movimientos del terreno pueden ser directos o indirectos, a corto, largo plazo o permanentes. La escala de tiempo geológico en que se desarrollan determinados procesos, como los tectónicos hace que sus efectos no sean considerables a escala humana. Solo determinados fenómenos naturales que afectan como terremotos, inundaciones, avalanchas, erupciones volcánicas, huracanes solo estos fenómenos mencionados son los que están fuera del alcance de los seres humanos.

Para evitar o reducir los riesgos geológicos e incorporar la influencia de estos a la planificación y ocupación del territorio, es necesaria la evaluación de la amenaza y del riesgo.

En los estudios de riesgos se utiliza una terminología propia para definir la amenaza, el riesgo y la vulnerabilidad. Si bien el término "riesgo" frecuentemente se emplea para referirse a cualquier proceso más o menos violento o catastrófico que puede afectar a las



personas o bienes, y se aplica como sinónimo de amenaza, ambos conceptos son diferentes. La amenaza se refiere al proceso geológico, el riesgo a las pérdidas y la vulnerabilidad a los daños.

A continuación se definen estos conceptos según su uso más extendido.

▣ La amenaza:

Una amenaza es un fenómeno o proceso natural o causado por el ser humano que puede poner en peligro a un grupo de personas, sus cosas y su ambiente, cuando no son precavidos.

Existen diferentes tipos de amenazas. Algunas son naturales, otras son provocadas por el ser humano.

Terremotos, sismos: Fuertes movimientos de la corteza terrestre que se originan desde el interior de la Tierra.

Ilustración 2. 4: Amenaza por Terremoto.



Fuente: Enciclopedia Universal Everest, Tomo 3.



Erupciones volcánicas: Explosiones o emanaciones de lava, ceniza y gases tóxicos desde el interior de la Tierra, a través de los volcanes.

Ilustración 2. 5: Amenaza por Erupción.



Fuente: Enciclopedia Universal Everest, Tomo 3.

Deslizamientos: Tierra, piedras y vegetación que se deslizan rápida o lentamente cuesta abajo. Se presentan sobre todo en la época lluviosa o durante una actividad sísmica.

Ilustración 2. 6: Amenaza por Deslizamiento.



Fuente: Enciclopedia Universal Everest, Tomo 3.

Huracanes: Fuertes vientos que se originan en el mar y que giran en grandes círculos a modo de torbellino que vienen acompañados de lluvias.

Se les llama también ciclones tropicales, que pueden causar muchos daños.



Ilustración 2. 7: Amenaza por Huracán.



Fuente: Enciclopedia Universal Everest, Tomo 3.

Inundaciones: Presencia de grandes cantidades de agua en general provocadas por fuertes lluvias y que el suelo no puede absorber.

Ilustración 2. 8: Amenaza por Inundaciones.



Fuente: Enciclopedia Universal Everest, Tomo 3.

Las amenazas provocadas por el ser humano: son el resultado de las acciones de los humanos sobre los recursos naturales (agua, aire y tierra) o sobre la población.

La vulnerabilidad.

Es el grado de exposición de las personas, sus bienes y su ambiente a los efectos de una amenaza. A esto se suma la insuficiencia o falta de capacidad para protegerse ante los efectos de un desastre.



La vulnerabilidad, en términos generales, puede clasificarse como de carácter técnico y de carácter social, siendo la primera más factible de cuantificar en términos físicos y funcionales, como por ejemplo, en pérdidas potenciales referidas a los daños o la interrupción de los servicios, a diferencia de la segunda que prácticamente sólo puede valorarse cualitativamente y en forma relativa, debido a que está relacionada con aspectos económicos, educativos, culturales, ideológicos, etc.

■ El riesgo

Como ya se mencionó, se obtiene de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de una intensidad específica, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Por lo tanto, el riesgo puede ser de carácter geológico, hidrológico, atmosférico o, también, tecnológico, dependiendo de la naturaleza de la amenaza a la cual está referido.

Al igual que la amenaza, el riesgo también puede plasmarse en mapas. Estos mapas pueden ser, dependiendo de la naturaleza de la amenaza probabilístico o determinísticos. En este último caso, los mapas de riesgo representan un "escenario", o sea la distribución espacial de los efectos potenciales que puede causar un evento de una intensidad definida sobre un área geográfica, de acuerdo con el grado de vulnerabilidad de los elementos que componen el medio expuesto.

La prevención de los riesgos geológicos consiste en prever o conocer con anticipación la ocurrencia de un fenómeno, en tiempo y lugar (o al menos en lugar) con el fin de:



Evitar el proceso, Controlar o frenar dicho proceso, Avisar, prepararse o protegerse de él, El tipo de actuación dependerá de las características del suelo para poder determinar el proceso, su velocidad y su magnitud.

La tectónica.

Estudia los procesos de traslación y deformación de los materiales de la corteza terrestre a todas las escalas: tectónica global y micro tectónica.

Las arenas y gravas están constituidas, en un porcentaje muy elevado, especialmente arenas, por cuarzo, elemento más resistente e inalterable a los procesos que ha sufrido el sedimento y por tanto el más capaz de alcanzar ese grado de división.

Las gravas y arenas son materiales típicos para la fabricación de morteros y hormigones, siempre y cuando no sean lajosas, estén limpias no presentando elementos contaminantes como arcillas, tengan buena resistencia y aceptable adherencia con el cemento o ligante.

Limos

Son rocas detríticas cuyo tamaño de grano oscila entre $1/16$ y $1/256$ mm. Están compuestas por cuarzo, feldespatos alcalinos, algo de arcilla y materia orgánica. Atendiendo a ésta última se suelen dividir en orgánicos e inorgánicos.

Los limos inorgánicos suelen tener nula o escasa plasticidad, siendo muy susceptibles a la licuefacción, se compactan con dificultad y suelen tener una deformabilidad moderada, siendo sensibles a la acción de vibraciones.

Suelen encontrarse en las mismas formaciones que las arenas: depósitos eólicos, fluviales, glaciares, lacustres y marinos. Es habitual que estén mezcladas con arenas y



arcillas, aunque como más adelante se verá son materiales muy diferentes. Por supuesto, no son aptos para morteros.

En cimentaciones suelen requerir, al igual que las arenas, procedimientos especiales: losas de reparto, pilotajes, etc. Se inyectan con dificultad y para ello son necesarios, por lo general, productos químicos. Su comportamiento es peor cuando se encuentran bajo nivel freático, por lo cual es recomendable, cuando haya que trabajar en ellos, rebajar previamente aquél. En excavaciones superficiales requieren taludes muy tendidos o sostenimientos con muros y pantallas.

En excavaciones subterráneas se comportan mal, pues necesitan fuertes sostenimientos y las dificultades de avance son grandes, acrecentadas cuando se trabaja bajo nivel freático.

Arcillas

Son rocas sedimentarias con tamaño inferior a $1/256$ mm. Sus principales constituyentes son minerales arcillosos (silicatos alumínicos hidratados), que presentan formas hojosas.

Los principales pertenecen a tres grupos:

Caolinita: originada por la alteración de feldspatos, micas y piroxenos, bastante estables en presencia de agua.

Illita: es una arcilla no expansiva originada por la alteración de materiales con cantidad adecuada de potasio y cuya actividad al agua es intermedia entre la caolinita y la montmorillonita.



Montmorillonita: originada por la descomposición de olivino; mezclada con agua aumenta de volumen y es el mineral componente principal de las arcillas expansivas.

Rocas mixtas. Caliza + arcilla + arena.

Quizás la característica más importante más notable de la arcilla sea la plasticidad, la capacidad de cambiar de forma sometida a un esfuerzo, manteniendo la nueva forma adquirida al cesar éste.

Esta plasticidad se pone de relieve cuando la arcilla se mezcla con agua, pues mientras está seca tiene un aspecto terroso, tacto áspero y numerosas grietas, pasando a untuosa y plástica al mojarse.

Es roca impermeable cuando se satura, tiene alta capilaridad, no es susceptible a la licuefacción, su compactación presenta algunas dificultades, es fácilmente erosionable, suele presentar una cierta cohesión y tener un bajísimo o nulo ángulo de rozamiento.

Muestra colores muy variados.

Aparece igual que las gravas, arenas y limos, en los sedimentos fluviales, lacustres, glaciares y marinos, siendo producto resultante de la alteración de las rocas ácidas y máficas, así como de las calizas. Ocupa grandes extensiones de terreno y es la roca sedimentaria más común.

Su impermeabilidad impide la existencia de fuentes, aunque los pozos artesianos están ligados a terrenos arcillosos que actúan como material confinante del acuífero.



La utilización de la arcilla sometida a una selección, elaboración y cocción es técnica común en edificación. El uso de ladrillos para muros y tejas para recubrimiento son métodos constructivos que se utilizan desde hace muchísimo tiempo.

Las arcillas sometidas a cocción con altas temperaturas dan lugar a un material alveolar con forma redondeada, de superficie poco porosa y núcleo con gran número de huecos, que sirve como árido ligero tanto para carreteras, subbases, como para edificación y fabricación de hormigones ligeros utilizados como aislantes térmicos.

Las arcillas tienen escasa capacidad portante, por lo que deben tomarse precauciones al cimentar sobre ellas. Los previsibles asentamientos pueden ser importantes y muy dilatados en el tiempo, incluso cuando la estructura esté ya terminada y en uso. Por lo general hay que recurrir a cimentaciones especiales como pilotes.

Las arcillas se utilizan, por su carácter impermeable, como núcleo de presas de materiales sueltos. En excavaciones subterráneas el comportamiento de las arcillas dependerá de la cementación que pueden presentar, es decir, el porcentaje de carbonato cálcico que tengan, de la compactación natural a la que hayan estado sometidas y de la presencia de agua. Cuando están secas se excavan bien, y también se sostienen sin grandes problemas. Sin embargo, saturadas pueden llegar a comportarse como fluidos densos que presionan el hueco hecho por todos sus lados. La sección de túnel más conveniente para este tipo de terrenos es la circular.

En excavaciones superficiales puede decirse lo mismo que de las subterráneas: que sus características y la presencia de agua determinan su comportamiento.



La tendencia a deslizar, especialmente en presencia de agua, como ya se ha dicho, hace recomendable evitar situar en las medias laderas arcillosas en carreteras, ferrocarriles y sobre todo en canales pues si hubiera filtraciones saturarían las arcillas que ejercerían una presión en las tuberías para la cual no han sido diseñadas.

La arcilla unida a la caliza, sometidas a determinados procesos de elaboración y cocción se emplea para la fabricación del cemento.

Las arcillas: conocidas como expansivas, que tienen la montmorillonita como mineral esencial, poseen características que influyen negativamente sobre las estructuras ubicadas en ellas. Los aumentos y disminuciones de volumen que sufren en los procesos de humectación y secado dan lugar a presiones o asientos capaces de dañar seriamente la estructura. Las características de las arcillas expansivas obligan a tomar determinadas precauciones a la hora de cimentar sobre ellas.

En obras viales, la presencia de arcillas expansivas afecta a los taludes y terraplenes, así como la capacidad portante. Una norma general es la de contar con una buena red de drenaje.

En túneles las presiones sobre los revestimientos, ya señaladas en las arcillas no expansivas, se ven aumentadas en este caso, primordialmente cuando se trata de obras hidráulicas.

Conglomerados

Son las rocas formadas por fragmentos rocosos, clastos, superiores a 2 mm, unidos por un aglomerante que puede ser de carácter detrítico o de naturaleza química. Los



conglomerantes suelen ser impermeables, salvo quizás los calcáreos, y las filtraciones se producen a favor de las fracturas, que suelen inyectarse bien. En edificación suele utilizarse para chapados y suelos. Por su heterogeneidad no son recomendables para utilizar como árido para hormigón, pues el producto resultante puede estar constituido por material resistente unido a otro de muy mala calidad.

Tampoco suele utilizarse por la heterogeneidad para balasto y macadam.

Como cimienta es una roca aceptable, incluso de gran calidad cuando clastos y cemento dan lugar a una roca resistente. Impermeables y buena corrección de fugas. Su comportamiento en excavaciones a cielo abierto viene determinado por su naturaleza. Si son homogéneas admiten cortes verticales, en cambio si son heterogéneas pueden ser molestos, en excavaciones subterráneas puede decirse lo mismo que para las superficiales.

Areniscas

Son rocas constituidas por clastos de tamaño comprendido entre 2 y 1/16 mm aglomerados por un cemento de naturaleza variable.

Al igual que hemos dicho al hablar de los conglomerados, es totalmente imposible hablar de la utilización y comportamiento de la arenisca, ya que bajo esta definición se acogen rocas muy distintas que van desde la cuarcita, muy dura y resistente, a la arcosa, en ocasiones deleznable con la mano.



2.4. NOMENCLATURA DE UN TALUD.

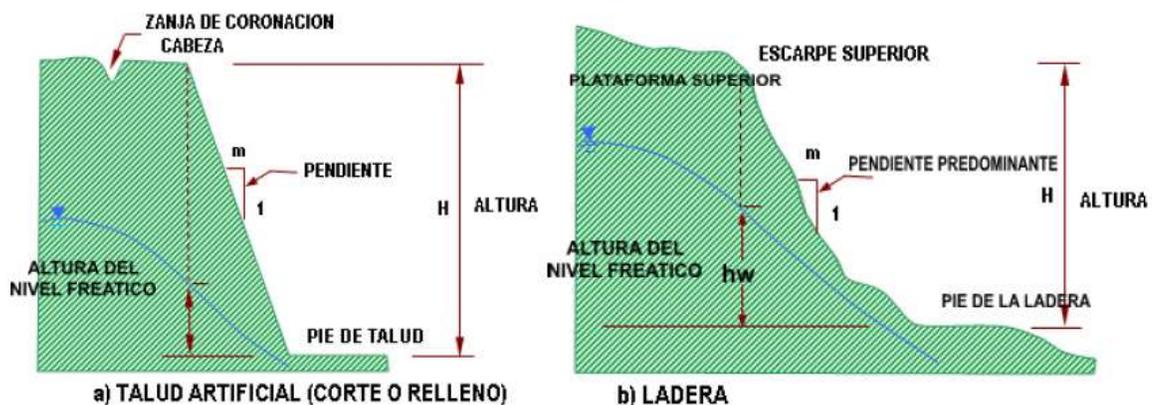
Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente.

Las laderas que han permanecido estables por muchos años pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad.

Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas.

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

Ilustración 2. 9: Nomenclatura de taludes y laderas



Fuente: www.tecnosuelo.com.mx



- ▣ **Altura:** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.
- ▣ **Pie:** Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
- ▣ **Cabeza o escarpe:** Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
- ▣ **Altura de nivel freático:** Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.
- ▣ **Pendiente:** Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

Existen, además, otros factores topográficos que se requiere definir como son longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud.

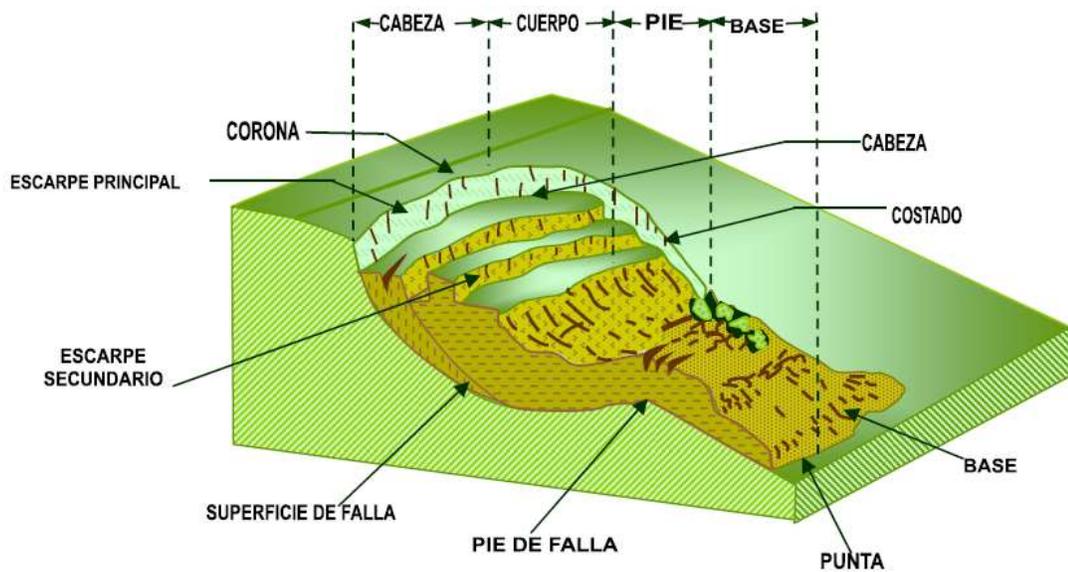
2.5. NOMENCLATURA DE LOS PROCESOS DE MOVIMIENTO.

Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo (ilustración 2.10), y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos.



Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Algunos segmentos del talud o ladera pueden moverse hacia arriba, mientras otros se mueven hacia abajo.

Ilustración 2. 10: Movimiento de un Talud.



Fuente: <http://geofisicosas.deslizamientosyestabilidaddetaludes.html>

Se muestra un deslizamiento o movimiento en masa típico, con sus diversas partes cuya nomenclatura es la siguiente:

- ▣ Escarpe principal: Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.
- ▣ Escarpe secundario: Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.



- ▣ Cabeza: Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- ▣ Cima: El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- ▣ Corona: El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.
- ▣ Superficie de falla: Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.
- ▣ Pie de la superficie de falla: La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- ▣ Base: El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
- ▣ Punta o uña: El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
- ▣ Costado o flanco: Un lado (perfil lateral) del movimiento.
- ▣ Superficie original del terreno: La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.
- ▣ Derecha e izquierda: Para describir un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie.



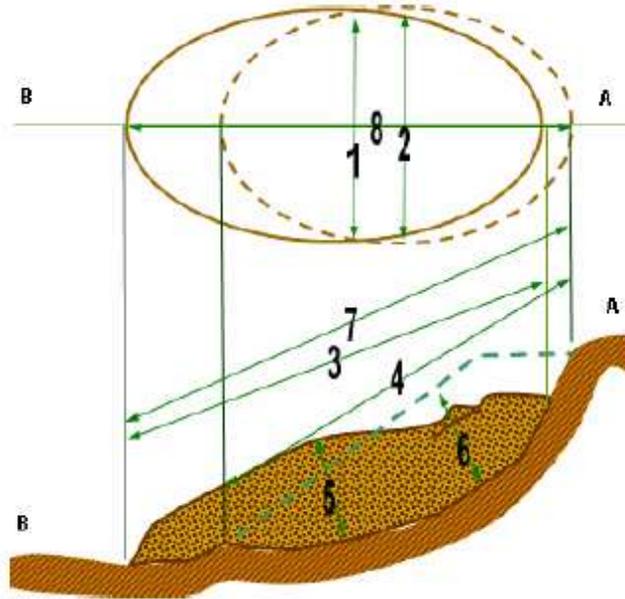
2.6. DIMENSIONES DE UN MOVIMIENTO.

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la siguiente nomenclatura de la ilustración 2.11:

- ▣ Ancho de la masa desplazada W_d : Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud, L_d .
- ▣ Ancho de la superficie de falla W_r : Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud L_r .
- ▣ Longitud de la masa deslizada L_d : Distancia mínima entre la punta y la cabeza.
- ▣ Longitud de la superficie de falla L_r : Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
- ▣ Profundidad de la masa desplazada D_d : Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d
- ▣ Profundidad de la superficie de falla D_r : Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por W_r y L_r .
- ▣ Longitud total L : Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.
- ▣ Longitud de la línea central L_{cl} : Distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales o flancos.



Ilustración 2. 11: Nomenclatura para definir las dimensiones de un Movimiento.



Fuente: <http://icc.ucv.cl/obrasviales/docencia/movtierra.htm>

El volumen de material medido antes del deslizamiento generalmente, aumenta con el movimiento debido a que el material se dilata. El término “Factor de expansión” puede ser utilizado para describir éste aumento en volumen, como un porcentaje del volumen antes del movimiento.



2.7. MOVIMIENTOS DE MASA.

Se entiende como movimiento de ladera, "*slope movement*" (Varnes, 1978) o "*landslide*" (Sharpe, 1938), el movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente (Cruden, 1991). Se incluye cualquier tipo de movimiento en masa (se excluye por tanto la erosión), excepto la subsidencia y el hundimiento kárstico (Fernández, 2001). Otra definición que se manifiesta en términos análogos es la aportada por Corominas y García Yagüe definiendo movimientos de ladera como los movimientos del terreno o desplazamientos que afectan a los materiales en laderas o escarpes. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad (Corominas y García Yagüe, 1997). Los hundimientos de cavidades o de materiales están excluidos de estos movimientos (Varnes, 1978).

Los movimientos ocurren generalmente a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Algunos segmentos de la ladera pueden moverse hacia arriba mientras otros lo hacen hacia abajo.

En octubre de 2008 se produjo un movimiento de ladera o en la vertiente este del Picacho (volcán de San Salvador), concretamente en la cabecera de la quebrada Las Lajas (ver ilustración 2.12). Sus dimensiones aproximadas fueron de 30 m. de ancho por 300 m. de largo, e implicó la movilización de aproximadamente 3000 m³ de material. Este movimiento de ladera presentó unos factores condicionantes que favorecieron su ocurrencia: la elevada pendiente, y la fracturación y alteración de los materiales geológicos de la ladera; el factor desencadenante fue la lluvia.



Ilustración 2. 12: movimiento de ladera en la vertiente este del picacho, Volcán de San Salvador.



Fuente: <http://www.geologosdelmundo.org/mm/Picacho>

Los procesos geológicos y climáticos que afectan a la superficie terrestre crean el relieve y definen la morfología de las laderas, que van modificándose a lo largo del tiempo para adaptarse a nuevas condiciones geológicas o climáticas. Por lo general, las laderas adoptan pendientes naturales cercanas al equilibrio: ante el cambio de condiciones, su morfología se modifica buscando de nuevo el equilibrio. En este contexto, los movimientos de ladera pueden entenderse como los reajustes del terreno para conseguir el equilibrio ante un cambio de condiciones.

Entre las áreas más propensas a la inestabilidad, bajo un punto de vista global, están las zonas montañosas y escarpadas, zonas de relieve con procesos erosivos y de meteorización intensos, laderas de valles fluviales, zonas con materiales blandos y



sueltos, con macizos rocosos arcillosos, esquistosos o alterables, zonas sísmicas, zonas de precipitación elevada, etc.

El estudio de los movimientos de ladera, con frecuencia englobados bajo el término general de deslizamientos, tiene muchos cambios comunes con los estudios de inestabilidad de laderas: los factores geomecánicos que controlan los procesos de rotura e inestabilidad, los mecanismos de rotura, métodos de análisis y modelización, métodos de corrección, estabilización e instrumentación.

Los deslizamientos en laderas pueden ser profundos y movilizar millones de metros cúbicos de material; los mecanismos de roturas, además suelen ser complejos, estando condicionados por factores o procesos a escala geológica (fallas, procesos tectónicos, procesos geomorfológicos, flujos de agua subterránea, etc.)

La inestabilidad en las laderas, se deben al desequilibrio de las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno, de tal forma que las fuerzas desestabilizadoras superan a las fuerzas estabilizadoras o resistentes. Este desequilibrio puede ser debido a una modificación de las fuerzas existentes o a la aplicación de nuevas fuerzas externas estáticas o dinámicas.

Los movimientos de ladera, por su gran extensión y frecuencia, constituyen un riesgo geológico muy importante, que afecta las edificaciones, vías de comunicaciones, etc., y ocasionalmente a poblaciones. Los movimientos de gran magnitud son poco frecuentes, aunque en la superficie terrestre hay signos que denotan su ocurrencia en el pasado, posiblemente asociada a épocas climáticas húmedas y lluviosas o a actividad tectónica y sísmica.



Por otro lado, los deslizamientos son quizás los procesos naturales más previsibles y más sensibles a las medidas de corrección y mitigación para la prevención de los daños que conllevan.

Los movimientos de ladera engloban diferentes tipos de procesos, como los deslizamientos, desprendimientos, flujos y colada de barro o derrubios, reptaciones, avalanchas rocosas, etc.

2.8. CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE MASA.

La clasificación de los movimientos de ladera depende de los criterios utilizados para su diferenciación. La clasificación se basa fundamentalmente en el mecanismo de rotura y propagación del movimiento utilizando básicamente criterios morfológicos.

La mayoría de las clasificaciones consideran dos variables básicas: el tipo de movimiento y el tipo de material involucrado.

Según Suárez (1998), se deben considerar cuatro etapas diferentes en la clasificación de los movimientos:

- Etapa de deterioro o antes de la falla, durante la cual el suelo está esencialmente intacto.
- Etapa de falla, caracterizada por la formación de una superficie de falla o el movimiento de una masa importante de material.



- Etapa post-falla, incluye los movimientos de la masa involucrada en un movimiento de masa desde el momento de la falla y hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente.
- La etapa de posible reactivación en la cual pueden ocurrir movimientos que pueden, considerarse como una nueva falla, e incluye las tres etapas anteriores.

También han sido establecidas clasificaciones específicas para algunos materiales, como las arcillas, o para algunos tipos de movimientos, como los flujos.

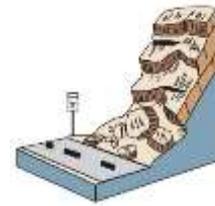
Se diferencian varios tipos básicos de movimientos como los que podemos ver en la ilustración 2.13, pero existen una mayor cantidad de ellos.

Ilustración 2. 13: Tipos de movimiento de ladera.





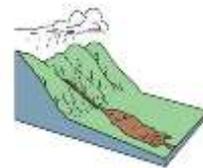
CAÍDA.



FLUJO DE TIERRA.



FLUJO DE LODOS.



VOLCAMIENTO.



Fuente: Análisis de la Susceptibilidad a los Movimientos de Ladera.

Las clasificaciones de los movimientos de la ladera suelen referirse a los tipos de materiales involucrados, distinguiendo generalmente entre materiales rocosos, derrubios y suelos, y al mecanismo y tipo de rotura, considerando también otros aspectos, como el contenido de agua del terreno y la velocidad, y magnitud del movimiento. Algunas de las clasificaciones más extendidas (Varnes, 1984; Hutchinson, 1988; Epoch, 1993; Dikau et al, 1996), con diversos criterios y fines, son de gran utilidad para abordar el estudio de los movimientos de laderas y el conocimiento del comportamiento de los materiales que sufren estos procesos (Tabla 2.2).



Tabla 2. 2: Tipos de Movimiento.

| Tipos De Movimiento. | | | Tipo De Material | | |
|----------------------------|-------------|-----------------|---|-------------------------------------|------------------------------------|
| | | | Roca. | Suelos Ingenieriles. | |
| | | | | Predominantemente Granular. | Predominantemente Fino |
| Caídas | | | Caída De Roca | Caída De Detrito | Caída De Tierra |
| Volcamientos. | | | Volcamiento De Roca | Volcamiento De Detrito | Volcamiento De Tierra |
| Deslizamientos | Rotacional | Pocas Unidades | Deslizamiento Rotacional En Roca | Deslizamiento Rotacional De Detrito | Deslizamiento Rotacional De Tierra |
| | Traslación. | Muchas Unidades | Deslizamiento De Roca | Deslizamiento De Detritos | Deslizamiento De Tierra |
| Desplazamientos Laterales. | | | Desplazamiento En Roca | Desplazamiento De Detritos | Desplazamiento De Tierra. |
| Flujos. | | | Flujos De Rocas | Flujos De Detritos | Flujos De Tierra |
| Complejos. | | | Combinación De Dos O Más De Los Principales Tipos De Movimientos. | | |

Fuente: Riesgos Geológicos Externos en Suelos.

A. Caído.

En los caídos una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de corte y desciende principalmente, a través del aire por caída libre, a saltos o rodando. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido y puede o no, ser precedido de movimientos menores que conduzcan a la separación progresiva o inclinación del bloque o masa de material.

La observación muestra que los movimientos tienden a comportarse como caídos de caída libre cuando la pendiente superficial es de más de 75 grados. En taludes de ángulo menor generalmente, los materiales rebotan y en los taludes de menos de 45 grados los materiales tienden a rodar (Ver ilustración 2.14).



Los "caídos de roca" corresponden a bloques de roca relativamente sana, los caídos de residuos o detritos están compuestos por fragmentos de materiales pétreos y los caídos de tierra corresponden a materiales compuestos de partículas pequeñas de suelo o masas blandas (Ver ilustración 2.15).

Ilustración 2. 14: Caída Libre de Rocas en Taludes.



Fuente: <http://carreterasvias.blogspot.com>

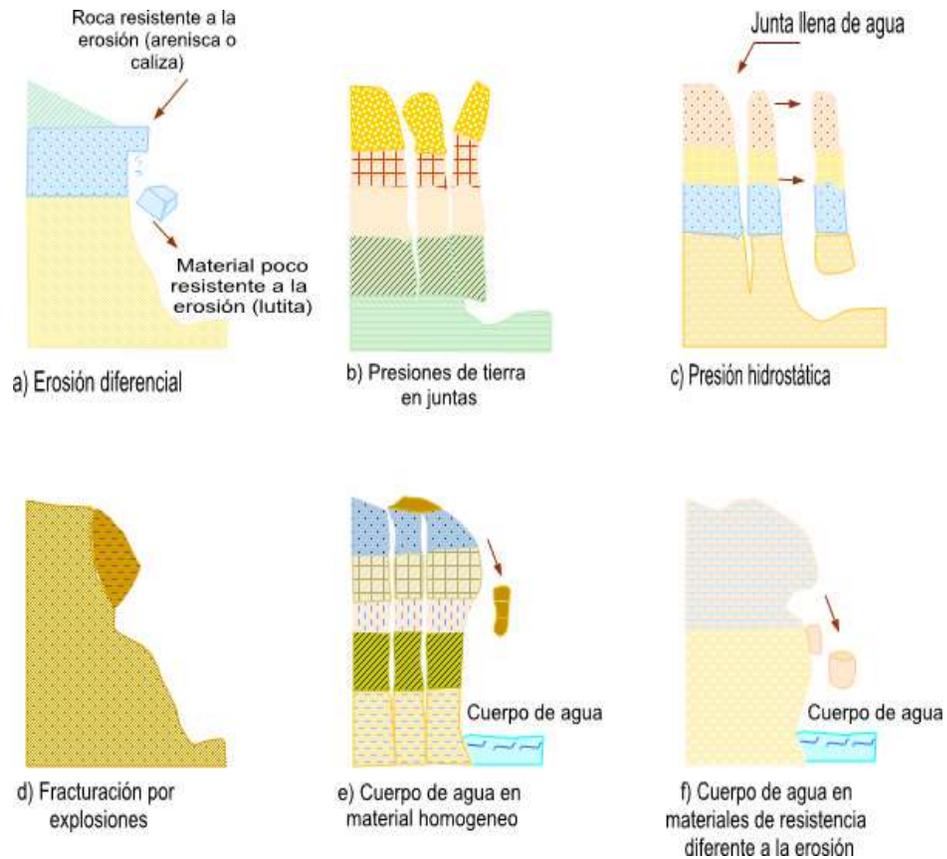
Vargas (1999) en su adaptación de Varnes (1978), divide las caídas en tres categorías:

- Caídas: movimientos intermitentes en caída libre, asociadas a escarpes de rocas duras y fracturadas, el volumen de material es bajo y el tamaño varía de cantos a bloques.
- Desprendimientos: disgregación de una masa litológica, ya sea de suelo o de roca fracturada, mediante un descenso súbito con fragmentación del material a lo largo de la ladera.



- Desplomes: disgregación de una masa litológica, generalmente rocosa y de volumen considerable, que forma un depósito de material grueso en la base

Ilustración 2. 15: Algunos Mecanismos De Falla De Caídos.



Fuente: www.scielo.org.mx/.../rmcg/v24n3/a8f2.jpg

B. Inclinación o volteo.

Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad y generalmente, ocurren en las formaciones rocosas. (Ver ilustración 2.16).



Las fuerzas que lo producen son generadas por las unidades adyacentes, el agua en las grietas o juntas, expansiones y los movimientos sísmicos.

La inclinación puede abarcar zonas muy pequeñas o incluir volúmenes de varios millones de metros cúbicos.

Dependiendo de las características geométricas y de estructura geológica, la inclinación puede o no terminar en caídos o en derrumbes. Las inclinaciones pueden variar de extremadamente lentas a extremadamente rápidas. Las características de la estructura de la formación geológica determinan la forma de ocurrencia de la inclinación.

Ilustración 2. 16: Volteo de un bloque de una masa de suelo.



Fuente: boletinsgm.igeolcu.unam.mx/epoca04/5902/(4)Carlos-Valerio.pdf

C. Reptación.

La reptación consiste en movimientos muy lentos a extremadamente lentos del suelo subsuperficial sin una superficie de falla definida. Generalmente, el movimiento es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno. Se le atribuye a las



alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en suelos, usualmente, muy blandos o alterados.

La reptación puede preceder a movimientos más rápidos como los flujos o deslizamientos.

Ilustración 2. 17: Movimiento de Reptación.



Fuente: cl.kalipedia.com/kalipediamedia/cienciasnatur...

D. Deslizamiento.

Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda, la que sería, la superficie de falla.

Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes.

Los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc.



Los deslizamientos se pueden a su vez dividir en dos subtipos denominados deslizamientos rotacionales y traslacionales o planares. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y estabilización a emplearse.

⊕ Deslizamiento Rotacional.

En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento.

Visto en planta el deslizamiento posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento generándose comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento.

En muchos deslizamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de "cuchara". Generalmente, el escarpe debajo de la corona tiende a ser semivertical, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos.

El movimiento aunque es curvilíneo no es necesariamente circular, lo cual es común en materiales residuales donde la resistencia al corte de los materiales aumenta con la profundidad.

En la cabeza del movimiento, el desplazamiento es aparentemente semi-vertical y tiene muy poca rotación, sin embargo se puede observar que generalmente, la superficie original del terreno gira en dirección de la corona del talud, aunque otros bloques giren en la dirección opuesta.



Los deslizamientos estrictamente rotacionales ocurren usualmente, en suelos homogéneos, sean naturales o artificiales y por su facilidad de análisis son el tipo de deslizamiento más estudiado en la literatura.

En zonas tropicales este tipo de suelos no es común y cuando existe rotación, la superficie de falla es usualmente curva pero no circular; Sin embargo, en zonas de meteorización muy profunda y en rellenos de altura significativa algunas superficies de falla pueden asimilarse a círculos.

Dentro del deslizamiento comúnmente, ocurren otros desplazamientos curvos que forman escarpes secundarios y ocasionalmente ocurren varios deslizamientos sucesivos en su origen pero que conforman una zona de deslizamientos rotacionales independientes.

Ilustración 2. 18: Deslizamiento rotacional con corona irregular.



Fuente: www.ineter.gob/.../image012.jpg



⊕ Deslizamiento de traslación.

En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Los movimientos traslacionales tienen generalmente, una relación D_r/L_r de menos de 0.1. La diferencia importante entre los movimientos de rotación y traslación está principalmente, en la aplicabilidad o no de los diversos sistemas de estabilización.

Sin embargo, un movimiento de rotación trata de autoestabilizarse, mientras uno de traslación puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo.

Los deslizamientos sobre discontinuidades sencillas en roca se les denomina deslizamientos de bloque, cuando ocurren a lo largo de dos discontinuidades se le conoce como deslizamiento de cuña y cuando se presentan sobre varios niveles de una familia de discontinuidades se le puede denominar falla en escalera.

Ilustración 2. 19: Deslizamiento traslacional en una costa californiana.



Fuente: www.igp.gob.pe/sismologia/servicios/.../proc_int_vargas.PDF



E. Esparcimiento lateral.

En los esparcimientos laterales el modo de movimiento dominante es la extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión. El mecanismo de falla puede incluir elementos no solo de rotación y translación sino también de flujo. Generalmente, los movimientos son complejos y difíciles de caracterizar.

La tasa de movimiento es por lo general extremadamente lenta. Los esparcimientos laterales pueden ocurrir en masas de roca sobre suelos plásticos y también se forman en suelos finos, tales como arcillas y limos sensitivos que pierden gran parte de su resistencia al remoldearse.

F. Flujo.

En un flujo existen movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos pueden ser lentos o rápidos, así como secos o húmedos y los puede haber de roca, de residuos o de suelo o tierra.

Los flujos muy lentos o extremadamente lentos pueden asimilarse en ocasiones, a los fenómenos de reptación y la diferencia consiste en que en los flujos existe una superficie fácilmente identificable de separación entre el material que se mueve y el subyacente, mientras en la reptación la velocidad del movimiento disminuye al profundizarse en el perfil, sin que exista una superficie definida de rotura.

La ocurrencia de flujos está generalmente, relacionada con la saturación de los materiales subsuperficiales. Algunos suelos absorben agua muy fácilmente cuando son



alterados, fracturados o agrietados por un deslizamiento inicial y esta saturación conduce a la formación de un flujo.

Algunos flujos pueden resultar de la alteración de suelos muy sensitivos tales como sedimentos no consolidados.

Recientemente se han realizado estudios para cuantificar el nivel de lluvias que se requieren para producir flujos y es frecuente la ocurrencia de los flujos simultáneamente en sitios diferentes, dentro de una misma formación en el momento de una determinada lluvia de gran intensidad o de un evento sísmico.

⊕ Flujo en roca.

Los movimientos de flujo en roca comprenden las deformaciones que se distribuyen a lo largo de muchas fracturas grandes y pequeñas. La distribución de velocidades puede simular la de líquidos viscosos. Este tipo de movimiento ocurre con mucha frecuencia en zonas tropicales de alta montaña y poca vegetación, especialmente en la cordillera de los Andes.

Se observa la relación de estos flujos con perfiles de meteorización poco profundos en los cuales las fallas están generalmente, relacionadas con cambios de esfuerzos y lixiviación, ocasionados por la filtración momentánea del agua en las primeras horas después de una lluvia fuerte. Las pendientes de estos taludes son comúnmente muy empinadas (más de 45 grados).

Su ocurrencia es mayor en rocas ígneas y metamórficas muy fracturadas y pueden estar precedidos por fenómenos de inclinación. Estos flujos tienden a ser ligeramente húmedos y su velocidad tiende a ser rápida a muy rápida.



⊕ Flujo de residuos (Detritos).

Por lo general, un flujo de rocas termina en uno de residuos. Los materiales se van triturando por el mismo proceso de flujo y se puede observar una diferencia importante de tamaños entre la cabeza y el pie del movimiento.

El movimiento de los flujos de detritos puede ser activado por las lluvias, debido a la pérdida de resistencia por la disminución de la succión al saturarse el material o por el desarrollo de fuerzas debidas al movimiento del agua subterránea (Collins y Znidarcic, 1997).

Los daños causados por los flujos de detritos abarcan áreas relativamente grandes. El flujo típico de detritos es una honda larga de materiales sólidos y líquidos entremezclados, que se mueve en forma constante a través de un canal con algunas ondas menores superimpuestas que se mueven a velocidades superiores a aquellas del flujo mismo.

Cuando el canal es más pequeño que el flujo, se forman ondas horizontales o depósitos laterales a los lados del canal.

⊕ Flujo de suelo.

Los flujos de suelo también pueden ser secos y más lentos de acuerdo a la humedad y pendiente de la zona de ocurrencia.

En zonas de alta montaña y desérticas ocurren flujos muy secos, por lo general pequeños pero de velocidades altas.



⊕ Flujos de lodo.

Dentro de los flujos de tierra están los “flujos de lodo”, en los cuales los materiales de suelo son muy finos y las humedades muy altas y ya se puede hablar de viscosidad propiamente dicha, llegándose al punto de suelos suspendidos en agua. Los flujos de lodo poseen fuerzas destructoras grandes que dependen de su caudal y velocidad.

Un flujo de lodo posee tres unidades morfológicas: un origen que generalmente es un deslizamiento, un camino o canal de flujo y finalmente una zona de acumulación. El origen consiste en una serie de escarpes de falla o deslizamientos de rotación o translación, el camino o canal es generalmente un área estrecha, recta o una serie de canales a través del cual fluye el material viscoso, el ancho, profundidad y pendiente del camino del flujo varía de acuerdo a las condiciones topográficas y morfológicas.

La zona de acumulación es generalmente, un área de menor pendiente en la cual el flujo pierde velocidad y forma un abanico de depositación.

Ilustración 2. 20: Tramo de carretera dañado por flujo de lodo.



Fuente: www.ecapra.org/.../Fig1-4o.png/220px-Fig1-4o.png



G. Avalanchas.

En las avalanchas la falla progresiva es muy rápida y el flujo desciende formando una especie de "ríos de roca y suelo". Estos flujos comúnmente se relacionan con lluvias ocasionales de índices pluviométricos excepcionales muy altos, deshielo de nevados o movimientos sísmicos en zonas de alta montaña y la ausencia de vegetación, aunque es un factor influyente, no es un prerequisite para que ocurran.

Las avalanchas son generadas a partir de un gran aporte de materiales de uno o varios deslizamientos o flujos combinados con un volumen importante de agua, los cuales forman una masa de comportamiento de líquido viscoso que puede lograr velocidades muy altas con un gran poder destructivo y que corresponden generalmente, a fenómenos regionales dentro de una cuenca de drenaje. Las avalanchas pueden alcanzar velocidades de más de 50 metros por segundo en algunos casos.

El movimiento de las avalanchas se le puede relacionar con "flujo turbulento de granos". Este mecanismo no requiere de la presencia de una fase líquida o gaseosa y el movimiento se produce por transferencia de momentum al colisionar las partículas o bloques que se mueven.



Ilustración 2. 21: Flujo típico de avalanchas ocasionado por lluvias.



Fuente: fluidos.eia.edu.co/.../clasificaciondelflujo/clasificaciondelflujo.html

2.9. MOVIMIENTOS DE LAHAR.

Los flujos de escombros, llamados también lahares, son mezclas de lodo, sedimentos y escombros volcánicos movilizados por agua lluvia. Estos materiales se acumulan en las partes altas del volcán y con frecuencia se encuentran inestables. Los flujos de escombros pueden desencadenarse por reactivación del volcán, aunque de forma más frecuente se generan por lluvias intensas. Al mezclarse con agua, los escombros fluyen rápidamente por las quebradas y se depositan posteriormente en las partes bajas de los volcanes, donde la pendiente se suaviza.

Las propiedades físicas de los lahares están controladas por el tamaño de los materiales volcánicos y el contenido de agua. Un flujo de escombros volcánicos puede transportar partículas desde el tamaño grava hasta bloques de más de un metro de diámetro. La concentración de partículas sólidas es de 75 a 80% en peso o 55 a 60% en volumen. Las



áreas de inundación y alcance de los lahares dependen en gran medida de su volumen, tamaño de las rocas y la topografía del terreno.

Ilustración 2. 22: Efectos de soterramiento de un lahar producido en Plymouth (Montserrat, West Indies), en 1995, por la erupción del volcán Soufrière Hills.



Fuente: Mapa de Escenarios de Amenaza del Volcán de San Miguel.

Las velocidades de movimiento de los lahares varían y dependen de los factores siguientes: cantidad de agua lluvia, tiempo de duración de la tormenta, pendiente y dimensiones del cauce, volumen y distribución del tamaño de los materiales depositados en el cauce. Por ejemplo, los lahares del Monte Santa Helena en 1980, en Estados Unidos, viajaron a velocidades de 1.3 m/s en zonas de suave pendiente, pero en las zonas con pendientes fuertes llegaban a 40 m/s (USGS, 2001).

Los principales efectos de los lahares (ilustración 2.22) es el soterramiento de vías de comunicación y de viviendas.



Si son de grandes dimensiones pueden arrastrar personas y animales. Los flujos pueden transportar bolos de gran tamaño que pueden provocar impactos en infraestructuras y heridas en las personas.

Históricamente el volcán de San Miguel ha producido pequeños lahares o flujos de escombros (ilustración 2.23). Se ha documentado la ocurrencia de éstos en el flanco norte del volcán (principalmente por la quebrada La Arenera) durante los años 1985, 1988, 1992, 1994, 1999, 2000 y 2001, todos directamente asociados a la acción de lluvias intensas. De acuerdo a observaciones de campo, se ha determinado que también algunos drenajes del sector oeste y suroeste del volcán, son propensos a transportar flujos de escombros, entre ellos: La Quebradona, La Piedra, La Piedrona, La Ceiba, El Clavo y El Llano.

Ilustración 2. 23: Lahar (flujo de escombros) de pequeña magnitud en la zona de cabecera de la Quebrada La Arenera (Volcán de San Miguel) en octubre de 2003.



Nota: Las flechas indican el sentido de movimiento del material suelto⁶.

⁶ Fuente: Carlos Pullinger. Servicio Geológico - SNET



2.9.1. Avalancha De Escombros, Desprendimientos De Tierra y Lahar.

Las pendientes de un volcán pueden llegar a ser inestables, caer catastróficamente y generar un desprendimiento de tierra. Un desprendimiento de tierra grande y en movimiento en un volcán se denomina comúnmente avalancha de escombros. La inestabilidad de la pendiente en los volcanes puede estar provocada por numerosos factores. Los temblores grandes, las lluvias torrenciales o las explosiones de vapor pueden iniciar desprendimientos de tierra quizás de hasta 10 millones de metros cúbicos o más. Los desprendimientos de tierra iniciados por estos mecanismos usualmente son relativamente superficiales, hasta varias decenas de metros de profundidad. Por lo contrario, el magma que se eleva hacia arriba a través de un volcán puede empujar a la roca volcánica anterior y estratificar los flancos de un volcán, o el agua caliente y ácida del interior puede circular a través de las grietas y zonas porosas profundas dentro de un volcán, alterar la roca más fuerte para aflojar la arcilla resbaladiza y debilitar gradualmente el volcán de modo que sea susceptible a las avalanchas de escombros de grandes dimensiones. Las avalanchas iniciadas por estos mecanismos pueden encontrarse dentro del orden de los 100 millones o más de metros cúbicos, además de que comúnmente erosionan profundamente y retiran fragmentos grandes de un volcán. Las avalanchas de escombros pueden alcanzar velocidades que superan los 150 kilómetros por hora; generalmente entre mayor sea la avalancha el viaje de la misma es más rápido y alcanza distancias más lejanas.

Los desprendimientos de tierra de volúmenes pequeños y superficiales viajan típicamente solo unos cuantos kilómetros desde su fuente, sin embargo las avalanchas de



escombros de gran volumen pueden viajar decenas de kilómetros desde un volcán. Las avalanchas de escombros y desprendimientos de tierra más pequeños destruyen todo a su paso y pueden dejar depósitos de decenas de metros de grosor sobre los pisos de los valles.

En numerosos volcanes alrededor del mundo se han podido encontrar depósitos de las avalanchas de escombros, incluyendo los volcanes en El Salvador. En el volcán San Miguel todavía no se han podido reconocer depósitos de avalanchas de escombros de grandes dimensiones, lo cual sugiere que gran parte del volcán no se ha colapsado catastróficamente. Sin embargo, el volcán de San Miguel es un volcán grande y con pendientes empinadas, por lo que la posibilidad de una futura avalancha de escombros grandes, aunque sea lejana, no debe desestimarse.

Comúnmente, los desprendimientos de tierra y las avalanchas de escombros se transformarán en lahares. Los lahares, como las inundaciones, cubren las planicies de inundación y sumergen las estructuras en las áreas más bajas. Éstos pueden viajar varias decenas de kilómetros a velocidades de decenas de kilómetros por hora. Los lahares pueden destruir o dañar todo lo que encuentran en su trayectoria, enterrándolo o impactándolo. Siguen los valles de los ríos y dejan depósitos de arena lodosa y grava que comúnmente tienen unos cuantos metros de grosor. Son particularmente riesgosos debido a que pueden viajar distancias grandes desde el volcán y afectar los valles de la corriente en donde usualmente son mayores los asentamientos humanos. En algunos casos los lahares pueden obstruir un canal o bloquear un canal tributario y embalsar un lago detrás del bloqueo. Comúnmente, el agua embalsada se derramará sobre el bloqueo



y generará una inundación que se mueve hacia abajo al valle, poniendo en peligro a la gente y sus propiedades. Como las inundaciones, la amplitud de los lahares varía enormemente en sus dimensiones. La recurrencia de los lahares más pequeños es más frecuente (quizás cada pocos años), mientras que la recurrencia de los de mayores dimensiones suceden típicamente en periodos de tiempo del orden de milenios a decenas de milenios. La dimensión de un lahar está controlada tanto por la cantidad de agua como del sedimento flojo o los escombros volcánicos disponibles. Las avalanchas de escombros o erupciones pueden verter de decenas a miles de millones de metros cúbicos de sedimento dentro de los canales y producir lahares de grandes dimensiones. Los desprendimientos de tierra o erupciones de pequeñas dimensiones producen lahares también pequeños.

Los lahares y desprendimientos de tierra pueden causar problemas prolongados después de que ha concluido el evento que les ha formado. Una vez que los lahares y desprendimientos de tierra llenan los canales de la corriente con sedimentos, las corrientes comienzan a erosionar nuevas trayectorias, además los nuevos canales de la corriente pueden ser altamente inestables y se bifurcan rápidamente a medida que el sedimento se erosiona y se mueve más adelante valle abajo.

La bifurcación de la corriente puede provocar una erosión rápida y dramática de la ribera. Además, debido a que los canales de la corriente se encuentran obstruidos con sedimentos, tienen menos capacidad de transportar agua. Como resultado, inundaciones relativamente pequeñas, las cuales podrían haber pasado desapercibidas previamente, pueden representar amenazas potencialmente significativas para la gente que habita en



las áreas bajas. La gente que vive en las áreas bajas a lo largo de los valles del río es más susceptible para estas afectaciones secundarias provenientes de los desprendimientos de tierra y lahares, sin embargo en las tierras más elevadas adyacentes a los canales del río pueden encontrarse amenazados por la erosión de la ribera. Los ejemplos obtenidos de muchos volcanes alrededor de todo el mundo muestran que los efectos del depósito de sedimentos debido a los desprendimientos de tierra y lahares en canales de corriente pueden persistir por varios años e incluso décadas.

Los depósitos de los lahares y los desprendimientos de tierra en el volcán San Miguel se encuentran únicamente de manera local. Además de los depósitos de los lahares iniciados por lluvias que ocurrieron durante los pasados veinte años provenientes de las pendientes cubiertas de tefra sobre el lado oeste del volcán, se encuentran unos cuantos depósitos de lahares prehistóricos en el flanco oeste del volcán, a unos 4 km de la cumbre, y otros están expuestos de manera local en la base del volcán en sus otros flancos. La distribución limitada de los lahares en el Volcán de San Miguel sugiere que las erupciones del volcán no han generado comúnmente desprendimientos de tierra y lahares, no se tienen lahares extensos formados durante los intervalos sin actividad eruptiva. Es más probable que las erupciones hayan cubierto las pendientes del volcán con tefra y las subsecuentes lluvias torrenciales hayan erosionado el sedimento o iniciado pequeños desprendimientos de tierra que se movieron hasta convertirse en lahares.



2.9.2. Futuros lahares y desprendimientos de tierra en el Volcán de San Miguel.

Los desprendimientos de tierra y lahares, iniciados por alguno de los diversos mecanismos, pueden ocurrir sobre cualquier flanco del volcán. Los efectos directos de la mayoría de los desprendimientos de tierra y lahares en San Miguel probablemente se encuentren confinados dentro de unos 10 kilómetros de la cumbre del volcán, aunque en raras ocasiones los lahares de mayores dimensiones pueden viajar aún más. Dichos eventos de grandes dimensiones, involucrando quizás más de 10 millones de metros cúbicos de escombros, tienen una baja probabilidad de presentarse y requerirían una erupción sustancial productora de tefra o una avalancha de escombros que retirase una parte sustancial del volcán. Ambos escenarios requerirían generalmente que el magma emergiese a un nivel elevado dentro del volcán. Cuando el magma se eleva dentro de un volcán se acompaña por una actividad sísmica creciente, una deformación visible del volcán y otros signos que proporcionan señales de advertencia con respecto al comienzo de las condiciones de riesgo.

Es probable que los lahares futuros sean iniciados por la erosión o los desprendimientos de tierra en el manto de tefra que cubre las pendientes del volcán, y probablemente tendrán dimensiones menores a un millón de metros cúbicos (véase la discusión en la sección acerca del mapa para la determinación de las zonas de riesgo por lahar).

Es probable que las futuras erupciones de San Miguel produzcan caídas de tefra menores que sirvan de fuente de nuevos sedimentos para los lahares. En general, es más probable que el lado oeste del volcán se vea afectado por futuros lahares debido a la distribución de tefra. Aunque los vientos predominantes dependen de las estaciones del año, los



vientos del este tienden a dominar, mientras que el grosor de la tefra generalmente aparece con mayores dimensiones sobre el flanco oeste del volcán con respecto al resto de los otros flancos.

Aunque es más probable que los efectos directos de los desprendimientos de tierra y lahares se encuentren confinados dentro de una distancia de 10 kilómetros desde el volcán, los efectos secundarios relacionados con la erosión de sedimentos y el transporte a lo largo de los canales puede afectar áreas lejanas al volcán y pueden permanecer durante varios años. Dichos efectos secundarios involucran la remoción y redistribución del sedimento, la erosión de la ribera, la reducción de la capacidad del canal y el aumento del riesgo de inundaciones en las áreas bajas.

2.9.3. Mapa De Zonas De Riesgo Por Lahar.

Debido a que se conocen muy poco los detalles de la historia eruptiva y de desprendimientos de tierra del Volcán de San Miguel, nos apoyamos en los datos provenientes de los volcanes alrededor del mundo que son similares al de San Miguel para obtener una idea general acerca de los posibles riesgos provenientes de los desprendimientos de tierra y lahares. Este es un método razonable debido a que en muchos volcanes ocurren tipos similares de desprendimientos de tierra y lahares, pero incluso los tipos exactos que ocurren, así como sus dimensiones y frecuencias relativas, variarán entre los diferentes centros volcánicos.

El mapa anexo de las zonas de riesgo por lahar (ANEXO A-1) muestra las áreas que podrían verse afectadas por futuros desprendimientos de tierra y lahares en el Volcán de San Miguel. La ubicación y dimensiones del área afectada dependerán de la localización



de un desprendimiento de tierra o del área de erosión sustancial del flanco, el volumen y carácter del sedimento involucrado, la forma del canal en el cual ocurre el lahar y si el proceso inicial clave fue o no la intrusión magmática. Las áreas potenciales de inundación lahar a lo largo de los canales principales que drenan el volcán de San Miguel se dividen en zonas anidadas sobre la base del tamaño de lahar y de su grado relativo de riesgo. Aunque se muestran límites fijos para las zonas de riesgo por lahar, la frontera de las zonas de riesgo no cambia o termina repentinamente en estos límites. Más bien, el riesgo disminuye gradualmente a medida que aumenta la distancia al volcán y disminuye rápidamente a medida que aumenta la elevación sobre los pisos del canal.

Las áreas inmediatamente fuera de las zonas de riesgo no deben considerarse como libres de riesgo, debido a que los límites de riesgo por lahar sólo pueden ubicarse de manera aproximada, especialmente en áreas de relieves bajos. La incertidumbre existente con respecto a la fuente, dimensiones y movilidad de los futuros lahares impide la ubicación precisa de los límites para las zonas sin riesgo.

El mapa de riesgo que se anexa en este Trabajo de Graduación no muestra todas las áreas sujetas a los riesgos de desprendimientos de tierra y lahares provenientes del Volcán de San Miguel. Se han definido zonas de inundación a partir de lahares de varios volúmenes para los canales más importantes que se dirigen directamente a las áreas pobladas.

En general, las zonas de riesgo de lahar se encuentran dentro de los 10 kilómetros alrededor del cráter de la cumbre. La topografía local juega un papel preponderante en el control del recorrido del lahar. Aunque un desprendimiento de tierra o lahar, se origina y



fluye a lo largo de drenados profundamente cortados sobre los flancos del volcán, estos canales se hacen menos profundos de manera abrupta y la topografía se aplana cerca de la base del edificio. Como resultado, los lahares se derraman rápidamente fuera de los canales, se dispersan y se detienen. Las zonas de riesgo más distantes están asociadas con los canales con incisiones más profundas en los cuales los lahares permanecen confinados. A pesar de que sus distancias de recorrido son relativamente cortas, incluso los lahares más pequeños pueden causar fatalidades y daños a la infraestructura. Aunque la mayor parte de las comunidades cercanas al volcán se localizan a 10 kilómetros o más de la cumbre del volcán, existen comunidades más pequeñas, plantaciones de café e importantes rutas de comunicación y transporte sobre los flancos más bajos del volcán ubicados dentro de los 10 kilómetros desde la cumbre del volcán. Las zonas de riesgo de incluso los lahares más pequeños se extienden sobre áreas con asentamientos humanos actuales o tierras utilizadas para la agricultura.

2.9.4. Advertencias y Pronósticos De Riesgo Por Lahar.

Es muy difícil, sino es que imposible, predecir la ocurrencia precisa de los desprendimientos de tierra y lahares iniciados por temblores o lluvias torrenciales. Sin embargo, generalmente pueden reconocerse las condiciones de riesgo que favorecen la formación de los desprendimientos de tierra y lahares. Las predicciones para las lluvias torrenciales, que comúnmente dan inicio a las advertencias de inundación, pueden servir como indicadores de condiciones favorables para los desprendimientos de tierra y lahares. Cuando el volcán San Miguel haga erupción de nuevo, es probable que se dispersen caídas de tefra sobre sus flancos. La erosión posterior de dicha tefra puede



generar lahares similares a los que ocurrieron en los pasados 20 años. En este caso, la erupción del volcán puede servir como una advertencia acerca de que las condiciones son favorables para la formación de un lahar y la distribución de la caída de tefra puede indicar cuáles flancos es más probable que se vean afectados. En el caso raro de que una avalancha de escombros de grandes dimensiones sea iniciada por la intrusión de magma dentro del volcán, la deformación del volcán servirá como una señal de advertencia de que las condiciones son riesgosas. Sin embargo, los funcionarios gubernamentales y el público necesitan estar consientes de que pueden ocurrir eventos potencialmente letales en las zonas de riesgo por lahar con pocas o ninguna señal de advertencia.

2.9.5. Protección a Las Comunidades y Ciudadanos En Contra De Los Riesgos De Lahar.

Las comunidades y ciudadanos deben efectuar planes que vayan más allá de mitigar los efectos de futuros desprendimientos de tierra y lahares provenientes del volcán Chaparrastique. Los esfuerzos de mitigación a largo plazo deben incluir el uso de información acerca de los riesgos de los lahares y otros riesgos del volcán (Chesner⁷, 2000) cuando se toman decisiones con respecto al uso del suelo y el establecimiento y desarrollo de los servicios críticos. Los desarrollos futuros deben evitar las áreas que se juzgue que tengan un riesgo altamente inaceptable o deberán planearse y diseñarse para reducir dicho nivel de riesgo.

Dependiendo de la distancia al volcán, las zonas de riesgo descritas en el mapa son áreas que se verán afectadas de unos cuantos minutos a una hora después del comienzo de un

⁷ C.A. Chesner, and M.M. Howell



lahar. Más allá de 10 kilómetros de la cumbre del volcán, el escape podría ser posible si la gente recibe las alarmas suficientes. Dentro de los 10 kilómetros alrededor del volcán los lahares se producen demasiado rápido como para poder brindar señales de alarma efectivas. Por ello, los ciudadanos deben aprender a reconocer por sí mismos las condiciones de riesgo que favorecen la formación de desprendimientos de tierra y lahares.

Debido a que los desprendimientos de tierra pueden ocurrir sin señales de advertencia, se deberán establecer por adelantado planes de emergencia adecuados para enfrentarlos. Aunque es incierto cuándo ocurrirán de nuevo los desprendimientos de tierra y lahares en el volcán de San Miguel, los funcionarios públicos están sujetos a la ley para poder determinar los derechos y deberes de las personas como así también determinar las alertas tempranas conforme a la ley (ver Anexo A-5). Los planes de emergencia ya desarrollados para las inundaciones pueden aplicarse en alguna medida, pero podrían necesitar modificaciones. Para las poblaciones en las áreas bajas también es útil un mapa que muestre la ruta más corta hacia las zonas más elevadas.

El conocimiento y la planeación por adelantado son los aspectos más importantes para enfrentar los riesgos de desprendimientos de tierra y lahares. Es especialmente importante contar con un plan de acción basado en el conocimiento de las áreas relativamente seguras alrededor de los hogares, escuelas y sitios de trabajo. Los lahares son la mayor amenaza para la gente que vive o se recrea a lo largo de los canales que drenan al volcán San Miguel. La mejor estrategia para evitar un lahar es moverse a las zonas más elevadas posibles. Una altura segura por encima de los canales de un río



depende de muchos factores entre los que se incluyen el tamaño del lahar, la distancia desde el volcán y la forma del valle. Para las áreas alejadas a más de 8 kilómetros de la cumbre del volcán, todos los lahares, salvo los de mayores dimensiones, se elevarán a menos de 10 metros por encima del nivel del río. Los lahares y desprendimientos de tierra del volcán San Miguel ocurrirán de nuevo y la mejor manera de enfrentar estos eventos es a través de una planeación por adelantado con la finalidad de mitigar sus efectos.

2.10. PROCESOS EROSIVOS.

Dentro del ambiente exógeno, uno de los procesos más importantes que tienen lugar, debido a la dinámica superficial del planeta, es la erosión, es decir, el desgaste físico y químico que sufren las rocas bajo la acción de los agentes atmosféricos. Asociado a este proceso está el de transporte de los productos de la erosión (fragmentos de rocas, minerales, sales) por los mismos agentes que producen los fenómenos de erosión: el agua, el viento.

Los procesos erosivos tienen lugar como consecuencia de tres grupos de fenómenos:

1. Los de carácter físico, ligados a cambios de temperatura, o de estado físico del agua (cristalización de hielo en grietas),
2. Los de tipo químico (disolución de minerales, hidrólisis de éstos, cristalización de sales)
3. Los de tipo biológico (acción de determinados microorganismos, como las bacterias, líquenes, o de las raíces de plantas).



Como resultado, las rocas de la superficie terrestre, formadas en determinadas condiciones de presión y temperatura, al quedar sometidas a otras muy diferentes reaccionan con el entorno, lo que induce a un desequilibrio. Esto da lugar a su fragmentación y a la salida de determinados componentes químicos, desde su casi totalidad (si se produce su disolución), a la lixiviación o lavado de determinados componentes, que deja un residuo insoluble enriquecido en determinados elementos o compuestos.

Ilustración 2. 24: Erosión lateral en cauces de dinámica fluvial.



Fuente: 4.bp.blogspot.com/.../s320/erosión+fluvial.jpg



2.11. PRECIPITACIONES Y CONDICIONES CLIMÁTICAS.

El desencadenamiento de los movimientos de ladera por causas meteorológicas y climáticas está relacionado fundamentalmente con el volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones y con el régimen climático. En consecuencia, debe considerarse la respuesta del terreno a precipitaciones intensas durante horas (tormentas) o días, y la respuesta estacional (épocas secas y lluviosas a lo largo del año) o plurianual (ciclos húmedos y de sequía).

El agua en el terreno da lugar a presiones que alteran los estados tensionales, por presiones intersticiales y aumento del peso, a procesos de erosión interna y externa y a cambios mineralógicos, aspectos todos ellos modifican las propiedades y la resistencia a de los materiales, sobre todo en los suelos.

Son varios los factores que determinan el clima de El Salvador. Por estar situado en la latitud $13^{\circ} 9' N$ se ubica dentro del cinturón tropical donde se producen pocas variaciones en la duración del día y está más expuesto a la radiación solar. Los aspectos orográficos juegan un papel importante en las corrientes atmosféricas, exponiendo el territorio a sotaventos de los alisios del NE, razón por la cual se manifiesta una disminución de las lluvias y una sequía más severa en la estación seca, en comparación con los países situados en la vertiente del Atlántico. Los frentes fríos del Polo Norte manifiestos por vientos se desplazan hasta Centroamérica, lo cual lo hace muy particular pues no se da en otras regiones tropicales. El acercamiento de la Alta del Atlántico de julio-agosto, provoca una disminución de las lluvias, llegando a condiciones de sequía en algunas partes del país y que se conoce como canícula (Guevara, 1985).



2.12. INVESTIGACIÓN DE CAMPO Y PRUEBAS DE LABORATORIO.

A través de una serie de técnicas de investigación y ensayo intenta definir con precisión los distintos parámetros que rigen el comportamiento de las rocas y suelos.

2.12.1. Obtención de muestra en el campo

Para determinar las propiedades de un suelo en laboratorio es preciso contar con muestras representativas de dicho suelo. Un muestreo adecuado y representativo es de primordial importancia.

Las muestras se pueden determinar cómo muestras alteradas y muestras inalteradas.

2.12.1.1. Prueba a cielo abierto.

Es necesario registrar la ubicación y elevación de cada pozo, los que son numerados según la ubicación. La sección mínima recomendada es de 0,80 m por 1,00 m, a fin de permitir una adecuada inspección de las paredes (ilustración 2.25). En cada calicata se deberá realizar una descripción visual o registro de estratigrafía comprometida.

Si bien es cierto aunque permite la observación de las variaciones litológicas, estructura, discontinuidades y la toma de muestras de gran tamaño cuenta con las siguientes limitaciones: La profundidad no suele exceder los 4 m, la presencia de agua limita su utilidad.



Ilustración 2. 25: Bloque de suelo para muestra inalterada.



Fuente: www.ldh-geotecnia.com/GaleriaFotos.htm

2.12.1.2. Sondeos mecánicos.

Este método de exploración debe usarse en aquellos casos en que el reconocimiento del perfil estratigráfico necesario que se deberá estudiar, no pueda ser realizado mediante calicatas, ya sea porque se requiere reconocer el perfil en una profundidad importante, o bien por presencia de agua.

Los suelos finos, exentos de gravas, pueden ser bien estudiados mediante sondajes. La información que puede obtenerse de sondajes efectuados en suelos con gravas es generalmente incompleta y deficiente, pero en determinados casos resulta ser la única posible de realizar.

Se realizan mediante sondas montadas sobre vehículos o de forma autónoma.

Generalmente los sondeos se dividen en dos grupos: percusión y rotación, según el procedimiento utilizado en la perforación.

Los sondeos permiten el conocimiento del terreno a lo largo de su profundidad –caso de testificación continua-, la posibilidad de tomar muestras a diferentes profundidades para



determinar sus características en ensayos posteriores e incluso realizar otro tipo de ensayos en el interior de la perforación.

La toma de muestra en el interior del sondeo puede realizarse en roca o en material tipo suelo. Cuando se toman muestras de roca deben tratarse con parafina para que conserven íntegras las propiedades de su estado natural o al menos no difieren cualitativamente en sus propiedades.

Si el material es de tipo suelo se emplean aparatos adecuados a las características del mismo, introduciéndolos en el interior del sondeo. Se denominan tomamuestras y existen diversos tipos. Normalmente se emplean tubos tomamuestras, que permiten la obtención de muestras inalteradas del suelo. Estas no tienen carácter inalterado en sentido estricto, ya que el procedimiento de obtención modifica sustancialmente las propiedades intrínsecas del suelo.

2.12.2. Pruebas De Laboratorio

Con las pruebas de laboratorio se obtendrán las propiedades y características de los suelos en estudios y estas pruebas se manifestaran a continuación.

2.12.2.1. Examen petrográfico de agregados. (A.S.T.M. C-295)

Los procedimientos que se siguen en el análisis petrográfico de agregados dependen del uso que se le quiera dar a dicho agregado. En ocasiones la petrografía no basta para hacer el estudio y es necesario completarlo con procedimientos como difracción de rayos X. Este permite clasificaciones más seguras de minerales poco comunes y arcillas.



La determinación de constituyentes no es el fin último del análisis petrográfico, pero sí permite efectuar muchas conclusiones importantes a nivel práctico.

Lo más importante es determinar si hay componentes que puedan afectar el comportamiento de un agregado en una aplicación específica, como por ejemplo, determinar y cuantificar los componentes reactivos potenciales de álcalis-sílice y álcali-carbonato y recomendar ensayos que confirmen o no la reacción.

2.12.2.2. Determinación Del Contenido De Humedad Del Agregado Por Secado. (A.S.T.M. C-566)

En los agregados existen poros, los cuales encuentran en la intemperie y pueden estar llenos con agua, estos poseen un grado de humedad, el cual es de gran importancia ya que con él podríamos saber si nos aporta agua a la mezcla.

El contenido de humedad en los agregados se puede calcular mediante la utilización de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W_{sw} - W_{ss}}{W_{ss}} \times 100$$

W_{sw} : peso de la muestra húmeda

W_{ss} : peso de la muestra seca



2.12.2.3. Determinación De Impurezas Orgánicas En El Agregado Fino Para El Concreto. (A.S.T.M C 40)

Las impurezas orgánicas son materiales de tipo orgánico, principalmente ácido tánico, que se encuentra a veces en el agregado fino. El material orgánico, inhibe el endurecimiento de la pasta de cemento Pórtland y es así que debe limitarse en el agregado fino a usarse en la elaboración de concreto.

Referencia: A.S.T.M C – 40 “Impurezas Orgánicas en Arenas para Concreto”

Tabla 2. 3: Límites máximos de sustancias nocivas o contaminantes.

| CONCEPTO | % MÁXIMO EN PESO | |
|---|------------------|-------|
| | ARENA | GRAVA |
| Carbón y lignito | | |
| Concretos aparentes | 0.5 | 0.5 |
| Otros concretos | 1.0 | 1.0 |
| Grumos de arcilla y partículas desmenuzables | 3.0 | 5.0 |
| Contenido de finos en prueba de sedimentación | 3.0 | - |
| Perdida por abrasión | - | 50.0 |
| Retención parcial en cualquier criba no debe ser mayor de | 45.0 | 45.0 |

Fuente: American Society for Testing Materials

Es recomendable hacer ensayos comparativos cuando no se han obtenido resultados satisfactorios, con el fin de comparar los efectos de la materia orgánica en la arena. (Esto sería en los casos que no se disponga de otro material en el lugar)



2.12.2.4. Granulometría De Los Agregados Para Concreto (A.S.T.M C-136).

La granulometría es la distribución del tamaño de las partículas de los agregados, donde la graduación de los mismos se define a partir de curvas granulométricas, que junto con el módulo de finura determinan las características granulométricas de los mismos.

La norma ASTM C-33 nos muestra los requisitos de granulometrías para agregados finos (ver tabla 2.4) y agregados gruesos (ver tabla 2.5), la que establece el máximo y mínimo es decir, la zona donde debe estar contenido el diagrama granulométrico para que el material sea aceptable para ser utilizado en la elaboración de concreto.

De la granulometría de agregado grueso se puede obtener el tamaño máximo del agregado, el que se define según la norma ASTM C 125 y el ACI 116 como el menor tamaño de malla por el cual todo agregado debe de pasar, este término se debe de diferenciar de el tamaño máximo nominal, el que se define como el menor tamaño de malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del tamaño del agregado.

Comúnmente la granulometría de la arena suele identificarse por su Módulo de Finura, la que es definida por la norma ASTM C 125 como la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices que van del N°4 al N°100, dividido entre 100, un módulo de finura menor a 2.2 es un indicativo de una arena demasiado fina y mayor a 3.1 como una arena demasiado gruesa para usarse en el concreto. La tabla 2.6 muestra una clasificación de la arena dependiendo de su modulo de finura.



Normas:

- ASTM C-33 “Especificaciones de agregados para concreto”.
- ASTM C-136 “Análisis granulométrico de agregado fino y grueso”
- ASTM D-75 “Muestreo de agregados”
- ASTM C-702 “Reducción de las muestras de campo para ensayos de laboratorio.”
- ASTM C- 125 “Cálculo del módulo de finura.”

CÁLCULOS:

1. Se sumará la cantidad de material retenida en cada malla, lo que nos permitirá detectar cualquier pérdida durante el proceso de tamizado, si se tiene una pérdida de más de 0.5%, con respecto al inicial se considera que el ensayo no es satisfactorio, si es menor se considera válido y se procederá a compensar sumando o restando la diferencia entre el peso total de la muestra antes del tamizado y el peso total de la muestra después del tamizado, al mayor peso retenido, con el fin de obtener el peso inicial de la muestra.
2. Calcular los porcentajes de material retenido en cada tamiz, dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos entre el peso total seco.

Para realizar estos cálculos, se proporcionan las tablas 2.4 y 2.5, tanto para arenas y gravas respectivamente.
3. Con los porcentajes retenidos parciales, calcular los porcentajes retenidos acumulados y los porcentajes pasando.



4. Trazar la curva granulométrica del material en una gráfica que tiene por abscisa en la escala logarítmica la abertura de las mallas y por ordenadas los % de material que pasan por dichas mallas, a escala natural.
5. El paso anterior se hará tanto para las arenas como para las gravas, utilizando las graficas 4.1 y 4.2 respectivamente.
6. Con referencia al paso número 4, graficar los rangos que establecen las normas en su correspondiente figura, tanto para arenas como para gravas; verificando de esta forma si cae la granulometría dentro del rango que corresponde.
7. Calcular el modulo de finura; para las arenas.

$$M. F = \frac{\% \text{ acumulado retenido desde la malla } N^{\circ} 4 \text{ a } N^{\circ} 100}{100}$$

Tabla 2. 4: Requisitos De Granulometría Para Agregado Fino

| Tamaño de la malla | Porcentaje que pasa en peso |
|--------------------|-----------------------------|
| 9.52mm. (3/8) | 100 |
| 4.75mm.(N°4) | 95 a 100 |
| 2.36mm.(N°8) | 80 a 100 |
| 1.18mm.(N°16) | 50 a 85 |
| 0.60mm.(N°30) | 25 a 60 |
| 0.30mm.(N°50) | 10 a 30 |
| 0.15mm.(N°100) | 2 a 10 |

Fuente: American Society for Testing Materials



Tabla 2. 5: Requisitos De Granulometría Para Agregado Grueso.

| Granulometrías Recomendadas Para Agregados Gruesos. | | | | | | | |
|--|-------------|-------------------------------|-----------|-----------|----------|------------------------------|--------|
| Tamices | | Granulometría Completa | | | | Granulometría Parcial | |
| NCh | ASTM | 50-5 | 40-5 | 25-5 | 20-5 | 50-25 | 40-20 |
| | | 2"- No 4 | 1½ - No 4 | 1" - No 4 | ¾ - No 4 | 2"- 1" | 1½"-¾" |
| 63 | 2½" | 100 | | | | 100 | |
| 50 | 2 | 90-100 | 100 | | | 90-100 | 100 |
| 40 | 1½" | | 90-100 | 100 | | 33-70 | 90-100 |
| 25 | 1" | 35-70 | | 90-100 | 100 | 0-15 | 20-55 |
| 20 | ¾" | | 35-70 | | 90-100 | | 0-15 |
| 12.5 | ½" | 10-30 | | 25-60 | | 0-5 | |
| 10 | ⅜" | | 10-30 | | 20-55 | | 0-5 |
| 5 | #4 | 0-5 | 0-5 | 0-10 | 0-10 | | |
| 2.5 | #8 | | | 0-5 | 0-5 | | |

Fuente: Guía de Laboratorio de Materiales, Universidad Santiago de Chile.

Tabla 2. 6: Modulo de Finura de la Arena.

| Modulo de finura | Clasificación |
|-------------------------|----------------------|
| Menor que 2.0 | Muy Fina |
| 2.0- 2.3 | Fina |
| 2.3- 2.6 | Media Fina |
| 2.6- 2.9 | Media |
| 2.9- 3.2 | Media Gruesa |
| 3.2- 3.5 | Gruesa |
| Mayor que 3.5 | Muy gruesa |

Fuente: American Society for Testing Materials



2.12.2.5. Gravedad Específica y Absorción De Los Agregados. (A.S.T.M. C- 127, C-128, C-566)

La gravedad específica de los agregados es la relación del peso del agregado al peso de un volumen igual de agua, considerando que en el agregado todos los vacíos permeables están llenos de agua pero sin agua superficial. La gravedad específica del agregado es útil en cálculos, particularmente aquellos para convertir el peso de las partículas irregulares en forma a volumen saturado superficie seca o a volumen sólido. Hay dos clases de gravedad específica empleada con los agregados: gravedad específica en masa bruta, que depende del volumen saturado superficie seca donde los poros de las partículas se consideran como parte del volumen, la gravedad específica aparente, que depende del volumen sólido; ambas dependen del peso seco en horno y ambas se calculan como el peso unitario de las partículas de agregados dividido peso el unitario del agua.

Su determinación se puede realizar de varios métodos:

Agregados Grueso:

- ☐ Método del Sifón.
- ☐ Método del Picnómetro.
- ☐ Método de la canastilla.

Agregado fino:

- ☐ Método del Picnómetro.



Método de Le Chatellier.

Método de Matrices.

Referencias:

A.S.T.M. C-127 Absorción de la grava

A.S.T.M. C-128 Absorción de la arena

A.S.T.M. C- 566 Contenido de humedad

El porcentaje de absorción de la arena y grava por medio de la ecuación.

$$\% = \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \times 100$$

1. Método de la canastilla:

a) Gravedad específica en masa (basado en el agregado seco)

$$G_s = \frac{W_s}{W_{sss} - W_{sum}}$$

b) Gravedad específica en masa (basada en el agregado saturado superficialmente seco)

$$G_s = \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sum}}$$

c) Gravedad física aparente $G_s = \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sum}}$



Método de matraces

- a) Determinar la gravedad específica aplicando un factor de corrección por temperatura como sigue:

$$G_s = (W_s / (W_{fa} + W_s - W_{fam})) * \alpha$$

Donde:

W_{sss} = Peso de la arena en condición de saturada superficialmente seca.

W_{fa} = Peso del matraz+agua a la temperatura del ensayo (tomándolo de la carta de calibración del matraz)

W_{fam} = Peso del matraz+agua+muestra a la temperatura del ensayo.

α = Factor de corrección por temperatura.

Tabla 2. 7: Factor De Corrección α Para Diferentes Temperaturas.

| Temperatura en °C | Densidad del agua en gr/cm ³ | Factor de corrección α |
|-------------------|---|-------------------------------|
| 20 | 0.99823 | 1.000 |
| 21 | 0.99802 | 0.9998 |
| 22 | 0.99780 | 0.9996 |
| 23 | 0.99757 | 0.9993 |
| 24 | 0.99732 | 0.9991 |
| 25 | 0.99707 | 0.9989 |
| 26 | 0.99681 | 0.9986 |
| 27 | 0.99354 | 0.9983 |
| 28 | 0.99626 | 0.9980 |
| 29 | 0.99597 | 0.9977 |

Fuente: American Society for Testing Materials



Gravedad específica de la arena por el Método del Picnómetro

Calcular la gravedad específica:

$$G_s = \frac{W_{sss}}{W_{fa} + W_{sss} - W_{faa}}$$

Donde:

W_{sss} = Peso de la arena en condición de saturada superficialmente seca.

W_{fa} = Peso del picnómetro + agua a la temperatura.

W_{faa} = Peso del picnómetro + agua + arena.

2.12.2.6. Coeficiente De Forma.

Este ensayo tiene por objeto calcular el coeficiente de forma de las partículas gruesas.

Consiste en clasificar las partículas de una muestra de suelo según la relación entre sus dimensiones máxima y mínima, empleando un pie de rey si es necesario.

Este ensayo se aplica a los suelos de origen natural, artificial y a los suelos ligeros de fracciones granulométricas d_i/D_i con $D_i \leq 63$ mm y $d_i \geq 4$ mm.

Tabla 2. 8: Tamaño de Agregados.

| Tamaño Máximo D (mm) | Masa Mínima de Muestra (kg) |
|----------------------|-----------------------------|
| 63 | 45 |
| 32 | 6 |
| 16 | 1 |
| 8 | 0.1 |

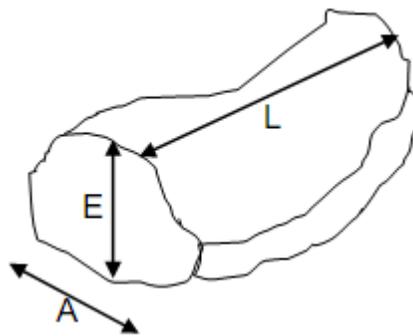
Fuente: Guía de Laboratorio de Materiales, Universidad Santiago de Chile.



Existen recomendaciones francesas que emplean las proporciones entre las aristas de una piedra. Recomiendan el uso de áridos similares a la esfera o, por lo menos, próximos a cubo. Estas exigencias se pueden aproximar a la desigualdad:

$$L + A \geq 6E$$

Ilustración 2. 26: Coeficiente de forma.



Fuente: Guía de Laboratorio de Materiales, Universidad Santiago de Chile.

El CV medio para gravas de densidad real normal consiste en calcular la suma de volúmenes reales de las partículas que constituyen un árido y la suma de los volúmenes de las esferas que inscriben las partículas del árido. Estas se relacionan y se determina el CVM.

Procedimiento:

- ✓ Se determina y registra el tamaño máximo absoluto del árido (T_a).
- ✓ Se reduce por cuarteo el material retenido en N° 4 a las cantidades que especifica la norma.



- ✓ Se acondiciona la muestra al estado SSS de acuerdo a la norma NCh 1511⁸.
- ✓ Se coloca en una probeta graduada un volumen de agua que la deje totalmente sumergida.
- ✓ Se registra el volumen como V1.
- ✓ Se sumerge la muestra en el agua de la probeta, se agita para eliminar burbujas de aire.
- ✓ Se registra este volumen como V2.
- ✓ Se determina el volumen de agua desplazada V

$$V = V_2 - V_1$$

- ✓ Se miden con el pie de metro la mayor dimensión de cada partícula (Ni) y se registra.
- ✓ Se calcula y se registra la sumatoria del cubo de Ni:

$$\sum Ni^3 = N_1^3 + N_2^3 + N_3^3 + \dots + N_n^3$$

- ✓ Se calcula el CVM de

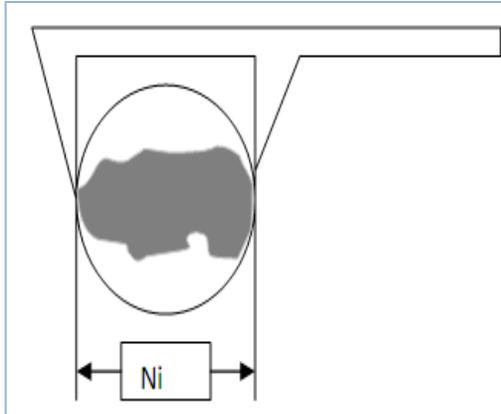
acuerdo a:

$$\left\langle CV = \frac{6 \cdot V}{\pi \cdot \sum Ni^3} \right\rangle$$

⁸ Norma Chilena



Ilustración 2. 27: Agregado medido con pie de rey.



Fuente: Guía de Laboratorio de Materiales, Universidad Santiago de Chile.

Se recomienda en gravilla usar $CV > 0,15$

Para hormigón armado impermeable usar $CV > 0,20$

Para hormigones en masa $CV \approx 0,12 - 0,15$

Una grava de río puede tener un valor sobre 0,40.

2.12.2.7. Desgaste Del Agregado Grueso Por Abrasión e Impacto En La Maquina De Los Ángeles. (A.S.T. M. C 131)

La resistencia al desgaste se usa con frecuencia como un indicador de la calidad del agregado.

El ensayo los ángeles ha sido usado extensamente como un indicador de la calidad relativa o competencia de varias fuentes de agregados teniendo una composición mineral similar. Los resultados no permiten automáticamente una comparación válida para ser hecha entre fuentes distintas o diferentes en origen, composición o estructura. Los



límites de la especificación basada en este ensayo pueden ser asignados con extremo cuidado en consideraciones del tipo de agregados disponibles y la historia de sus desempeños en usos específicos.

CÁLCULOS:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{W_{\text{inicial}} - W_{\text{final}}}{W_{\text{inicial}}}$$

Donde:

W_{inicial} : Peso inicial.

W_{final} : Peso final después de la prueba.

Nota: Para que el agregado pase el ensayo es necesario que el porcentaje de desgaste sea menor el 50 %.

Tabla 2. 9: Graduación De La Muestra De Ensayo.

| TAMAÑO DE LA MALLA | | PESOS DE LOS TAMAÑOS INDICADOS | | | |
|---------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Pasa | Retenido | A | B | C | D |
| 1 ½" | 1 " | 1250 ± 25 | | | |
| 1 " | ¾" | 1250 ± 25 | | | |
| ¾" | ½" | 1250 ± 10 | 2500 ± 10 | | |
| ½" | 3/8" | 1250 ± 10 | 2500 ± 10 | | |
| 3/8" | ¼" | | | 2500 ± 10 | |
| ¼" | No.4" | | | 2500 ± 10 | |
| No.4" | No.8 | | | | 5000 ± 10 |
| TOTAL | | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 |

Fuente: American Society for Testing Materials



Tabla 2. 10: Carga Abrasiva

| GRANULOMETRIA | No. DE ESFERAS | PESO DE LA CARGA EN GRS. |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| A | 12 | 5000 ± 25 |
| B | 11 | 4584 ± 25 |
| C | 8 | 3330 ± 20 |
| D | 6 | 2500 ± 15 |

Fuente: American Society for Testing Materials

Capítulo 3

*Descripción del Cantón
El Volcán, Caserío Los
Carretos jurisdicción
de San Miguel.*

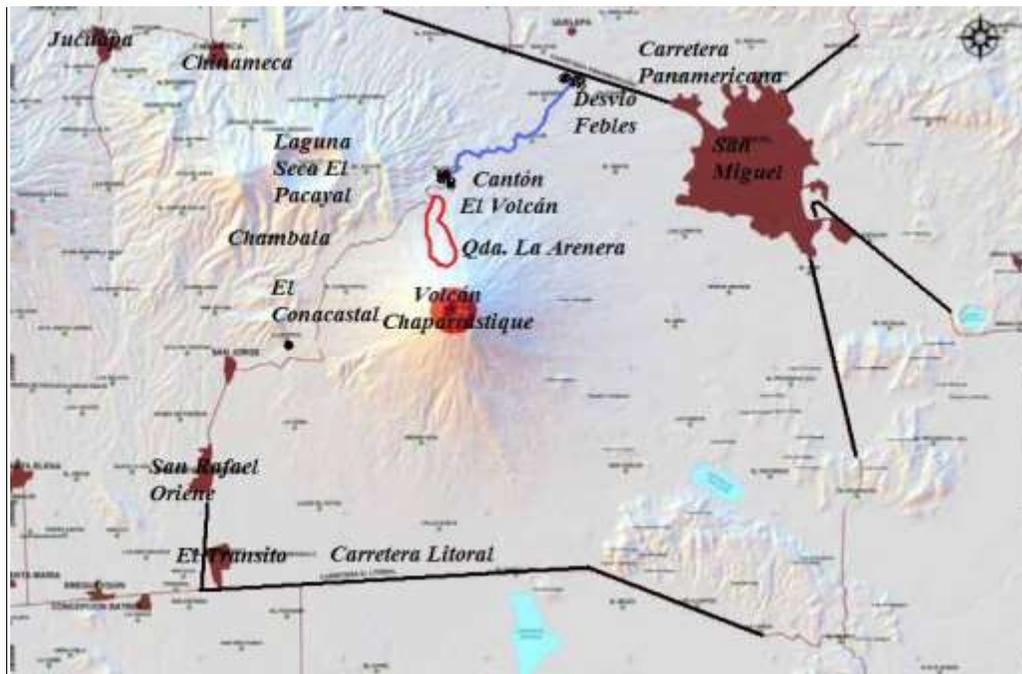


3.1. MARCO GEOGRÁFICO, POLÍTICO-ADMINISTRATIVA Y SOCIO-ECONÓMICO.

3.1.1. Contexto Geográfico

El cantón El Volcán está ubicado en el municipio de San Miguel, al norte del volcán Chaparrastique o Volcán San Miguel, colinda al poniente con el Cantón El Conacastal del municipio de Chinameca con el cual los habitantes del cantón tienen mayor relación, al oriente con el cantón Las Lomitas y El Amate, al sur con el Cantón de San Andrés y el Municipio de Moncagua, el Municipio Chinameca y el Municipio de Quelepa.

Ilustración 3. 1: Ubicación Geográfica del Cantón El Volcán.



Fuente: Mapa de Escenarios de Amenaza del Volcán de San Miguel.

El cantón se extiende entre las cotas topográficas 530 y 2.130 metros, en la parte más alta del volcán. La parte alta del cantón tiene pendientes superiores al 70%, ya que se



trata de la parte suimital del volcán de San Miguel, mientras que la parte más baja tiene pendientes entre el 15 y el 30%. El substrato es constituido por una alternancia de materiales volcánicos granulares (arena o piro clastos) y masivos (coladas de lava), por lo que constituye una zona de recarga acuífera.

El cantón es atravesado por distintas quebradas que tienen su nacimiento en la parte alta del volcán y que canalizan el agua no infiltrada, en el período de lluvias. La más activa y problemática es la quebrada de La Arenera que discurre entre la ladera norte del volcán de San Miguel y la ladera de la Laguna Seca del Pacayal.

Ilustración 3. 2: Ubicación de Quebrada La Arenera.



Fuente: Centro Nacional de Registros.

Las laderas del volcán de San Miguel y de la Laguna Seca del Pacayal están ocupadas por grandes fincas de café de sombra. Una gran parte de la población trabaja como jornaleros en estas fincas, aunque también se desarrolla agricultura de subsistencia.



Por su ubicación geográfica, la población de este cantón se encuentra en riesgo por amenaza volcánica y también por amenaza sísmica. Sin embargo el riesgo más recurrente es la formación de avalanchas (lahares) en la época lluviosa, que se canalizan por las quebradas mencionadas y que pueden desbordarse en la parte más baja, soterrando parte de los caseríos del sector.

Por otra parte, la alta dependencia del café, pone en riesgo a la población de amenaza por incendios y también por sequías severas.

3.1.2. División político-administrativa.

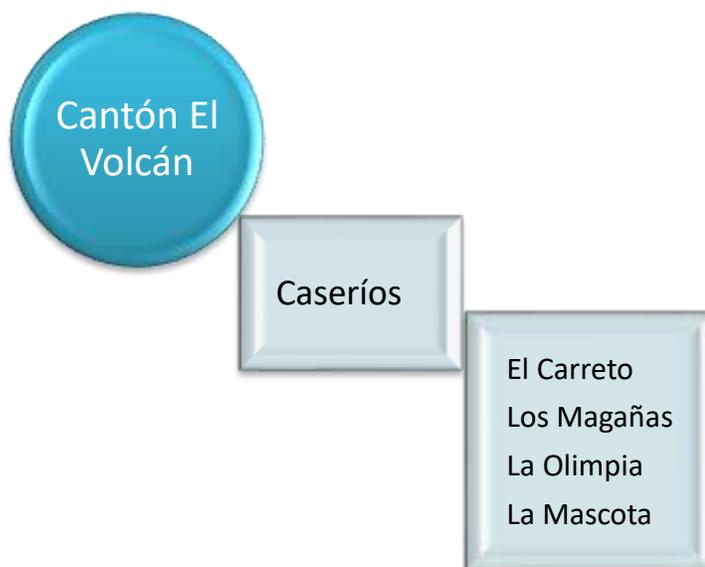
El territorio que comprende La República de El Salvador se ubica sobre el litoral del océano Pacífico de América Central con una extensión actual de 20.749 km². Limita al norte y al oeste con Guatemala, al norte y al este con Honduras, y al sur con el Océano Pacífico.

El país está dividido político-administrativamente en 14 departamentos, con una población estimada de 7 mill de habitantes (2,5mill residiendo en el extranjero), siendo el país de mayor densidad de población de Centroamérica (280habitantes/km²).

El Cantón El Volcán se ubica en el departamento de San Miguel a 133 kms de la capital.

El departamento de San Miguel, con una extensión de 2,077.1 km², limita al Norte con la República de Honduras; al Este con los departamentos de Morazán y La Unión; al Oeste con los departamentos de Cabañas y Usulután; y al Sur con el océano Pacífico.

El departamento de San Miguel se divide en 20 municipios, a su vez el municipio de San Miguel se divide en 32 cantones y 114 caseríos.



Distribución de la población

De acuerdo al censo realizado por las comunidades durante el mes de julio y los datos recopilados por los promotores de salud del sector se obtuvo que la población del cantón es de 5,096 habitantes distribuidos en cuatro caseríos: El Carreto, Los Magaña, La Olimpia y La Mascota.

Tabla 3. 1: Distribución de la población del Cantón El Volcán.

| Caseríos | Niñas* | Niños* | Mujeres | Hombres | Total |
|--------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| El Carreto | 404 | 315 | 690 | 680 | 2089 |
| Los Magañas | 215 | 270 | 320 | 297 | 1102 |
| La Olimpia | 200 | 165 | 325 | 273 | 963 |
| La Mascota | 85 | 145 | 335 | 297 | 862 |
| Total | 904 | 895 | 1,670 | 1,547 | 5,016 |

*Menores de 14 años

Fuente: Casa de salud Cantón El Volcán.



Vías de acceso

Carretera de Placitas, que conduce, de la Carretera Panamericana hacia carretera del Litoral, pasando por las ciudades de San Jorge, San Rafael Oriente y El Transito del Departamento de San Miguel.

Los caseríos de La Cruz, Las Placitas y las Colonias El Carmen y El Progreso se encuentran sobre esta calle. El Caserío La Piedrita se encuentra en la parte interior del cantón y es atravesado por una calle de 3r orden que conecta a la altura de Placitas con la mencionada carretera.

Vivienda y Servicios básicos

Tabla 3. 2: Sistema de viviendas en el Cantón El Volcán.

| Caseríos | Mixto | Bahareque | Champas | Total |
|-------------------|--------------|------------------|----------------|--------------|
| El Carreto | 208 | 215 | 285 | 708 |
| Los Magaña | 147 | 75 | 35 | 257 |
| La Olimpia | 30 | 64 | 20 | 114 |
| La Mascota | 15 | 35 | 25 | 75 |
| Total | 400 | 389 | 365 | 1154 |

Fuente: Casa de salud Cantón El Volcán.

Tabla 3. 3: Tipo de letrinas en el Cantón El Volcán:

| Caseríos | De Fosa | Abonera | De Lavar |
|-------------------|----------------|----------------|-----------------|
| El Carreto | 399 | 0 | 11 |
| Los Magaña | 185 | 0 | 1 |
| La Olimpia | 68 | 0 | 0 |
| La Mascota | 52 | 0 | 0 |
| Total | 704 | 0 | 12 |

Fuente: Casa de salud Cantón El Volcán.



Tabla 3. 4: Recursos de Infraestructura en el Cantón El Volcán.

| Caserío | Infraestructura | Características/Estado |
|--------------------|------------------------------|-------------------------------|
| El Carreto | Iglesias | Buen estado |
| | Centros Escolares (2) | Buen estado |
| | Dispensario medico | Buen estado |
| | Casa Comunal | Buen estado |
| | 2 Tanques de Agua | Buen estado |
| | Canchas de Futbol (2) | Buen estado |
| Los Magañas | Iglesia | Buen estado |
| | Cancha de Futbol(2) | Buen estado |
| La Olimpia | Iglesia | Buen estado |
| | Cancha de Futbol(1) | Buen estado |
| La Mascota | Iglesia | Buen estado |
| | Cancha de Futbol(1) | Buen estado |
| | Centros Escolares (3) | Buen estado |

Fuente: Casa de salud Cantón El Volcán.

Se abastecen de agua a través de tanques de captación de aguas lluvias o la compran a pipas, las cuales la obtienen de pozos en las poblaciones más cercanas. El agua es comprada a un precio promedio de 1.14 dólares por barril.

No poseen sistema de aguas negras ni de aguas servidas.

El cantón tiene servicio de electricidad en casi su totalidad.

Se puede observar que una práctica bastante común en la región es la tala indiscriminada de árboles, lo que potencializa el riesgo de amenazas naturales.



Ilustración 3. 3: Tala de árboles por parte de la población local en las faldas del volcán de San Miguel.



Fuente: Grupo de Tesis.

3.1.3. Situación socioeconómica.

Los riesgos geológicos, tales como sismicidad, inestabilidades gravitatorias o inundaciones, así como contaminación de suelos, del agua superficial y subterránea suponen una amenaza potencial para las personas y los bienes materiales (viviendas e infraestructuras) que viven o se ubican en aquellos lugares con mayor probabilidad de que estos procesos o situaciones ocurran. Si revisamos el concepto de riesgo, hablamos de vulnerabilidad de la población afectada como actor principal, ya que si no existe una población y sus bienes allá donde se dan los procesos que amenazan, el riesgo es nulo. Por este motivo, es fundamental considerar el factor socio-económico en todo estudio, analizando sus características para conocer el grado de vulnerabilidad frente a estos procesos y poder plantear las actuaciones más adecuadas para su tratamiento y protección.

Por otro lado, aunque la problemática asociada a dichos procesos sólo afecte directamente a determinadas áreas o a parte de la población, las consecuencias de los mismos afectan a la totalidad del municipio y de forma general afectación a nivel departamental incluso nacional.



Otro de los factores a tener en cuenta en la evaluación de los riesgos naturales, es el factor antrópico. El hombre interviene de una manera importante en estos procesos, ya que el manejo inadecuado de los recursos constituye un factor agravante o desencadenante de los mismos.

Para contextualizar las diferentes situaciones de riesgo y el manejo de los recursos de los habitantes del Cantón, cabe decir que nos encontramos ante un municipio con muy pocos recursos (media de ingresos por familia no supera los \$125.00), donde la agricultura es la principal fuente de ingresos, o medio de supervivencia, y donde la vivienda es muy vulnerable ante cualquier evento natural, por su ubicación y por su construcción. Otro factor importante es la salud, donde no se cubren las necesidades mínimas de atención. En cuanto a los servicios, comunicaciones, sistema vial y de transporte, podemos decir que se encuentran atendiendo de forma deficitaria.

3.2. CLIMATOLOGÍA.

3.2.1. El clima en El Salvador.

Desde el punto de vista climatológico, El Salvador se encuentra situado en la parte exterior del Cinturón Climático de los Trópicos, caracterizado por tener unas propiedades térmicas casi constantes durante todo el año y dos estaciones muy marcadas, una lluviosa y otra seca. Las precipitaciones se concentran casi exclusivamente durante la estación lluviosa, si bien, dentro de ella pueden aparecer grandes oscilaciones. Sus valores máximos suelen darse unas semanas después del paso del sol por su cenit.



La estación seca se presenta durante los meses de noviembre a abril, con las máximas temperaturas al final de la misma, en el mes de abril, antes del comienzo de la estación lluviosa.

Otra característica del clima en este país son los Alisios, vientos predominantes de rumbo aproximando NE; y los Nortes, que transportan aire frío procedente del Ártico hacia los trópicos. Se puede observar, también, un buen desarrollo del sistema que lleva aire del mar hacia tierra y sus zonas inmediatas.

Con los datos obtenidos a lo largo de más de 50 años se han podido establecer unas fechas promedio para el comienzo y el final de las dos estaciones, así como para los intervalos de transición que hay entre ellas (Tabla 3.5)

Tabla 3. 5: Duración aproximada de las estaciones.

| Época del año | principio | final | Días |
|--------------------------|-----------|--------|------|
| Estación seca | 14-Nov | 19-Abr | 157 |
| Transición seca-lluviosa | 20-Abr | 20-May | 31 |
| Estación lluviosa | 21-May | 16-Oct | 149 |
| Transición lluviosa-seca | 17-Oct | 13-Nov | 28 |

Fuente: Análisis Geológico Ambiental del Municipio de Jucuaran.

3.2.2. Comportamiento de la precipitación en El Salvador.

La lluvia en El Salvador, como característica de los países tropicales, muestra grandes variaciones de un lugar a otro y amplias oscilaciones a través del tiempo.

La actividad lluviosa empieza en el oeste y norte del país y termina en el este. En la segunda mitad de julio y sobre todo en agosto, muchas veces hay una disminución de las lluvias (canículas) que aparentan una segunda estación seca que no puede desarrollarse



completamente. Este fenómeno ocurre en la zona oriental donde por lo general todos los años los agricultores pierden un porcentaje de las cosechas, principalmente de granos básicos.

3.3. GEOLOGÍA.

3.3.1. Marco Geológico Regional.

Geológicamente hablando El Salvador es un país extremadamente joven, una cuarta parte del territorio nacional es de edad pleistocénica, y tres cuartas partes están cubiertas por rocas de edad terciaria, predominando la época pliocénica.

Por eso, las capas de edad cretácica, que cubren aproximadamente un cinco por ciento del territorio salvadoreño no juegan ningún papel importante para la constitución geológica total de la república. Solamente estas últimas capas son de origen sedimentario marino, todas las otras rocas, con pocas excepciones, están originadas por fenómenos volcánicos. De unos lugares muy limitados se conocen además rocas intrusivas que pertenecen casi seguramente a la época miocénica es decir son terciarias.

Los elementos geológicos más importantes de El Salvador son:

✘ Formaciones Sedimentarias.

Existen rocas sedimentarias marinas solamente en el extremo NW cerca de Metapán, donde cubren un área aproximada de 200 km². Se trata de una sucesión litológica que lleva de rocas clásticas por una serie de calizas a otra serie de rocas clásticas. La edad de la serie calcárea está comprobada por medio de fósiles que pertenece al Albiense-Medio.



Fuera de estas series marinas, en el país solamente se conocen rocas sedimentarias lacustres y fluviales que tienen extensiones muy limitadas. Se trata de productos piroclásticos re depositados de menor importancia y algunos depósitos de diatomita y lignito de carácter calcáreo. Estos sedimentos lacustres y fluviales cuentan con intercalaciones de productos piroclásticos, lo que indica que son contemporáneos con la actividad volcánica joven. También se encuentran aluviones a lo largo de los ríos más importantes y en depresiones locales, sobre todo en las planicies costeras de la parte SW y SE donde cubren un área aproximada de 3500 km².

✘ Formaciones Volcánicas.

La mayor parte del territorio nacional está cubierta por rocas de origen volcánico de carácter riolítico hasta basáltico (ver Anexo A-4).

Al Norte de los ríos Lempa y Torola afloran rocas de carácter ácido. Se trata de productos piroclásticos de colores claros los cuales se deben considerar litológicamente como riolitas hasta dacitas. Una gran parte de El Salvador está cubierta por una serie volcánica que consiste en una sucesión que lleva de andesitas a basaltos hasta aglomerados de carácter andesítico; el espesor de esta sucesión es mayor de 1500 m.

Con estos tipos de rocas están formadas algunas regiones como la Sierra Tacuba, Cordillera del Bálsamo, Cordillera Jucuarán-Intipucá y la parte Norte de Santa Ana.

Las hasta aquí descritas formaciones volcánicas siempre se presentan en forma de extensiones considerables, sin que hubiera sido posible reconocer los centros de actividad volcánica que produjeron estas series.



También existen en El Salvador formaciones volcánicas que se deben a volcanismo individual, donde es fácil localizar el centro de actividad. Se distinguen dos zonas volcánicas de este tipo: Una al Sur de las montañas norteñas con una faja de volcanes individuales que atraviesa toda la República. A esta faja pertenecen, por ejemplo, el Volcán de Guazapa y el Volcán Cacahuatique. Éstos se caracterizan por su alto grado de erosión; sus productos efusivos son lavas de carácter predominantemente basáltico y toba de diferente grado de consolidación. La otra zona de volcanes individuales existe más al Sur y corre paralela a la anterior; a esta faja pertenecen más de 50 volcanes, tales como: Laguna Verde, Santa Ana, Izalco, San Salvador, San Vicente, Tecapa, San Miguel y Conchagua; algunos de ellos todavía se encuentran activos. El carácter de las lavas producidas es basáltico y la mayoría de los productos piroclásticos son de carácter dacítico; existen también depresiones volcano-tectónicas, tales como los Lagos de Ilopango y Coatepeque. También se conocen productos piroclásticos de erupciones lineares (fisurales) como los que se encuentran cerca de Zaragoza y Comalapa; el volcanismo Sur es más variado que el de la zona Norte, sin embargo, en ambas zonas el tipo de estructura volcánica predominante es la de estrato-volcanes.

✘ Formaciones Intrusivas.

En las montañas Norteñas, cerca de Metapán y Chalatenango, se conocen rocas intrusivas de carácter granítico- diorítico. Donde éstas últimas están en contacto con las series sedimentarias marinas se nota un metamorfismo de contacto el cual puede ser observado en las capas calcáreas.



Al Sur, desde San Miguel hasta San Isidro, se encuentran afloramientos de carácter muy ácido. Lo característico de estos afloramientos es que corren paralelos a las fajas volcánicas y están conectados a yacimientos metalíferos subvolcánicos que se encuentran bajo las cubiertas basalto-andesíticas.

3.3.1.1. Elementos Estratigráficos.

Un perfil esquemático de la sucesión estratigráfica de El Salvador, desde la superficie hacia el fondo, es los siguientes:

✘ Aluvión (Reciente).

Compuesto por gravas, arenas y arcillas a lo largo de los ríos y en depresiones locales. Depósitos de este material se encuentra en gran escala en las planicies costeras al SW y SE del país.

✘ Estratos de San Salvador (Holoceno hasta Pleistoceno).

Se encuentran en la cadena volcánica joven que atraviesa la parte Sur del país y están compuestos por productos extrusivos de los volcanes individuales. Estos productos son: corrientes de lava, cúpulas de lava, tobas fundidas, tobas, pómez, escoria y cenizas volcánicas, que se encuentran a veces con intercalaciones de sedimentos lacustres. El espesor de los estratos y la sucesión varía de volcán a volcán. También se encuentran suelos fósiles color café y negro.



✘ Estratos de Cuscatlán (Pleistoceno Inferior hasta Plioceno Superior).

Se encuentran en la cadena volcánica vieja que atraviesa la parte Norte del país y están compuestos por productos extrusivos de los volcanes individuales. Estos productos son: corrientes de lava, aglomerados, tobas, escorias y cenizas volcánicas endurecidas y tobas fundidas con intercalaciones de sedimentos lacustres y fluviales. El espesor de los estratos y su sucesión varía de volcán a volcán. También se encuentran suelos fósiles de color rojo de poca profundidad (hasta 4 metros).

✘ Estratos de la Cordillera del Bálsamo (Plioceno).

Compuestos por productos volcánicos en los cuales abundan los aglomerados con intercalaciones de tobas volcánicas endurecidas y corrientes de lava basáltica-andesítica con un espesor aproximado de 500 m. También hay suelos fósiles de color rojo de gran profundidad (hasta 20 m). Además se encuentran rocas extrusivas con pocas intercalaciones de tobas volcánicos y aglomerados; la parte inferior es de carácter andesítico y en la parte superior, basáltico. Hay algunos afloramientos más ácidos (hasta riolíticos) sobre todo en el E del país. El espesor aproximado de estos últimos es mayor de 1000 m.

✘ Estratos de Chalatenango (Mioceno Superior).

Son rocas volcánicas ácidas de carácter riolítico-dacítico; prevalecen las tobas muy endurecidas de colores claros; el espesor de esta serie es aproximadamente mayor de 500 m.



✘ Estratos de Morazán (Mioceno).

Compuestos por rocas extrusivas, básicas intermedias; ácidas, piroclásticas, tobas fundidas, riolitas y epiclásticas volcánicas.

✘ Estratos de Metapán (Mioceno Inferior hasta Cretácico Inferior).

Al Mioceno Inferior pertenecen areniscas finas de color rojo violeta, con bancos de conglomerados cuarcíticos; hacia abajo se encuentran conglomerados rojos de caliza con capas de areniscas. Esta serie representa los productos de erosión de las capas más inferiores; su espesor es mayor de 400 m. Al Albiense (Cretácico Superior) pertenecen tobas volcánicas de carácter andesítico color violeta, con un espesor aproximado de 100 m.

Del Cretácico Inferior son las areniscas rojas de granos finos, con cemento arcilloso y estratificaciones finas; hacia abajo hay conglomerados de cuarzo que en su parte inferior generalmente están silificados y metamorfizados; su espesor es mayor de 350 m. El lecho es desconocido hasta hoy.

3.3.2. Geomorfología y Relieve.

Geomorfológicamente el área de estudio se caracteriza por una topografía quebrada, los rasgos geomorfológicos están determinados por las faldas del volcán de San Miguel o volcán de Chaparrastique.

Geológicamente en el área solo afloran materiales volcánicos de finos a gruesos denominados piroplásticos y lavas jóvenes originales en su mayoría del volcán de San Miguel. La edad de los piroclastos y lavas corresponden a la base del holoceno o



cuaternario medio y, en el área conforman la formación geológica denominada San Salvador. Las lavas son más recientes o contemporáneas a la edad geológica de los pirosclastos consiste de potentes mantos no compactada de Lapilli, cenizas volcánicas de diferentes granulometría, polvo volcánico y toba ligeramente compactada, color café.

Pirosclasto y tobas se encuentran en intercalación, encontrándose, ocasionalmente, a diferentes profundidades, flujos de lavas basálticas fracturadas, los piroclastos ocupan la mayor parte del area, las lavas consisten de diferentes flujos de lava basáltica muy fracturada procedente del Volcán de San Miguel.

Relieve: El Salvador es un país montañoso. Se encuentra en un borde de placa, por lo que son frecuentes los terremotos y los fenómenos volcánicos. Tiene más de 70 volcanes, en un país tan pequeño, muchos de ellos activos. La cota máxima es el cerro de El Pital, de 2,730 m de altura. Al norte se encuentran las estribaciones de Sierra Madre, que es el eje fundamental de Guatemala. La Sierra Madre Salvadoreña desciende de noroeste a sudeste haciendo frontera con Honduras. Tiene dos sectores, cortados por el río Lempa. El oriental es más elevado que el occidental. En él se encuentran las alturas de Matapán-Alotepeque o Montecristo (2,418 m) y Nauhaterique-Cataguatique (1,524 m). En el centro del país encontramos una meseta de una altitud media de unos 600 metros sobre el nivel del mar, aunque tiene una ligera pendiente que desciende de noroeste a sureste. La meseta se encuentra rodeada por la Sierra Madre Salvadoreña por el norte y el cordón volcánico por el sur. En realidad se trata de un surco intramontañoso cortado por el río Lempa.



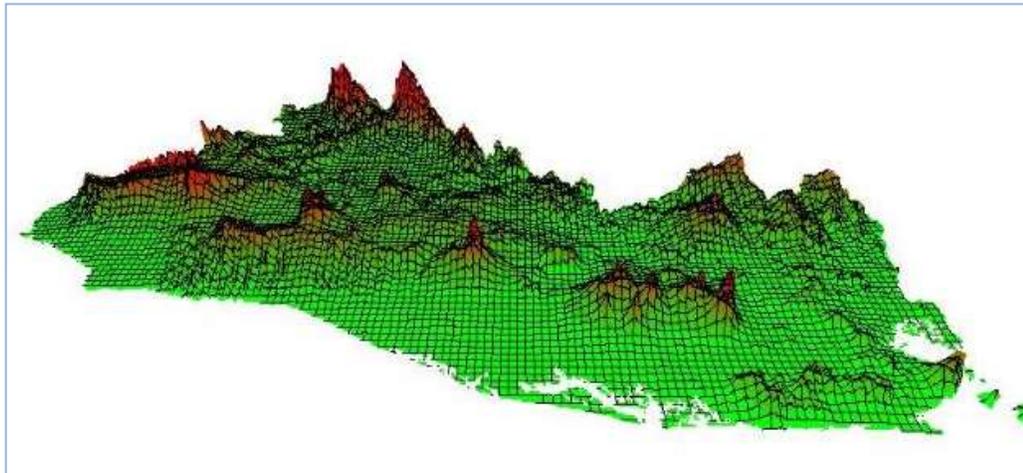
Fosa Central. Comprende un 20% de la superficie del país. Se extiende a lo largo de éste con un rumbo de WNW-ESE, limitada al norte y al sur con escarpes de diversas alturas. Su ancho varía entre 10 y 30 km. y su morfología está ligada estrechamente a las condiciones geológicas de la misma. Los desplazamientos tectónicos de la fosa central han ocurrido a lo largo del tiempo, variando de 1 a 1.5 km. Asumiéndose que en los lugares de mayor altura, los desplazamientos han debido ser muy intensos.

En lugares como San Salvador y Usulután, el ensanchamiento de la fosa es bastante visible. Los cuatro plegamientos de la Cadena Costera están estrechamente conectados con los grandes macizos volcánicos de la Fosa Central, que constituyen los estratovolcanes. En esta franja volcánica se encuentran asociados los volcanes de Santa Ana, Izalco, San Salvador, San Vicente, volcanes de la Sierra Tecapa-Chinameca y San Miguel. La intensa actividad recién ha dado lugar a la formación de estos edificios volcánicos, la mayoría de ellos con laderas inestables, formados por materiales volcánicos jóvenes y poco consolidados. Esto hace que al encontrarse sometidos a la continua acción erosiva de los agentes geológicos externos, especialmente precipitaciones muy intensas durante el periodo de invierno, y la acción continua de los agentes geológicos internos, conformen unidades de relieve vulnerables. El cordón volcánico que nace en El Salvador recorre todo América Central. Se trata de una línea, sinuosa, de volcanes que se acerca y se aleja de la costa. Muchos de ellos están agrupados en sierras como las de Tacuba, el Bálsamo y el Jucuarán. Entre los volcanes más importantes se encuentran el Santa Ana o Ilamatepec (2.381 m), San Vicente o Chinchontepec (2.181 m), San Miguel o Chaparrastique (2.132 m), San Salvador o



Quetzaltepeque, Tepaca, Conchagua, Usulután; muchos de ellos aún activos, como el Izalco (1.870 m) que surgió en 1770 y por su actividad se le llamó el Faro del Pacífico (ilustración 3.4). Por último hay que reseñar la llanura costera, una estrecha franja de entre ocho y veinte kilómetros que se extiende desde la frontera con Guatemala hasta el golfo de Fonseca. Es una zona muy fértil debido a las cenizas volcánicas.

Ilustración 3. 4: Mapa en Relieve de El Salvador.



Fuente: www.snet.gob.sv

3.3.3. Hidrografía.

El Lempa es el río padre de El Salvador. Aunque nace en Guatemala de sus 422 Km 360 Km corresponden a El Salvador. Entra en el país por el departamento de Chalatenango, corre por el norte del país partiendo en dos la Sierra Madre Salvadoreña. Llega a hacer frontera con Honduras, para, en el cordón volcánico, cambiar de dirección y dirigirse rápidamente al mar. Desemboca en la planicie costera del océano Pacífico, entre los departamentos de San Vicente y Usulután. El Lempa es navegable durante muchos



kilómetros. Es un río intensamente aprovechado, ya que a lo largo de su curso se suceden las presas, con aprovechamiento de riego e hidroeléctrico.

El resto de los ríos de El Salvador son cortos, rápidos y con espectaculares avenidas. Esto se cumple sobre todo en los ríos que desembocan directamente en el Pacífico, pero también en los afluentes del Lempa. El Salvador es uno de los países con más densidad ríos y mejor drenado del mundo.

Otros ríos importantes en El Salvador son el Paz, que hace frontera con Guatemala; el Goascorán que la hace con Guatemala en el extremo opuesto y desemboca en la bahía de la Unión; y el río Grande de San Miguel que recoge las aguas de la parte oriental del país.

Por todo el territorio salvadoreño hay pequeños lagos de origen volcánico (ilustración 3.5), que ocupan el interior de antiguos cráteres, o se represan detrás de cordones de lava. Los más importantes son:

- ⊕ Ilopango (72 km²), el mayor del país
- ⊕ Olomeca (24,2 km²)
- ⊕ Coatepeque (24 km²)
- ⊕ Güija (45 km²) compartido con Guatemala.



“ESTUDIO GEOMECÁNICO DEL MATERIAL DE ARRASTRE EN
QUEBRADA LA ARENERA, CANTÓN EL VOLCÁN, CASERÍO
LOS CARRETOS, JURISDICCIÓN DE SAN MIGUEL”

Ilustración 3. 5: Mapa Hidrológico de El Salvador.



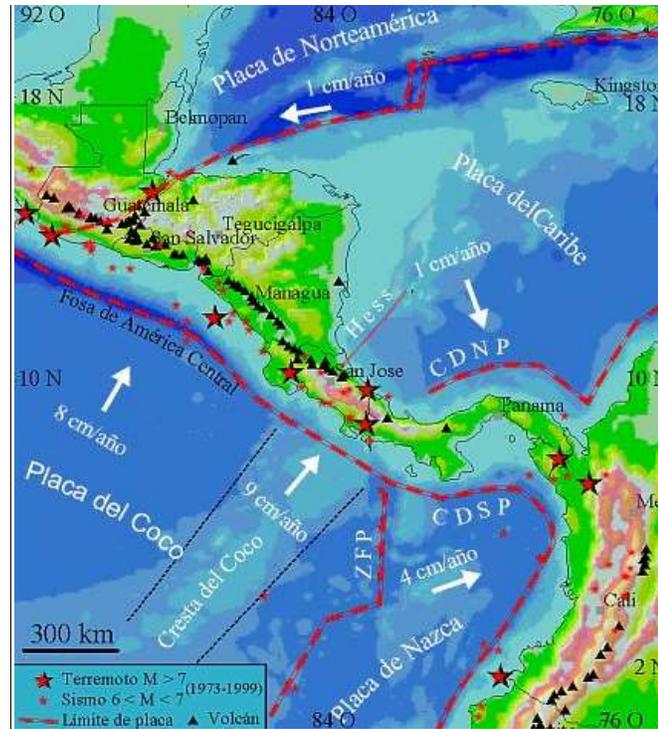
Fuente: www.snet.gob.sv

3.3.4. Marco Tectónico Regional.

El vulcanismo en El Salvador y en América Central resulta de la interacción de la triple convergencia de las placas de Norteamérica, Cocos y del Caribe (ilustración 3.6). La placa oceánica de Cocos se hunde (subduce) por debajo de las placas continentales Norteamericana y del Caribe contribuyendo a que se forme el arco volcánico que conocemos como Cordillera Volcánica Centroamericana a lo largo de unos 1.500 kilómetros desde Guatemala hasta Panamá. A escala global, el vulcanismo en esta cordillera forma parte del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico que abarca todas las costas occidentales del continente americano y las costas orientales de Asia y Australia:



Ilustración 3. 6: Placas Tectónicas en América Central.



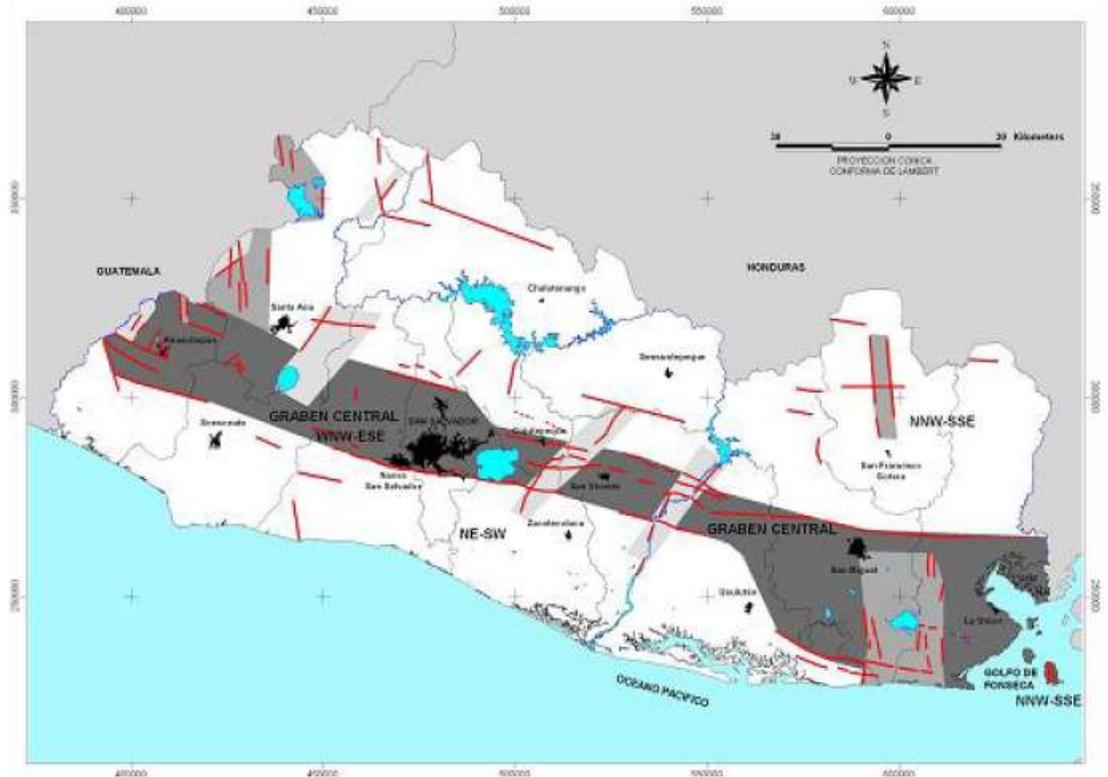
Fuente: www.snet.gob.sv

Los procesos geodinámicos producidos por el fenómeno de subducción de la placa de Cocos en dirección NE bajo la placa del Caribe, se reflejan en la tectónica y la geología estructural del istmo Centroamericano. La evidencia está en la concentración de volcanes activos en la región, generando una de las zonas de mayor densidad volcánica en el mundo.

La estructura tectónica prominente en la región lo constituye el Graben Central Centroamericano que se desarrolla en la placa continental del Caribe. Esfuerzos regionales de compresión en conjunto con esfuerzos distensivos en las partes superiores de la litosfera, indujeron la formación del Graben Centroamericano, que inicia durante el Plioceno y el Pleistoceno, entre 9 y 2 millones de años.



Ilustración 3. 7: Mapa del Sistema de Fallas en El Salvador.



Fuente: www.snet.gob.sv

De acuerdo a Stoiber y Carr (1973) El Salvador está localizado en el cuarto segmento tectónico de Centroamérica que tiene una longitud de aproximadamente 230 Km.

La interpretación estructural de este segmento tectónico permite definir tres sistemas o familias de fallas dominantes:

✘ Sistema de fallas WNW-ESE:

Este es el sistema más importante en El Salvador y su rumbo aproximado es N 70° W. Las fallas de este sistema definen los límites norte y sur del Graben Central, donde se ha desarrollado el frente volcánico activo y donde han ocurrido los terremotos más destructivos. Paralelo al graben corren una serie de pequeñas fallas con la misma



dirección, indicando la existencia de una zona afectada por esfuerzos distensivos (ilustración 3.7). Sin embargo, los mecanismos focales y los desplazamientos en algunos drenajes sugieren que también existen movimientos de strike-slip (transcurrentes).

Se reconocen cinco ejes principales dentro de este sistema:

Primer eje: Forma el límite Sur de las montañas Norteñas y está representado por dislocaciones verticales de alrededor de 1000 m.

Segundo eje: Se caracteriza por un volcanismo individual apagado en la parte Norte del país.

Tercer eje: Está situado más al Sur; es el más prominente, con dislocaciones tectónicas (La más importante de ellas atraviesa el país, la fosa central) y con un volcanismo individual joven, en parte todavía activo. También se encuentran depresiones volcano-tectónicas y cúpulas de lava. Los eventos sísmicos que aún ocurren en esta zona, indican que los movimientos tectónicos continúan.

Cuarto eje: Se localiza en el Océano Pacífico a una distancia de 25 kms de la costa salvadoreña y se caracteriza por una actividad sísmica frecuente.

Quinto eje: Se encuentra más al Sur, formando una fosa marina que corre paralela a la costa salvadoreña y muestra cierta actividad sísmica. Existen elevaciones de forma cónica que se levantan desde más de 3000 mts de profundidad hasta el nivel del mar, considerándose estos como volcanes.



✘ Sistema de fallas NNW-SSE:

Numerosas fallas normales y depresiones volcano tectónicas caracterizan este sistema. Algunas trazas de estas fallas son claras en la parte noroeste de El Salvador y la frontera de Guatemala.

Los volcanes activos Santa Ana, San Salvador y San Miguel son atravesados por esas fallas, a lo largo de las cuales se ha desarrollado actividad magmática reciente (Meyer – Abich, 1956).

✘ Sistema de fallas NE-SW:

Este sistema de fallas predomina al oeste de El Salvador muy cerca de la frontera con Guatemala, donde las estructuras son normales.

3.3.4.1. Formación de la Cordillera Volcánica salvadoreña.

La región central del graben se ha rellenado con los productos lávicos y piroclásticos de los volcanes desarrollados en su interior y por sedimentos lacustres y fluviales. Los dos bordes externos norte y sur del graben permanecen elevados, mientras que el centro alberga parcialmente edificios volcánicos. Según Rose (com. Pers., 2003) el magma generado por los procesos de fusión en la zona de subducción asciende preferentemente a través de las fallas del sistema transversal NNW-SSE y WNW-ESE que comunican zonas profundas de la corteza con el borde sur del Graben Central.

La formación de la cadena volcánica ha sido gradual y la actividad se ha prolongado desde el Pleistoceno hasta tiempos históricos recientes. Las cámaras magmáticas someras que se formaron en la litosfera, acumulan magma que asciende hasta la



superficie, cuando la inyección de nuevo fluido y gases disueltos alcanzan la presión suficiente para superar la presión litostática.

La Cordillera Volcánica se caracteriza por la presencia de numerosos centros eruptivos y edificios volcánicos con morfologías diversas que fueron formados por erupciones explosivas y efusivas, las cuales emitieron productos de composición basáltico - andesítica.

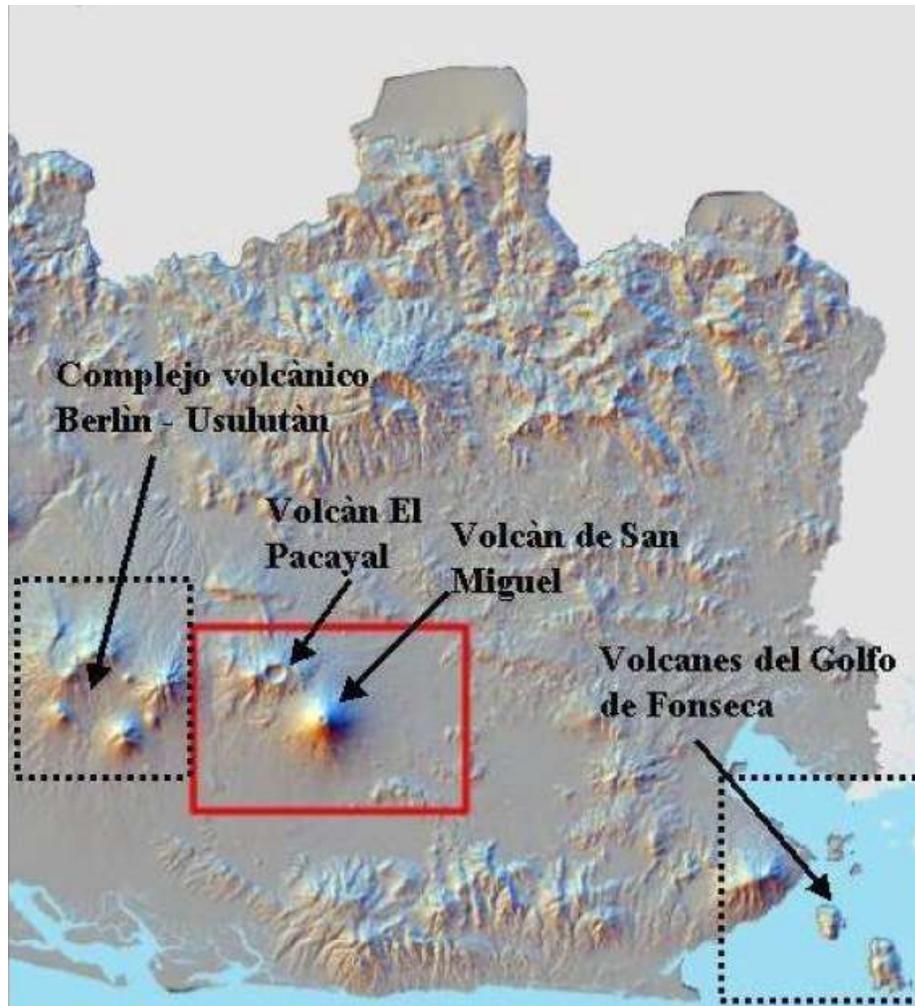
El hecho de haberse constituido una cordillera volcánica de edad cuaternaria sobre el borde sur del Graben Salvadoreño, requiere de atención científica, porque en dicha estructura además de haberse formado estratovolcanes aun activos, como son Santa Ana, San Salvador y San Miguel, también se han formado dos calderas a las que se les conoce erupciones plinianas: Ilopango y Coatepeque.

En conclusión, a lo largo de la mencionada depresión tectónica se manifiesta una intensa actividad sísmica y volcánica, que permite la formación de volcanes compuestos como el de San Miguel que actualmente es uno de los edificios volcánicos más activos del Arco Volcánico de América Central (Simkin y Siebert, 1994).

En la zona oriental de El Salvador se identifican claramente tres zonas volcanotectónicas de posible edad cuaternaria: el Complejo volcánico Berlín – Usulután, los volcanes Pacayal y San Miguel y los volcanes del Golfo de Fonseca (ilustración 3.8).



Ilustración 3. 8: Cadena Volcánica del Oriente de El Salvador.



Fuente: www.snet.gob.sv

El complejo volcánico Berlín – Usulután integra un grupo de estratovolcanes cuaternarios de composición basáltica, andesítica e incluso con algunas rocas de tipo dacítico. Este grupo de centros eruptivos incluye la caldera denominada de Berlín y estratovolcanes basálticos como el de Usulután, a los cuales se les asocia periodos de intensa actividad explosiva y efusiva durante el pleistoceno y holoceno.

Las cuatro Islas volcánicas del Golfo de Fonseca, al oriente de El Salvador en el océano Pacífico son también de composición basáltica y basáltico – andesítica. Se ubican a unos



100 kilómetros al oriente del volcán de San Miguel, en la frontera de El Salvador con Nicaragua y Honduras.

El cono volcánico Pacayal, llamado también Laguna Seca del Pacayal o volcán de Chinameca, se ubica a 8 kilómetros al noroeste del cráter del volcán de San Miguel y es un estratovolcán andesítico, caracterizado por recientes erupciones plinianas. La última erupción del Pacayal fue un flujo de lava dacítico emitido por una fisura de su flanco noroeste, hace aproximadamente 5.000 años (GENZL, 1995).

El edificio del volcán de San Miguel se forma y crece aislado al sureste del volcán Pacayal, sobre el borde sur del Graben Central Salvadoreño (ilustración 3.9). Se trata de un estratovolcán de posible edad Holocena de composición basáltica y basáltico – andesítica.

Ilustración 3. 9: Modelos de elevación digital de la zona del Volcán de San Miguel y Volcán Pacaya.



Fuente: www.snet.gob.sv

Capítulo 4

*Ensayos de Campo y
Laboratorio*

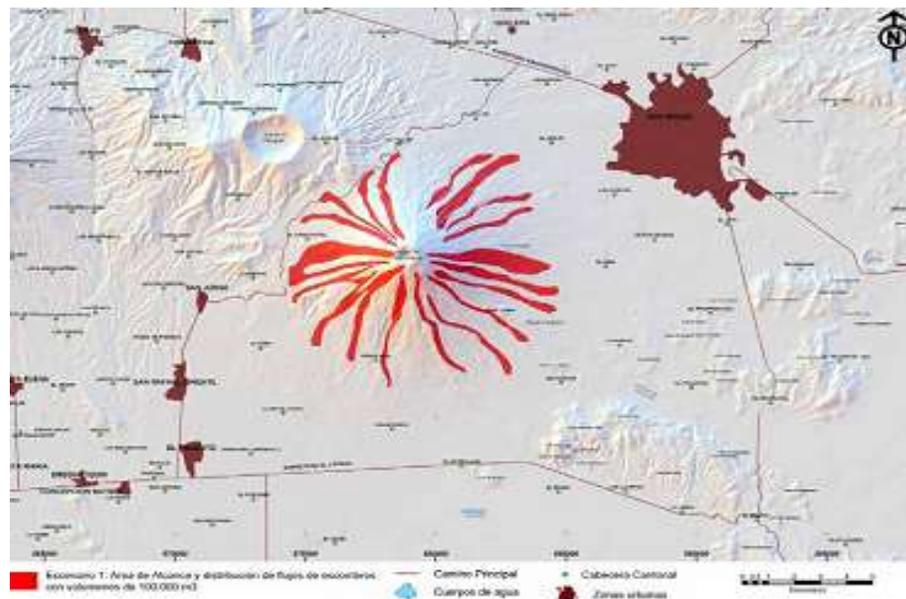


4.1 DESCRIPCIÓN DE TRABAJO DE CAMPO.

Las comunidades del cantón El Volcán, ubicadas en las laderas del sector norte del volcán de San Miguel, están expuestas tanto a amenaza sísmica como vulcanológica. Sin embargo la problemática más recurrente es la exposición a la ocurrencia de lahares (avalanchas de rocas) que se encauzan por la Quebrada La Arenera, la más activa del sector norte del volcán Chaparrastique.

La etapa de campo se llevó a cabo durante 2 meses, correspondientes a Septiembre y Octubre de 2009 y posterior monitoreo en el mes de Febrero de 2010. En esta etapa se procedió a la extracción de muestras.

Ilustración 4. 1: Mapa de zonas de amenaza de lahar para el volcán de San Miguel construido a partir del modelo propuesto en el software lahar-Z.



Fuente: www.snet.gob.sv



4.1.1. Visitas de reconocimiento.

Se efectuaron algunas visitas de reconocimiento a todos aquellos lugares que han sido marcados como de riesgo a deslizamientos (ver Anexo A-2 y A-3) en estudios anteriores y se selecciono un sector en base a los siguientes criterios: Riesgo humano, antecedentes históricos y factibilidad de la realización de la investigación.

- Criterio de riesgo humano: Bajo este criterio se incluyeron zonas de alta densidad poblacional. En donde el desencadenamiento de un fenómeno de inestabilidad traería pérdidas humanas o de aislamiento de la comunidad.
- Antecedentes históricos: este criterio se refiere a que la zona haya sido afectada por inestabilidad.
- Factibilidad de realizar la investigación: se incluirán lugares en los que se pueda gestionar los permisos necesarios para realizar las investigaciones, además que parezcan seguros para los trabajos que ahí se realizaran. También se tomara en cuenta acceso al lugar y que presente condiciones de visibilidad y espacio adecuado.

4.1.2. Extracción de muestras.

Luego de seleccionar el sector que será analizado, se inició la perforación de la calicata para la obtención de muestras en este caso alterada, considerando que la muestra que se debe extraer se hará en uno de los tres depósitos (Muros de mampostería de piedra) contruidos para la contención y desviación del material (Ubicados a cada 200 metros entre sí) que baja por la quebrada, se decidió extraerlas a una profundidad entre 0.5,



1.0m y 2.0 m. debito que en este sector el muro está diseñado para extraer el material que se deposita y así evitar que este sufra volteo.

Método de extracción: Manual, a cielo abierto con toma de muestras alteradas.

Sección: 1.0 x 1.0 m. aproximadamente.

Profundidad: 0.5, 1.0 y 2.0 m.

Las muestras fueron debidamente protegidas y llevadas al Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador (Facultad Multidisciplinaria Oriental) para la realización de los ensayos respectivos que permitirán conocer las propiedades físico-mecánicas.

Ilustración 4. 2: Extracción de muestra en nuestro lugar de estudio.



Fuente: Grupo de Tesis.

4.1.3. Precauciones para la extracción.

1. Para extraer muestras de acopio o montones se procede a tomar paladas al azar en distintos puntos y desde el interior del acopio haciendo excavaciones u hoyos a distintos niveles en contorno de, acopio.
2. Se recomienda no tomar paladas del material en la base ni en la cima de los acopios. Las extracciones efectuadas a unos 30 cm de altura sobre el piso y de 30



cm más abajo del nivel superior, pueden proporcionar muestras más representativas.

3. Para extraer muestras desde camiones se efectúan excavaciones en distintos puntos de la capa, retirando porciones a medida que se profundiza la excavación.
4. Para muestrear en correas transportadoras, se procede a detener el sistema en distintos instantes de la operación, retirando cada vez todo el material existente en un tramo, por ejemplo, en un metro lineal de correa.

4.2. RESULTADOS DEL TRABAJO DE CAMPO.

4.2.1. Descripción general.

El cantón se extiende entre las cotas topográficas 530 y 2.130 metros, en la parte más alta del volcán. La topografía de la zona es bastante accidentada y se caracteriza por presentar laderas con pendientes pronunciadas, terrenos agrietados y con alto potencial de deslizamiento. La parte alta del cantón tiene pendientes superiores al 70%, ya que se trata de la parte suimital del volcán de San Miguel, mientras que la parte más baja tiene pendientes entre el 15 y el 30%. El substrato es constituido por una alternancia de materiales volcánicos granulares (arena o piroclastos) y masivos (coladas de lava), por lo que constituye una zona de recarga acuífera. El cantón es atravesado por distintas quebradas que tienen su nacimiento en la parte alta del volcán y que canalizan el agua no infiltrada, en el período de lluvias. La más activa y problemática es la quebrada de La Arenera que discurre entre la ladera norte del volcán de San Miguel y la ladera de la Laguna Seca del Pacayal.



Las laderas del volcán de San Miguel y de la Laguna Seca del Pacayal están ocupadas por grandes fincas de café de sombra. Una gran parte de la población trabaja como jornaleros en estas fincas, aunque también se desarrolla agricultura de subsistencia.

Por su ubicación geográfica, la población de este cantón se encuentra en riesgo por amenaza volcánica y también por amenaza sísmica. Sin embargo el riesgo más recurrente es la formación de avalanchas (lahares) en la época lluviosa, que se canalizan por las quebradas mencionadas y que pueden desbordarse en la parte más baja, soterrando parte de los caseríos del sector.

La zona se caracteriza por presentar una alta erosión, en parte, debido a malas prácticas agrícolas ya que los lugareños aprovechan los terrenos utilizándolos para la siembra de granos básicos.

Las visitas de campo fueron realizadas en el mes de Septiembre, sin embargo se realizaron viajes de monitoreo durante los meses siguientes y en una visita reciente se encontraron deslizamientos en algunos sectores producidos por la erosión que causa la época lluviosa aparte retención de eso se encontraron rastros de basura depositados en las cercanías a los muro, debido a la densa vegetación estaban casi cubiertos (ver ilustración 4.3).



Ilustración 4. 3: Visita a la Zona de estudio.



Fuente: Grupo de Tesis.

4.3. DESCRIPCIÓN DE TRABAJO DE LABORATORIO.

Los ensayos de laboratorio tratan de determinar algunas de las propiedades físicas del material de arrastre de la quebrada para un posible uso en la elaboración de concreto u otro tipo de proceso en la construcción.

En la Tabla 4.1 Se muestran las normas ASTM utilizadas para la determinación de las propiedades físicas de los suelos.

Tabla 4. 1: Normas Utilizadas en los Ensayos de Laboratorio.

| ENSAYO | NORMA | Referencias |
|--|---------------------|-----------------|
| Determinación del contenido de humedad del Agregado por secado. | C-566 | Ver anexo A-7-1 |
| Determinación de impurezas en el agregado fino para el concreto. | C-40 | Ver anexo A-7-2 |
| Granulometría de los agregados para concreto. | C-136 | Ver anexo A-7-3 |
| Gravedad específica y absorción de los agregados. | C-127, C-128, C-566 | Ver anexo A-7-4 |



| | | |
|---|----------|-----------------|
| Coefficiente de forma. | NCH-1511 | Ver anexo A-7-7 |
| Desgaste del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. | C-131 | Ver anexo A-7-5 |
| Análisis petrográfico. | C-295 | Ver anexo A-7-6 |

Fuente: Grupo de Tesis.

4.3.1. Determinación Del Contenido De Humedad.

Este método se realizó sometiendo las muestras de agregado a un proceso de secado y comparamos su masa antes y después del mismo para determinar su porcentaje de humedad total (ver Anexo A-6-1). Este método es lo suficientemente exacto para los fines usuales, tales como es el ajuste de la masa en una mezcla de concreto.

Ilustración 4. 4: Muestras para el contenido de humedad.



Fuente: Grupo de Tesis.

4.3.2. Determinación De Impurezas Orgánicas.

El valor principal de esta prueba es determinar la cantidad de material orgánico que presenta el material de estudio para su posterior aprobación en la elaboración de concretos. En nuestro caso particular se realiza para tres profundidades entre las cuales están 0.50 mt, 1.0 mt y 2.0 mt.



Ilustración 4. 5: Realización del ensayo de impurezas orgánicas.



Fuente: Grupo de Tesis.

4.3.3. Análisis Granulométrico.

El material que se utilizó para el análisis granulométrico fue tomado de la zona de excavación del pozo a cielo abierto realizando el análisis (ver Anexo A-6-2) para las tres profundidades.

Ilustración 4. 6: Ensayo de granulometría.



Fuente: Grupo de Tesis.

4.3.4. Gravedad Específica Y Absorción De Los Agregados.

Este ensayo fue realizado para la muestra combinada de las profundidades de 1.0 y 2.0 metros (ver Anexo A-6-4) dado que la absorción es la capacidad del agregado para llenar de agua sus poros pero cabe mencionar la diferencia entre absorción y contenido de humedad ya que la absorción es un valor constante del agregado y el contenido de



humedad es variable en función de la exposición del agregado al intemperismo (sol, lluvia, viento etc.)

Ilustración 4. 7: Gravedad específica y absorción de arenas y gravas.



Fuente: Grupo de Tesis.

4.3.5. Coeficiente De Forma.

Este ensayo se desempeña como se ve en el Anexo (A-6-3) y sometido a la norma de Chile (ver Anexo A-7-7) debido a que la forma de las partículas desempeña un efecto importante sobre las propiedades del concreto. Las piedras de formas irregulares son consideradas como defectuosas y son tolerables en pequeña cantidad.

Ilustración 4. 8: Probeta 1000 ml con muestra introducida.



Fuente: Grupo de Tesis.



Ilustración 4. 9: Realización del ensayo de coeficiente de forma.

Fuente: Grupo de Tesis.



4.3.6. Desgaste Del Agregado Grueso Por Abrasión E Impacto En La Maquina De Los Ángeles.

Este método se realizó bajo la norma ASTM (ver Anexo A-7-5), obteniendo diferentes parámetros de resistencia, los cuales se pueden ver en Anexos (A-6-5), la prueba cubre un procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaño igual o menor a 1.5” (37.5 mm.) por resistencia al desgaste utilizando la máquina de los ángeles y al igual que en otras pruebas el análisis se realizó para una muestra combinada de las profundidades 1.0 y 2.0 metros.

Ilustración 4. 10: Ensayo de desgaste en la máquina de los ángeles.



Fuente: Grupo de Tesis.



4.3.7. Análisis Petrográfico.

La prueba petrográfica se encarga de ver el tipo de roca que se encuentra en un suelo determinado (ver ilustración 4.11).

Esta prueba tiene el fin de establecer las diferentes propiedades mecánicas que tiene el suelo como son: color, textura, cristalinidad, estructura.

Con estas propiedades físicas de las muestras que se extrajeron en el área de estudio, se podrá determinar la procedencia de ellas su forma, si posee cristales, su color, etc.

Ilustración 4. 11: Muestra de rocas de las profundidades de 0.50, 1.0 y 2.0 mts.



Fuente: Grupo de Tesis.

El objetivo de la realización de cada uno de los ensayos se resume en la siguiente tabla:

Tabla 4. 2: Ensayos Realizados en el Trabajo de Graduación.

| Tipo | Finalidad |
|---|--|
| Determinación Del Contenido De Humedad | Determina El Porcentaje De Humedad Que Contiene El Suelo |
| Determinación De Impurezas Orgánicas | Determinara La Cantidad De Material Orgánico Que Tiene El Suelo. |
| Análisis Granulométrico | Poder Determinar Si El Suelo Esta Bien |



| | |
|---|---|
| | Graduado Para Poder Utilizarlo. |
| Gravedad Específica Y Absorción De Los Agregados | Sirve Para Calcular Los Vacíos Del Suelo Y La Capacidad De Acumular Agua Dentro De El |
| Coefficiente De Forma | Establece Su Tamaño Y Su Forma Del Suelo |
| Desgaste Del Agregado Grueso Por Abrasión E Impacto En La Máquina De Los Ángulos | Obtiene Determinar La Capacidad De Desgaste Del Suelo |
| Análisis Petrográfico | Analiza Sus Características Mecánicas Del Suelo |

Fuente: Grupo de Tesis.

Con las pruebas mencionadas se determinara en la siguiente tabla (4.3). Los ensayos que se aplico a las diferentes muestras que se extrajeron de diferentes profundidades.

Tabla 4. 3: Resumen de ensayos que se realizaron a cada profundidad.

| Ensayo | Profundidad De 0.50 Mts | Profundidad De 1.0 Mts | Profundidad De 2.0 Mts |
|---|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Determinación Del Contenido De Humedad | X | X | X |
| Determinación De Impurezas Orgánicas | X | X | X |
| Análisis Granulométrico | X | X | X |
| Gravedad Específica Y Absorción De Los Agregados | X | X | X |
| Coefficiente De Forma | | | X |



| | | | |
|--|---|---|---|
| Desgaste Del Agregado Grueso Por Abrasión E Impacto | | | X |
| Análisis Petrográfico | X | X | X |

Fuente: Grupo de Tesis.

Justificación.

- ⊕ Desgaste del agregado grueso por abrasión e impacto: se determino solo usar la muestra de la profundidad de 2.0 mts el material eran semejante en características físicas por tal razón se determino utilizar solo la profundidad mencionada.
- ⊕ Coeficiente de forma: se uso la muestra de la profundidad de 2.0 mts, porque se determino que la forma del suelo eran semejante en las otras dos muestra.

4.4. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

A continuación se presentan los resultados obtenido en cada uno de los siguientes ensayos.

4.4.1. Determinación Del Contenido De Humedad.

Con este ensayo se presentaran los porcentajes de contenido de humedad de las muestra en la siguiente tabla (4.4).

Tabla 4. 4: Porcentaje de humedad.

| PROFUNDIDAD (mts) | % DE HUMEDAD |
|--------------------------|---------------------|
| 0.50 | 5.8 |
| 1.0 | 6.6 |
| 2.0 | 11.8 |

Fuente: Grupo de Tesis.



4.4.2. Determinación De Impurezas Orgánicas.

El ensayo presentara los diferentes colores en la siguiente tabla (4.5).

Tabla 4. 5: De impureza orgánica.

| MUESTRA | COLOR |
|--|-------|
| <p>Profundidad de 0.50 mts</p>  | 5 |
| <p>profundidad de 2.0 mts</p>  | 4 |
| <p>Profundidad de 2.0 mts</p>  | 4 |

Fuente: Grupo de Tesis.



4.4.3. Análisis Granulométrico.

El tamaño de las partículas que constituye un suelo permite clasificarlo por sus distintos diámetros para sí poder determinar el tamaño en cada uno de los tamizes. La prueba se realiza por el cribado del suelo a través de diferentes mallas, a esto se le conoce como “análisis granulométrico”.

Los grupos de mallas para la muestra de arena que se utilizaron son:

Nº 4 (4.76 mm.), Nº8(2.36 mm.), Nº 16 (1.18 mm.), Nº 30(0.60 mm.), Nº 50 (0.25 mm.), Nº 100 (0.150mm.).

Los grupos de mallas para la muestra de agregado grueso que se utilizaron son:

2 ½” (63 mm), 2” (50 mm), 1 ½” (40mm) , 1” (25 mm), ¾” (20 mm), ½” (12.5 mm), 3/8” (10 mm), N^o 4 (5 mm.).

El análisis granulométrico realizado a la porción de gravas y arenas en las profundidades que se extrajo la muestra proporcionó los siguientes resultados:

Tablas Para La Profundidad De 0.50 Mts

Tabla 4. 6: Granulometría agregado grueso.

| GRANULOMETRIA GRUESO PROF. 0.5 MT | | |
|-----------------------------------|----------------|-------------|
| Tamiz ASTM | Abertura en mm | % Que pasan |
| 2” | 50 | 100 |
| 1 ½” | 40 | 93.1 |
| 1” | 25 | 90.7 |
| ¾” | 20 | 87.2 |
| ½” | 12.5 | 80.9 |
| 3/8” | 10 | 76.8 |
| N ^o 4 | 5 | 65 |



| | |
|--------------------------|-----------|
| Tamaño Máximo=Da | 50 |
| Tamaño Nominal=Dn | 40 |

Fuente: Grupo de Tesis.

Tabla 4. 7: Granulometría agregado fino.

| GRANULOMETRIA FINO PROF. 0.50 MT | | |
|---|-----------------------|--------------------|
| Tamiz ASTM | Abertura en mm | % Que pasan |
| N° 4 | 4.75 | 74.5 |
| N° 8 | 2.36 | 64.7 |
| N° 16 | 1.18 | 56.5 |
| N° 30 | 0.60 | 49.2 |
| N° 50 | 0.30 | 41.6 |
| N° 100 | 0.15 | 31.60 |
| > N° 100 | | |

Fuente: Grupo de Tesis.

Tabla 4. 8: Rango para el modulo de finura

| Modulo de finura | Clasificación |
|-------------------------|----------------------|
| Menor que 2.0 | Muy Fina |
| 2.0- 2.3 | Fina |
| 2.3- 2.6 | Media Fina |
| 2.6- 2.9 | Media |
| 2.9- 3.2 | Media Gruesa |
| 3.2- 3.5 | Gruesa |
| Mayor que 3.5 | Muy gruesa |

Fuente: Grupo de Tesis.



El modulo de finura encontrado para el agregado fino:

$$MF=1.6$$

Comparando con la tabla 4.8 el modulo finura encontrado en la prueba está en el rango de menor que 2.0 clasificándola como muy fina

Tablas Para La Profundidad De 1.0 Mts

A continuación se presenta el porcentaje para la profundidad de la muestra con sus respectivos tamices normados y su abertura representada en milímetros.

Tabla 4. 9: Granulometría agregado grueso

| GRANULOMETRIA GRUESO PROF. 1.0 MT | | |
|--|-----------------------|--------------------|
| Tamiz ASTM | Abertura en mm | % Que pasan |
| 2 ½” | 63 | 100 |
| 2” | 50 | 98.9 |
| 1 ½” | 40 | 94.6 |
| 1” | 25 | 86.3 |
| ¾” | 20 | 77.5 |
| ½” | 12.5 | 67.2 |
| 3/8” | 10 | 60.1 |
| Nº 4 | 5 | 41.4 |
| Tamaño Máximo=Da | | 63 |
| Tamaño Nominal=Dn | | 50 |

Fuente: Grupo de Tesis.



Tabla 4. 10: Granulometría agregado fino.

| GRANULOMETRIA FINO PROF. 1.0 MT | | |
|---------------------------------|----------------|-------------|
| Tamiz ASTM | Abertura en mm | % que pasan |
| N° 4 | 4.75 | 53.1 |
| N° 8 | 2.36 | 35.8 |
| N° 16 | 1.18 | 25.3 |
| N° 30 | 0.60 | 18.2 |
| N° 50 | 0.30 | 13.1 |
| N° 100 | 0.15 | 7.4 |
| > N° 100 | | |

Fuente: Grupo de Tesis.

Tabla 4. 11: Tabla de rango para el modulo de finura.

| Modulo de finura | Clasificación |
|------------------|---------------|
| Menor que 2.0 | Muy Fina |
| 2.0- 2.3 | Fina |
| 2.3- 2.6 | Media Fina |
| 2.6- 2.9 | Media |
| 2.9- 3.2 | Media Gruesa |
| 3.2- 3.5 | Gruesa |
| Mayor que 3.5 | Muy gruesa |

Fuente: Grupo de Tesis.

El modulo de finura encontrado para el agregado fino:

$$MF= 3.1$$

Comparando con la tabla 4.11 el modulo finura encontrado en la prueba está en el rango de menor que 2.0 clasificándola como media gruesa.



Tablas Para La Profundidad De 2.0 Mts.

Tabla 4. 12: Granulometría Agregado grueso.

| GRANULOMETRIA GRUESO PROF. 2.0 MT | | |
|--|-----------------------|--------------------|
| Tamiz ASTM | Abertura en mm | % que pasan |
| 2 ½” | 63 | 95.47 |
| 2” | 50 | 83.6 |
| 1 ½” | 40 | 71.2 |
| 1” | 25 | 59.4 |
| ¾” | 20 | 51.9 |
| ½” | 12.5 | 43.9 |
| 3/8” | 10 | 38 |
| Nº 4 | 5 | 23.53 |
| Tamaño Máximo=Da | | 63 |
| Tamaño Nominal=Dn | | 63 |

Fuente: Grupo de Tesis.

Tabla 4. 13: Granulometría Agregado fino.

| GRANULOMETRIA FINO PROF. 2.0 MT | | |
|--|-----------------------|--------------------|
| Tamiz ASTM | Abertura en mm | % que pasan |
| Nº 4 | 4.75 | 55 |
| Nº 8 | 2.36 | 38.9 |
| Nº 16 | 1.18 | 26.7 |
| Nº 30 | 0.60 | 18.2 |
| Nº 50 | 0.30 | 11.9 |
| Nº 100 | 0.15 | 6.8 |
| > Nº 100 | | |

Fuente: Grupo de Tesis.



Tabla 4. 14: Rango para el modulo de finura.

| Modulo de finura | Clasificación |
|----------------------|---------------|
| Menor que 2.0 | Muy Fina |
| 2.0- 2.3 | Fina |
| 2.3- 2.6 | Media Fina |
| 2.6- 2.9 | Media |
| 2.9- 3.2 | Media Gruesa |
| 3.2- 3.5 | Gruesa |
| Mayor que 3.5 | Muy gruesa |

Fuente: Grupo de Tesis.

El modulo de finura encontrado para el agregado fino:

$$MF=3.1$$

Comparando con la tabla 4.14 el modulo finura encontrado en la prueba está en el rango de menor que 2.0 clasificándola como media gruesa.

GRAFICA DE LA GRANULOMETRIA DEL MATERIAL GRUESO DE LAS PROFUNDIDADES DE 0.50, 1.0 Y 2.0 MTS

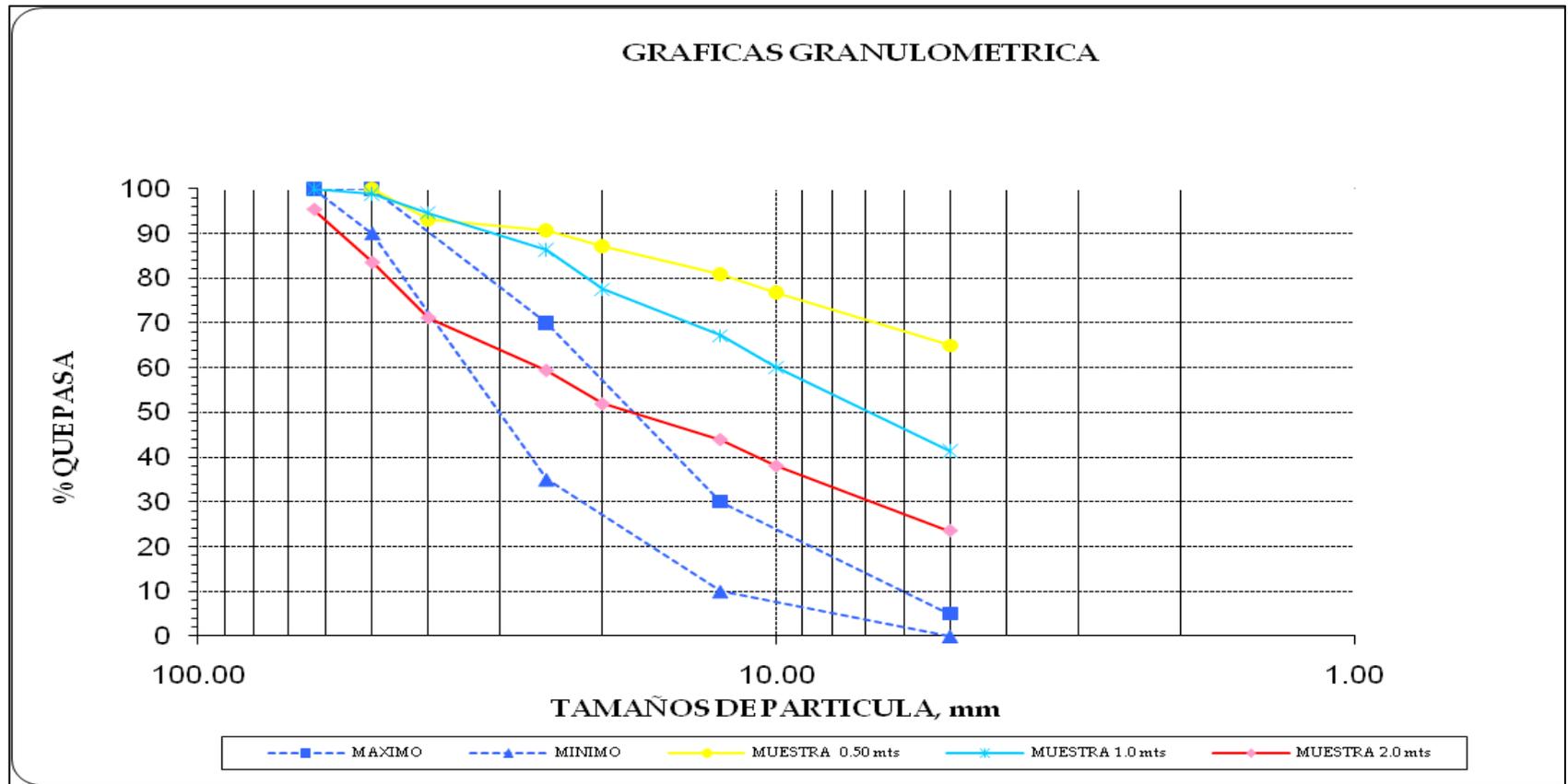


GRAFICO 1 DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO.

GRAFICA DE LA GRANULOMETRIA DEL MATERIAL FINO DE LAS PROFUNDIDADES DE 0.50, 1.0 Y 2.0 MTS.

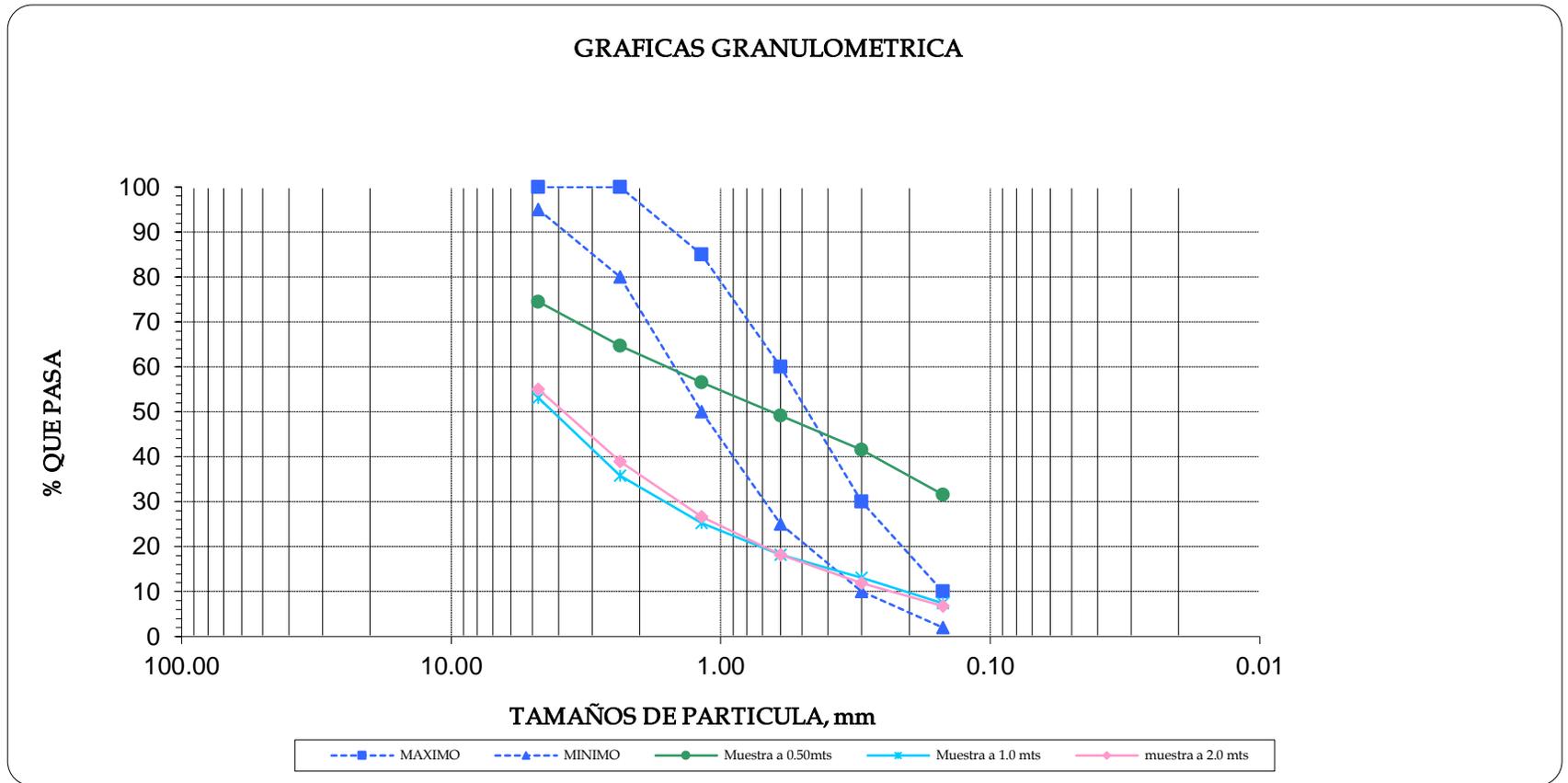


GRAFICO 2 DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.



4.4.4. Gravedad Específica.

Los datos presentados en la siguiente tabla (4.15) para las profundidades de 1.0 y 2.0 mts por el método del picnómetro para la muestra de arena.

Tabla 4. 15: Valores de absorción y gravedad especifica GS de las arenas.

| MUESTRA | % de absorción | Gravedad especifica GS |
|----------------|-----------------------|-------------------------------|
| 1 | 8.89 | 2.05 |
| 2 | 12.78 | 1.78 |

Fuente: Grupo de Tesis.

Se presentaran la absorción y gravedad específica por el método de la canastilla del agregado grueso de la muestra en estudio en la tabla (4.16).

Tabla 4. 16: Valores de absorción y gravedad especifica GS de las gravas.

| | MUESTRA 2 |
|---|------------------|
| % de absorción | 9.63 |
| Gravedad Específica Seca Aparente GS | 2.0 |
| Gravedad Específica Seca Bulk GS | 1.68 |
| Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk GS | 1.84 |

Fuente: Grupo de Tesis.

4.4.5. Coeficiente De Forma.

Se encontró el coeficiente volumétrico de la muestra de 2.0 mts.

$$CV= 0.22$$



4.4.6. Desgaste Del Agregado Grueso Por Abrasión E Impacto En La Maquina De Los Ángeles.

Se tamizo la muestra por las mallas que están graduada por orden de abertura 1”,3/4”,1/2”,3/8” y N° 4.

Ya con el tamizado hecho a la muestra quedo retenida en las mallas 1/2” y 3/8” en ambas se extrajo la cantidad de 2500.0 gr en la malla 1/2” y 2490.0 gr en la malla 3/8”.

Ahora se encontrara el porcentaje de desgaste que se coloco en la maquina, que se representa en la tabla (4.17).

Tabla 4. 17: Porcentaje de desgaste.

| MUESTRA | % De Desgaste |
|------------------------|---------------|
| Profundidad de 2.0 mts | 70 |

Fuente: Grupo de Tesis.

4.4.7. Análisis Petrográfico.

En las siguientes tablas se presentan los resultados del ensayo:

Tabla 4. 18: Análisis petrográfico muestra N 1.

| | |
|---|---|
|  | CARACTERÍSTICAS |
| Color | Gris oscuro con tonos rojizos. |
| Textura | Masiva no presenta cristales. |
| Estructura | Tipo espumosa, con mucha oquedad por fuga |



| | |
|----------------------|--|
| | de gases y presencia de lóbulos por desplazamiento de flujo sobre lava. |
| Cristalinidad | No presenta cristales masa homogénea. |
| Tipo de roca | Volcánica, es una escoria volcánica. |
| Propiedades | Baja resistencia, porosa, permeable, desgaste rápido, dureza intermedia. |

Fuente: Grupo de Tesis.

Tabla 4. 19: Análisis petrográfico muestra N 2.

| | |
|--|---|
|  | CARACTERÍSTICAS |
| Color | Brunaceo con tonos rojizos. |
| Textura | Masiva tipo vesicular con oquedades por fuga de gases. |
| Estructura | Masiva con lóbulos por desplazamiento de lava con muchas oquedades. |
| Cristalinidad | No se observan. |
| Tipo de roca | Escoria volcánica. |
| Propiedades | Baja resistencia al desgaste. |

Fuente: Grupo de Tesis.



Tabla 4. 20: Análisis petrográfico muestra N 3.

| | |
|---|--|
|  | <h2>CARACTERÍSTICAS</h2> |
| Color | Gris oscuro. |
| Textura | Fanerítica, se observan cristales y también pequeñas oquedades por fugas de gases. |
| Estructura | Masiva con presencia de pequeños cristales. |
| Cristalinidad | Se observan de color blanco alterado. |
| Tipo de roca | Volcánica tipo flujo de lava (casi andesítica-escorasea). |
| Propiedades | Resistencia media a baja, densidad media. |

Fuente: Grupo de Tesis.

Tabla 4. 21: Análisis petrográfico muestra N 4.

| | |
|---|----------------------------------|
|  | <h2>CARACTERÍSTICAS</h2> |
| Color | Gris brunaceo. |
| Textura | Afanítica. |
| Estructura | Masiva o tipo bolo piroclástico. |
| Cristalinidad | Posee cristales muy pequeños. |



| | |
|---------------------|--|
| Tipo de roca | Andesita basáltica, roca volcánica de flujo de lava. |
| Propiedades | Alta resistencia al desgaste, densidad alta. |

Fuente: Grupo de Tesis.

4.5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

De los ensayos de laboratorio realizados a las diferentes muestras obtenidas se obtiene los diferentes análisis:

✚ Análisis e interpretación de resultados del trabajo de campo:

Durante los últimos años los asentamientos se han extendido hacia zonas potencialmente peligrosas, en las faldas de los cerros y barrancas en la zona rural. Para la creación de las principales calles de acceso, los habitantes de los cantones han realizado cortes y terrazas que han modificado el entorno natural del medio ambiente y los patrones naturales de escurrimiento. Como resultado de estas actividades, se ha modificado la estabilidad general del terreno.

La combinación de estos factores naturales y antropogénicos han provocado cambios en el régimen de la presión del agua en el subsuelo, cambios en la topografía de la quebrada, imposición de sobrecargas y deforestación, todos estos son factores que van en detrimento de la estabilidad general de la quebrada.

Desde un punto de vista geológico, y también geomorfológico, geológicamente en el área solo afloran materiales volcánicos de finos a gruesos denominados piroplásticos y lavas jóvenes originales en su mayoría del volcán de san miguel, también se encuentra la formación geológica denominada San Salvador.



Hay muestra de rasgos de deslizamientos antiguos; por la información que se recolecto podemos definir que el tipo de movimiento que ocurre en el lugar es de movimiento de lahar ya que son mezclas de lodo, sedimentos y escombros volcánicos movilizados por agua lluvias.

Se pudo observar en el material depositado en el muro de retención que pertenecen a escoria volcánica y roca de flujo de lava acompañada de un porcentaje de arenoso-arcilloso, estos materiales se considera como inestable y de baja resistencia.

Otra de las causas del proceso de inestabilidad del lugar es la cárcava de la corona del volcán de San Miguel ya que esta en continuo deslizamiento con diferentes magnitudes y este deslizamiento se van a depositar en la quebrada la arenera.

Considerando que la quebrada está localizada en la zona II de sismicidad que posee El Salvador y agregando la propia sismicidad del volcán de San Miguel estando activo actualmente aumentando los deslizamientos de la cárcava.

❏ Determinación Del Contenido De Humedad.

En la prueba se determino que en las diferentes profundidades su porcentaje de humedad iba en aumento la profundidad de 2.0 mts fue la que contenía mas porcentaje, es importante saber su grado de contenido de agua para sí saber cuánto agua nos puede aportar en la realización de una mezcla.

❏ Determinación De Impurezas Orgánicas.

Con la prueba realizada a las muestra en las profundidades de 0.50, 1.0 y 2.0 mts, los resultados proporcionaron que el contenido orgánico que se encontró en las



profundidades tenían un alto contenido de materia orgánico, con este resultado se puede decir que no es viable utilizarlo como agregado de concreto.

✚ Análisis Granulométrico.

Para la granulometría del agregado fino se determinó que la muestra de 0.50 mts encontrados y graficados y comparando con los límites de la granulometría se puede deducir que el material está mal graduado y su módulo de finura es inferior al recomendado y se consideran muy fino porque suelen requerir mayores consumo de pasta de cemento, lo cual repercute en los cambios volumétricos y en el costo del concreto.

Las profundidades de 1.0 y 2.0 mts, la muestra está mal graduada comparando los límites de granulometría la retención del material se acumulaba más del 45% en tamices consecutivos, el módulo de finura para ambas fue el mismo y es igual al rango máximo que se puede utilizar para concreto, el material se puede utilizar pero primero se debe de graduar bien para utilizarlo para concreto.

La granulometría del agregado grueso no está bien graduado necesita que se gradúe y esto implica tiempo para poder hacer un concreto esto a su vez implican costos.

✚ Gravedad Específica.

En esta prueba se determinaron dos propiedades del material como es absorción y la gravedad específica del material, la absorción se comprobó por medio del método del cono truncado para el material fino se comprobó que la capacidad de absorción del fino es alta, si se utiliza para concreto la proporción de la mezcla no sería idónea. La gravedad específica del material produjo que contiene material orgánico.



Para el material grueso se utilizó el método de la canastilla, los resultados fueron semejantes al material fino la capacidad de absorción es alta y su gravedad específica produjo que contiene material orgánico lo suficiente para no utilizarlo en concreto de alta resistencia.

❏ Coeficiente De Forma.

El coeficiente volumétrico medio de las gravas es un índice que muestra cuantitativamente la forma de los granos del árido. El dato arrojado para la prueba indica que se puede utilizar para concreto de hormigón armado impermeable.

❏ Desgaste Del Agregado Grueso Por Abrasión E Impacto En La Máquina De Los Ángeles.

El ensayo demostró que el material que se introdujo en la máquina de los ángeles no era de buena calidad ya que el resultado que proporcionó fue mayor del 50 % al desgaste, por lo tanto no se puede utilizar para concreto de alta resistencia.

❏ Análisis Petrográfico.

Con esta prueba representan las características del tipo de roca que se encuentran el material que se utilizó para las pruebas en la mayoría de roca se observa que son del tipo de roca volcánica de flujo de lava y escoria volcánica, las propiedades que tiene la mayoría de la muestra es de media a baja resistencia al desgaste.

Con estas características que produjeron la muestra para el análisis se puede concluir que la materia puede ser utilizada para concreto de baja resistencia o mortero de ligamento o balastado de calle.

Tabla 4. 22: Resumen de parámetros de Pruebas realizadas.

| Muestra | % de humedad | Impurezas orgánicas | Módulo de finura (agregado fino) | Absorción % (agregado fino) | Gravedad específica (agregado fino) | Absorción % (agregado grueso) | Gravedad específica (agregado grueso) | Coefficiente de forma |
|---------|--------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| 0.5 mts | 5.8 | 5 | 1.6 | - | - | - | - | - |
| 1.0 mts | 6.6 | 4 | 3.1 | 8.89 | 2.05 | - | - | - |
| 2.0 mts | 11.8 | 4 | 3.1 | 12.78 | 1.78 | 9.63 | 1.84 | 0.22 |

Fuente: Grupo de Tesis.

Tabla 4. 23: Resumen de Prueba de Granulometría.

| Muestra | Granulometría | | | | | | | | | | | | | | % de desgaste |
|---------|---------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|---------------|
| | % que pasa | | | | | | | | | | | | | | |
| | Grueso | | | | | | | Fino | | | | | | | |
| | 2 ½" | 2" | 1 ½" | 1" | ¾" | ½" | 3/8" | N°4 | N°4 | N°8 | N°16 | N°30 | N°50 | N°100 | |
| 0.5 mts | - | 100 | 93.1 | 90.7 | 87.2 | 80.9 | 76.8 | 65 | 74.5 | 64.7 | 56.5 | 49.2 | 41.6 | 31.60 | - |
| 1.0 mts | 100 | 98.9 | 94.6 | 86.3 | 77.5 | 67.2 | 60.1 | 41.4 | 53.1 | 35.8 | 25.3 | 18.2 | 13.1 | 7.4 | - |
| 2.0 mts | 95.47 | 83.6 | 71.2 | 59.4 | 51.9 | 43.9 | 38 | 23.53 | 55 | 38.9 | 26.7 | 18.2 | 11.9 | 6.8 | 70 |

Fuente: Grupo de Tesis.

Capítulo 5

*Propuesta Para El Uso
Del Material De
Arrastre De Quebrada
La Arenera*



5.1. INTRODUCCIÓN.

El material encontrado en la quebrada la arenera, después de haberle realizado las pruebas de laboratorio y el respectivo análisis podemos decir:

El material presenta una mala graduación granulométrica por lo que para el uso en la construcción se requiere un buen tamizado para clasificar los porcentajes adecuados de material como lo establece la norma ASTM C-136. La norma ASTM C-33 nos muestra los requisitos de granulometrías para agregados finos y agregados gruesos, la que establece el máximo y mínimo es decir, la zona donde debe estar contenido el diagrama granulométrico para que el material sea aceptable para ser utilizado en la elaboración de concreto.

La baja resistencia que tiene el material al desgaste el cual es de un 30 % lo cual comprobamos con los requisitos de la prueba de desgaste y abrasión en la máquina de los Ángeles ASTM C-131 la cual tiene que ser mayor del 50 % aunado a esto el porcentaje de absorción que tiene el material indica que para el diseño de mezclas la reacción química que se produce cuando entra en contacto el agua y el cemento nos produciría una pérdida importante de humedad en la pasta provocándose una baja en la resistencia del concreto o mortero debido a la absorción del material.

Con respecto al contenido de impurezas orgánicas según norma ASTM C-40 se presenta un alto contenido de material orgánico, esto producido debido a que el material de la quebrada se deposita en los muros y se produce un proceso de estancamiento de la escorrentía superficial quedándose en la superficie el material fino sedimentado pasando un proceso de escurrimiento e infiltración a los estratos inferiores del muro.



Es por esto que en la presente propuesta sugerimos la extracción y la utilización del material que se acumula específicamente en el muro de Contención y derivación el cual consta de una zanja para la recepción de materiales.

Propuestas:

1. Para uso en sistemas de infiltración para líquidos.
2. Balastado de caminos.
3. Elaboración de morteros.

5.2. SISTEMAS DE INFILTRACIÓN PARA LÍQUIDOS.

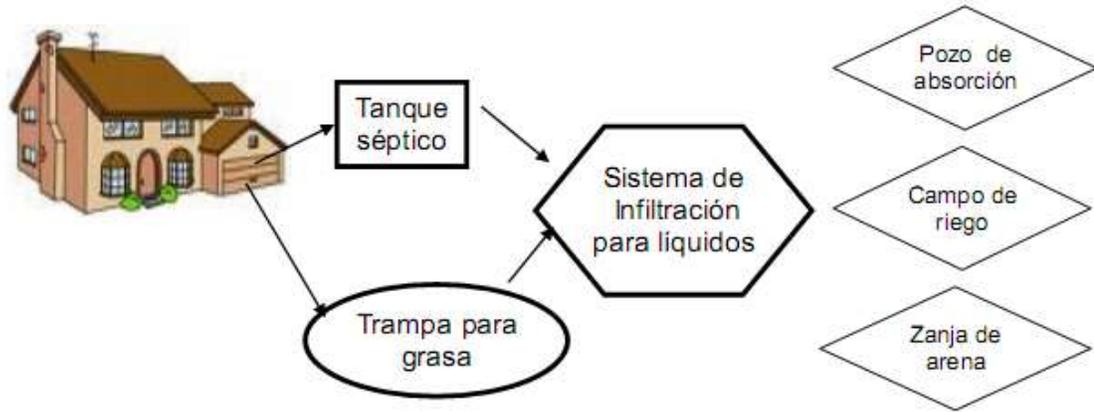
Elementos que componen el sistema de tratamiento individual de aguas negras y grises⁹.

El tratamiento individual de aguas negras y grises a través de un sistema de fosa séptica, está compuesto de tres elementos que son: Tanque séptico, trampa para grasa y sistema de infiltración. Para el caso del sistema de infiltración, existen tres opciones a seleccionar de acuerdo a los criterios técnicos de cada proyecto, los cuales son: Pozo de absorción, zanja de infiltración o campo de riego y zanja de arena filtrante.

⁹ Guía técnica Sanitaria para la Instalación y funcionamiento de Sistemas de Tratamiento Individuales de Aguas Negras y Grises.



Ilustración 5. 1: Elementos del sistema de tratamiento individual de aguas negras y grises.



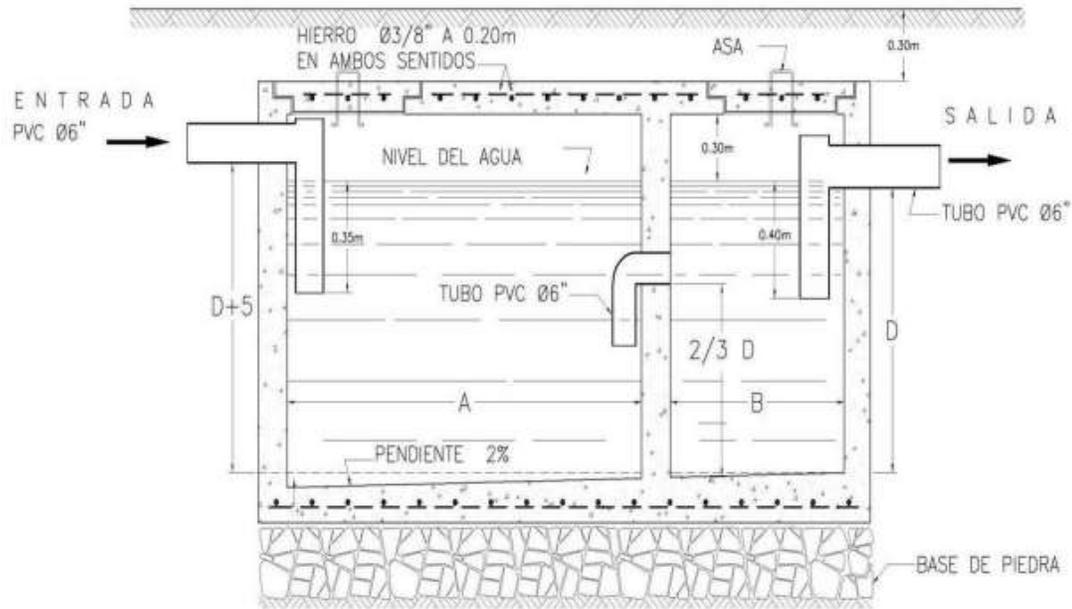
Fuente: Guía Técnica del Ministerio de Salud.

5.2.1. Tanque séptico.

El tanque séptico recibe las aguas negras provenientes de los servicios sanitarios del inmueble, separando los sólidos de los líquidos en dos cámaras de sedimentación (ver ilustración 5.2).



Ilustración 5. 2: Sección de tanque séptico.



Fuente: Guía Técnica del Ministerio de Salud.

Las funciones que se efectúan dentro del tanque séptico son:

- a) **Tratamiento biológico:** Las aguas negras dentro del tanque se encuentran expuestas a la descomposición por efecto de las bacterias y de procesos naturales. Las bacterias que proliferan son del tipo anaeróbicas, las cuales se desarrollan en ausencia de aire es decir de oxígeno libre elemental. El tipo de descomposición que se lleva a cabo y que produce el tratamiento de aguas negras por condiciones anaeróbicas se denomina "séptico".
- b) **Almacenamiento de sólidos y natas:** Los lodos se acumulan en el fondo del tanque, mientras que la nata flota hasta la superficie del líquido; los lodos y la nata deben ser digeridos a través del tiempo de retención en el tanque séptico reduciendo su volumen.



Para el diseño del tanque séptico se debe considerar la dotación de agua por persona por día (para acometida domiciliar en zonas suburbanas y rurales se consideran 100 litros/habitante/día y para zonas urbanas 150 litros/habitante/día).

La capacidad del tanque debe ser tal que permita la retención de aguas residuales por un período de 24 a 40 horas, para que se desarrollen los procesos de sedimentación.

La capacidad mínima del tanque séptico debe ser calculada para un mínimo de 6 habitantes por inmueble. Las dimensiones del tanque séptico de doble cámara se calculan de acuerdo a la tabla 5.1.

Tabla 5. 1: Dimensiones del tanque séptico

| No. personas | Dimensiones en metros | | | |
|------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|
| | A | B | C | D |
| 6 o menos | 2.00 | 1.00 | 1.00 | 1.30 |
| 9 | 2.30 | 1.15 | 1.00 | 1.30 |
| 12 | 2.60 | 1.30 | 1.15 | 1.30 |
| 15 | 3.00 | 1.45 | 1.30 | 1.30 |
| 50 | 5.40 | 2.60 | 1.60 | 1.60 |
| 100 | 6.60 | 3.30 | 2.00 | 2.00 |

Fuente: Guía Técnica del Ministerio de Salud.

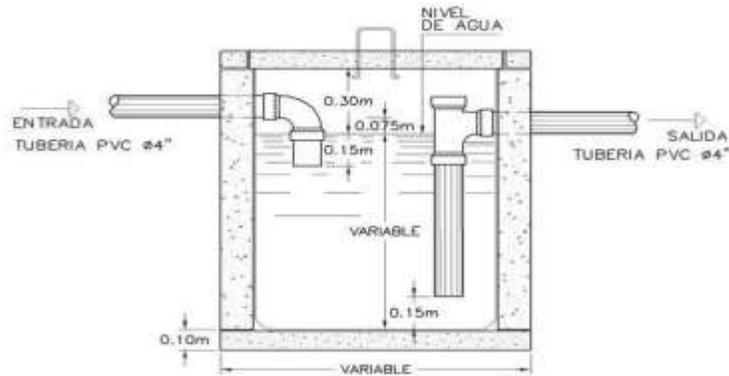
5.2.2. Trampa para grasa.

La trampa para grasa es un dispositivo de fácil construcción que debe instalarse a la salida de los artefactos que generan aguas grises (ilustración 5.3) (lavaderos, lavatrastos, duchas, lavadoras y lavamanos). El agua retenida en la trampa para grasa



debe canalizarse directamente al pozo de absorción u otro sistema de infiltración. Es preferible ubicarla en lugares bajo sombra para mantener bajas temperaturas, para que la grasa se solidifique y no se mezcle con el agua, lo que permite la reducción de olores. Para el diseño de la trampa para grasa debe considerarse un gasto de agua de 8 litros por persona por día. La capacidad o volumen disponible de la trampa debe ser mayor o igual a 120 litros.

Ilustración 5. 3: Trampa de grasa.



Fuente: Guía Técnica del Ministerio de Salud.

5.2.3. Pozo de absorción.

El pozo de absorción es un elemento opcional de infiltración. Es el elemento final de la fosa séptica, que recibe los líquidos provenientes del tanque séptico o trampa para grasa (ver ilustración 5.4). El pozo de absorción permite el tratamiento de los líquidos a través de materiales pétreos como piedra, grava y arena, previo a la disposición final al cuerpo receptor (suelo). Para mantener la verticalidad y buen funcionamiento del pozo de absorción se recomienda colocar el material filtrante de la siguiente manera:

- a) Del fondo del pozo de forma ascendente colocar una capa de arena limpia.



- b) Sobre la capa de arena colocar una capa de grava.
- c) De la capa de grava hasta 50 centímetros debajo de la caída del efluente colocar piedra cuarta.

El espesor de cada una de las capas a colocar dependerá de la profundidad del pozo. La distribución de las capas debe ser lo más equitativa posible en cuanto a su espesor.

Ilustración 5. 4: Sección de pozo de absorción



Fuente: Guía Técnica del Ministerio de Salud.



5.2.3.1. Prueba de infiltración para determinar profundidad de pozo de absorción

Se recomienda que el suelo donde se haga la prueba no esté saturado de agua, si la prueba se realiza en época lluviosa, es preferible esperar como mínimo dos días sin lluvia para efectuarla. La ejecución de la prueba de infiltración será responsabilidad de la persona natural o jurídica solicitante, con asesoría del delegado de la Unidad de Salud respectiva. La prueba se realiza mediante la técnica descrita a continuación:

La excavación donde se deposita el agua, debe tener 0,30 metros X 0,30 metros de base X 0,35 metros de profundidad. Después de finalizar la excavación, se coloca una capa de 5 centímetros de arena gruesa o grava en el fondo.

Llenar con agua en toda la altura de la excavación y dejar que se consuma totalmente.

Llenar nuevamente para saturar el suelo hasta una altura del agua de 15 centímetros a partir del fondo y se determina el tiempo en el que el agua baja 2,5 centímetros.

Si el tiempo es mayor de 30 minutos, es un terreno inadecuado por lo que ya no se recomienda la instalación del pozo de absorción y se sugiere la instalación de un sistema de arena filtrante. Si el tiempo es menor o igual a 10 minutos es un terreno arenoso o muy permeable.

Con el tiempo de infiltración se determina el coeficiente de absorción del suelo de acuerdo a tabla 5.2

Conociendo el coeficiente de absorción, la profundidad efectiva del pozo se determina con base a la siguiente fórmula:



$$H = \frac{K1 \times N}{D}$$

Donde:

H: profundidad efectiva del pozo en metros (altura total en la que se deposita el material filtrante; a esta altura se debe adicionar 50 centímetros sobre la capa de piedra cuarta hasta la caída del efluente más la altura del broquel del pozo)

K1: coeficiente de absorción en metro²/persona/día

N: número de habitantes del inmueble

D: diámetro medio del pozo en metros

Tabla 5. 2: Coeficiente promedio de absorción del terreno¹⁰

| Tiempo en minutos para que el nivel de aguas baje 2.5 cm | Superficie de filtración requerida por persona por día por metro² (k₁) |
|---|---|
| 1 | 0.88 |
| 2 | 1.08 |
| 5 | 1.44 |
| 10 | 2.25 |
| 30 | 4.5 |
| Más de 30 | Terreno inadecuado |

Fuente: Guía Técnica del Ministerio de Salud.

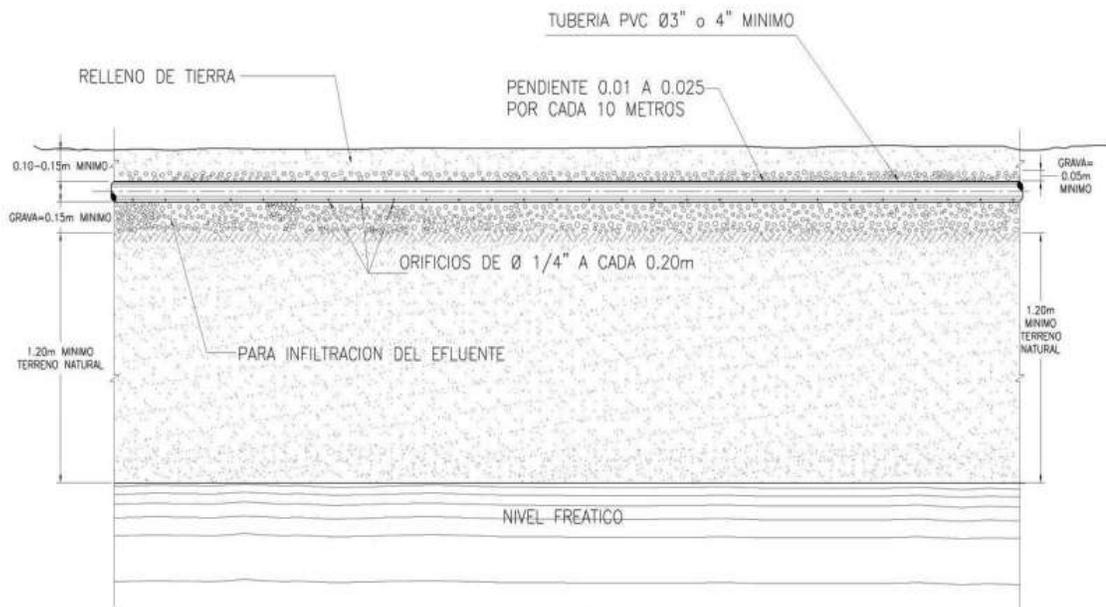
¹⁰ Para calculo de profundidad efectiva de pozo de absorción



5.2.4. Zanja de infiltración o campo de riego.

Es un elemento opcional utilizado para descargar el efluente proveniente del tanque séptico y de la trampa para grasa. El afluente se dispone a través de las zanjas en el subsuelo, permitiendo su oxidación y disposición (ver ilustración 5.5).

Ilustración 5. 5: Zanja de infiltración o campo de riego.



Fuente: Guía Técnica del Ministerio de Salud.

La profundidad de las zanjas se determina de acuerdo con la elevación del nivel freático y la tasa de infiltración. La profundidad máxima será de 0,60 metros, procurando mantener una separación mínima de 1,20 metros entre el fondo de la zanja y el nivel freático. La zanja de filtración o campo de riego se recomienda cuando los valores de la tasa de infiltración oscilan entre 0,41 a 25 minutos por centímetro, según tabla 5.3 y cuando el nivel freático sea menor de 5 metros de profundidad.



El diseño se basa en los siguientes criterios técnicos:

- a) Se diseña de acuerdo a prueba de infiltración.
- b) El número mínimo de líneas de tubería será de dos.
- c) La longitud máxima de línea será de 30 metros.
- d) Separación mínima entre líneas de tubería será de 1,80 metros.
- e) La profundidad de las zanjas varía de 0,45 - 0,60 metros.
- f) El ancho de la zanja debe ser de 0,45 metros como mínimo.
- g) La pendiente de las tuberías será de 0,01 – 0,025 metros por cada 10 metros.

Longitud de Tuberías:

- a) En terrenos conformados por arena gruesa: 1,5 metros/persona
- b) En terrenos conformados por arena fina: 3,0 metros/persona
- c) En terrenos areno-arcillosos: 4,0 metros/persona

En terrenos en los que no se disponga de espacio longitudinal suficiente, la tubería debe dividirse en ramales paralelos de tal forma que la sumatoria de los ramales sea igual o mayor a la longitud requerida en el diseño.

Consideraciones de instalación:

- a) Debe respetarse las propiedades de absorción del suelo.
- b) Para determinar la longitud de la tubería de drenaje se recurre a la prueba de infiltración.
- c) Las tuberías que comúnmente se usan son de 3 y 4 pulgadas.



- d) Las tuberías deberán ser perforadas con dos líneas paralelas de orificios en su parte inferior de $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro, a cada 20 centímetros.
- e) No deben excavar las zanjas cuando el suelo este húmedo.
- f) El tamaño de grava a utilizar en el filtro es de 1,2 – 6,3 centímetros. No debe utilizarse material fino, para evitar obstrucción.
- g) La altura mínima de grava a colocar bajo los tubos es de 0,15 – 0,20 metros.
- h) Colocar por lo menos 30 centímetros de grava bajo el tubo cuando haya árboles o arbustos a 3 metros de distancia.
- i) Se recomienda que la excavación se realice en forma manual.
- j) La compactación debe realizarse manualmente y sobrellenada con 0,10 – 0,15 metros de tierra.
- k) La colocación de los tubos dependerá de la topografía.

Por otra parte, las características de permeabilidad de un suelo se miden a través de una prueba de infiltración, que permite obtener un valor estimado de la capacidad de absorción de un determinado sitio. El procedimiento recomendado para realizar tales pruebas se presenta a continuación:

5.2.4.1. Prueba de infiltración para diseño e instalación de la zanja de infiltración o campo de riego.

Excavar como mínimo seis pozos espaciados uniformemente dentro del área propuesta para el campo de infiltración.

Las excavaciones para realizar las pruebas deben tener lados o un diámetro de 0,30 metros, excavados hasta la profundidad del campo de riego o zanja de infiltración



propuesta. Las paredes de las excavaciones deben ser raspadas, con el propósito de lograr una absorción natural del suelo, y agregar una capa de arena gruesa o grava fina de 0,05 metros de espesor para proteger el fondo.

Agregar agua a la excavación de prueba hasta el nivel del terreno por 4 horas. Si el suelo es altamente permeable se debe agregar más agua hasta cumplir las 4 horas para lograr la saturación del mismo.

24 horas posteriores a la saturación de la excavación de prueba, se determina la tasa de infiltración de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- a) Agregar nuevamente agua a la excavación de prueba hasta el nivel del terreno.
- b) En terrenos poco permeables la prueba de infiltración se realiza midiendo el descenso del nivel del agua durante intervalos de 30 minutos en un período de 4 horas.
- c) El descenso que ocurre durante el período final de 30 minutos se usa para calcular la tasa de infiltración.
- d) En terrenos permeables la prueba de infiltración se realiza midiendo el descenso del nivel del agua durante intervalos de 10 minutos en un período de 1 hora.
- e) El descenso que ocurra en los últimos 10 minutos se usa para calcular la tasa de infiltración.



Tabla 5. 3: Valores aproximados de tasa de infiltración para cálculo de zanjas de infiltración y de arena filtrante.

| TASA DE INFILTRACION* (Minutos/centímetro) | TASA DE INFILTRACION PARA PRUEBA DE INFILTRACION UTILIZANDO POZOS DE PRUEBA DE 0.30 METROS DE DIAMETRO (Litros/metros²/día) |
|--|---|
| 0.41 | 189 |
| 0.83 | 130 |
| 1.25 | 109 |
| 1.66 | 94 |
| 2.08 | 83 |
| 4.16 | 60 |
| 6.25 | 49 |
| 12.50 | 34 |
| 18.75 | 30 |
| 25.00 | 22 |

*Tiempo en minutos que tarda el agua en bajar un centímetro, durante la prueba de infiltración.

Fuente: Guía Técnica del Ministerio de Salud.

Conociendo la tasa de infiltración, el área de absorción se determina con base a la siguiente fórmula:

$$A = \frac{QP}{R}$$

Donde:

A = es el área de absorción en metros²

Q = es la aportación en litros/habitante/día

P = es el número de habitantes del inmueble

R = es la tasa de infiltración en litros/metros²/día



Área de absorción: es el número necesario de metros cuadrados de suelo para infiltrar la aportación del efluente del tanque séptico.

El resultado de la fórmula anterior, servirá para calcular la longitud total de la tubería de drenaje, para lo cual se deberá sustituir este valor en el cálculo del área de la zanja:

$$\text{Área} = (\text{Ancho de Zanja}) (\text{Longitud de Zanja en metros})$$

Por tanto:

$$\text{Longitud de Zanja} = \text{Área} / \text{Ancho de Zanja (en metros)}$$

La longitud total obtenida podrá dividirse en ramales paralelos, cuyo número dependerá del espacio del terreno disponible.

Para valores superiores a 25 minutos/centímetros de tasa de infiltración, se considera que el terreno no es apto para la construcción de zanjas de infiltración y por lo tanto debe adoptarse otra solución alternativa para el tratamiento y disposición del efluente del tanque séptico, tal como la zanja de arena filtrante.

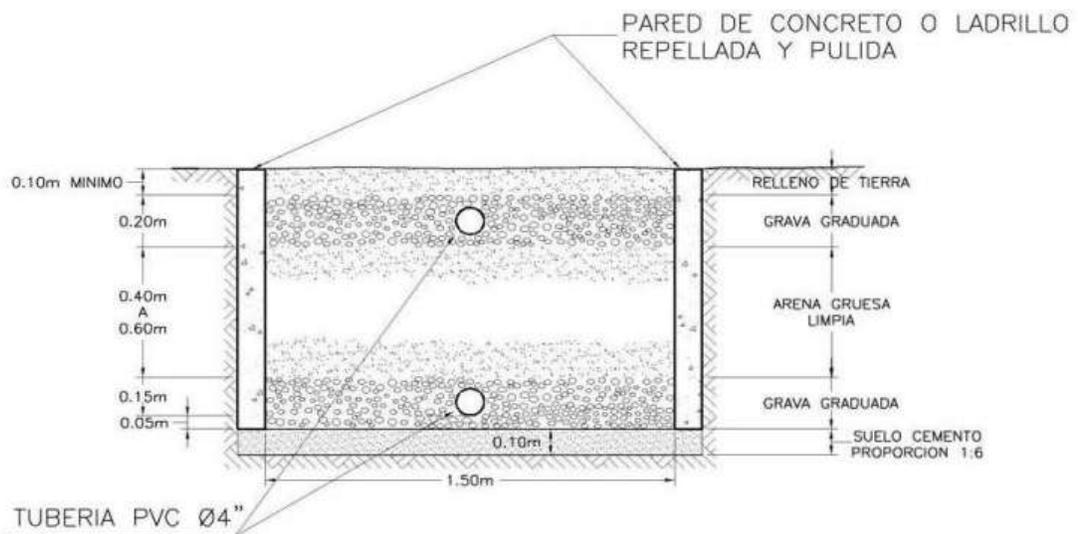
5.2.5. Zanja de arena filtrante.

Cuando el suelo disponible es relativamente impermeable, con tasas de infiltración mayor de los 25 minutos/centímetro, el empleo de zanjas de infiltración o campo de riego no es recomendable, debido a la extensión del terreno requerido y a su correspondiente costo. En tales casos se puede recurrir a las zanjas de arena filtrante como una alternativa de tratamiento complementario para efluentes de tanques sépticos.



La zanja de arena filtrante consiste en una caja de ladrillo o concreto de 0,75 m de altura como mínimo, conformada con cuatro paredes laterales. En el fondo de la zanja, se coloca una capa de 0,10 metros de suelo cemento de proporción 1:6, rellenándola ascendentemente con grava No. 2 hasta 0,05 metros arriba, sobre el tubo inferior; posteriormente se coloca una capa de arena gruesa limpia hasta una altura máxima de de 60 centímetros y otra capa de grava No. 2 sobre la arena gruesa hasta cubrir el tubo superior, rellenando con tierra hasta completar la altura de la caja (ver ilustración 5.6).

Ilustración 5. 6: Zanja de arena filtrante.



Fuente: Guía Técnica del Ministerio de Salud.

Las zanjas de arena filtrante se componen de una serie de zanjas similares a las de infiltración pero con dos grandes diferencias: la primera, bajo la capa de grava que contiene la tubería de distribución, se adiciona una capa de arena que sirve como



medio filtrante, y la segunda, porque el efluente del tanque séptico no es infiltrado en el subsuelo sino drenado en una tubería localizada en la parte inferior de la zanja, abajo de la capa de arena.

El líquido drenado en la tubería localizada en la parte inferior de la zanja, se deposita en una caja de ladrillo de dimensión de un metro cúbico como mínimo, instalada a una distancia mínima de un metro del límite de las zanjas (para terreno rocoso o nivel freático superficial) o en un pozo de absorción cuando el terreno sea arenoso.

Las aguas resultantes de la caja se pueden esparcir en el terreno periódicamente. En el caso de instalar un pozo de absorción, el líquido se infiltra en el terreno.

Los parámetros básicos de las zanjas de arena filtrante son:

Área horizontal: Es el área requerida para el lecho filtrante. Se determina utilizando la siguiente relación:

$$A = \frac{QP}{R}$$

Donde:

A: es el área horizontal del lecho filtrante en metros²

Q: es la aportación en litros/habitante/día

P: es el número de habitantes del inmueble

R: es la tasa de infiltración en litros/metros²/día

Para realizar la prueba de infiltración para diseño e instalación de la zanja de arena filtrante, se debe utilizar el mismo procedimiento descrito en el numeral



5.1.4.1. Zanja de infiltración o campo de riego.

Ancho de la zanja de absorción: Se recomienda usar el ancho de zanja aproximado de 1,50 metros. Si es necesario el uso de una segunda línea, ésta podrá construirse colindando con la primera, duplicándose el ancho de la zanja. En este caso, sólo se requerirá una tubería de recolección localizada a la distancia media entre las dos tuberías de distribución.

Las capas de grava que rodean las tuberías de distribución y recolección tendrán un espesor de 0,15 metros; la capa de arena tendrá un espesor entre 0,40 y 0,60 metros, y el recubrimiento de tierra tendrá una profundidad de 0,10 metros.

Dosificador: Cuando el área de las zanjas de absorción sobrepase 170 metros², se recomienda la instalación de un elemento dosificador a la salida del tanque séptico.

Dicho elemento podrá ser un sifón, una bomba o cualquier otro sistema que cumpla con esta función. El tamaño del tanque y del elemento dosificador estará determinado por las aportaciones a tratar.

Para construir una zanja de arena filtrante, se requieren los siguientes materiales:

- a) Grava o piedra triturada de granulometría variable comprendida entre 20 y 50 milímetros.
- b) Arena lavada gruesa que pase 100% la malla número 4, con un tamaño efectivo de 0,30 a 0,60 milímetros.
- c) Tubería de 4 pulgadas de diámetro con perforaciones.



- d) Las tuberías deberán ser perforadas con dos líneas paralelas de orificios de $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro, a cada 20 centímetros. Los orificios de la tubería superior se perforan en la parte inferior de la misma; y en la parte superior para la tubería colocada en la parte inferior de la zanja.

Las tuberías de distribución y recolección deberán estar rodeadas de grava o piedra partida con tamaños entre 20 y 50 milímetros. El lecho de arena por encima de la tubería de recolección deberá ser consolidado, antes de colocar la tubería distribuidora, con el objeto de evitar asentamientos y falta de alineación en la misma.

5.3. BALASTO DE CAMINOS.

Definición: Es un material clasificado que se coloca sobre la subrasante terminada de una carretera, con el objeto de protegerla y que sirva de superficie de rodadura¹¹.

La actividad de reposición de la capa de balasto consiste en el suministro, transporte y colocación del material de préstamo con la humedad requerida; conformación y compactación, de acuerdo con el espesor que se indique en los planos y lo descrito en las Especificaciones Generales y en las Disposiciones Especiales. El trabajo incluye la limpieza del banco de préstamo, obtención, explotación, acarreo, escarificación de la superficie donde se colocará, colocación, homogenización o mezcla, conformación, humedecimiento, compactación y afinamiento de la superficie de rodadura incluyendo cunetas de acuerdo a la sección típica definida. El material de balasto se colocará en todos aquellos tramos donde se haya perdido la capa de revestimiento con que fue

¹¹ Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras.



construido originalmente, o en aquellos tramos que a criterio del Supervisor se encuentran en estado crítico con espesores deficientes, y/o representen problemas para la adecuada transitabilidad. Todo el material sobrante se debe retirar para evitar que obstruyan las cunetas.

La porción de balasto retenida en el tamiz No. 4 (4.75 mm), debe estar comprendida entre el 60 % y el 40 % en peso y debe tener un porcentaje de abrasión no mayor de 60, determinado por el método AASHTO T-96; la porción que pase el tamiz No. 40 (0.425 mm), debe tener un límite líquido no mayor de 35, determinado por AASHTO T-89 y un índice de plasticidad entre 5 y 11, determinado por el método AASHTO T-90; y la que pase el tamiz No. 200 (0.075mm), no debe exceder del 15 % en peso, determinado por el método AASHTO T-11.

Tabla 5. 4: Granulometría del balasto

| TAMIZ | % QUE PASA |
|------------------|------------|
| 75mm (3") | 100 |
| 50mm (2") | 90-100 |
| No 4 (4.75mm) | 30-70 |
| No 200 (0.075mm) | 8-20 |

Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras.



Ilustración 5. 7: Conformación y Balastado de caminos.



Fuente: Grupo de Tesis.

5.3.1. Comportamiento vibratorio de la capa de balasto

De un modo tradicional, los estudios referidos a su deformabilidad se han llevado a cabo en base a criterios tensionales, tratando de determinar el valor máximo admisible para evitar un deterioro rápido. Sin embargo, el aumento de la velocidad de circulación en líneas de nueva construcción ha permitido comprobar que la vibración generada en el balasto puede incidir en su deterioro de forma más importante que el nivel de presión que reciba este material granular. En consecuencia, se impone prestar una atención detallada a este fenómeno.

La experiencia disponible en el campo del comportamiento de las arenas sometidas a vibración ha orientado trabajos análogos sobre el balasto. En el estado actual de conocimiento, parece demostrado que por encima de un cierto nivel de aceleraciones se provoca una descompactación de la capa de balasto.



5.4. ELABORACIÓN DE MORTEROS.

La trabajabilidad es la propiedad más importante en el estado plástico de un mortero. Se puede definir como la facilidad que permite el mortero al aplicarse sobre las superficies a recubrir o sobre las unidades de mampostería. Es el resultado de la interacción de las partículas que forman los agregados y depende directamente de la cantidad de lubricante (agua) presente en la mezcla. Se puede cuantificar en términos de plasticidad y fluidez de la mezcla por pruebas de laboratorio. El ajuste final del grado de trabajabilidad, puede ser regulado por el albañil en la obra controlando la cantidad de agua que se agrega a la mezcla. Esta característica es muy importante para lograr con los morteros de mampostería una diversidad de acabados.

La cohesión del mortero, es decir, la capacidad de mantener sus partículas unidas entre sí, está directamente ligada a la trabajabilidad de mortero, si el mortero tiene buena cohesión permite buena trabajabilidad. La capacidad del mortero de mantenerse húmedo es definida por el grado de retención de agua del mortero. Es esencialmente importante cuando se aplica el mortero sobre superficies o unidades de mampostería altamente absorbentes, que despojan al mortero de la humedad necesaria para ser trabajable. Ante la absorción de la superficie se produce además un efecto deshidratador en el mortero que puede afectar su proceso de fraguado cuando se utiliza un cemento hidráulico. La retención de agua y la influencia de las condiciones del clima deben ser tomadas en cuenta cuando se diseñan morteros. Durante el verano, el mortero debe tener mucha retención de agua para evitar el fenómeno de la evaporación. En el invierno, una



poca retención de agua es recomendada, ya que esto facilita que el agua se consuma antes de que se congele.

5.4.1. Propiedades En Estado Endurecido.

En el estado endurecido la propiedad más importante de un mortero de mampostería es su capacidad de adherencia, que se define como la capacidad de pegarse a la superficie de trabajo. Otra propiedad deseable de los morteros de mampostería es la durabilidad, que es la capacidad del mortero de resistir el envejecimiento, los cambios de clima y los efectos nocivos de la intemperie durante su vida útil.

Ilustración 5. 8: Concreto sujeto al intemperismo.



Fuente: Grupo de Tesis.

La resistencia a tensión y a compresión son también propiedades deseables del mortero. Una buena resistencia a tensión del mortero evita la aparición de grietas. Una razonable velocidad de fraguado acompañado de una aceptable resistencia a compresión son factores que permiten que una construcción logre avanzar sin retrasos.



5.5. FORMA DE EXTRACCIÓN DEL MATERIAL.

Debido a que no se obtuvo acceso completo a los estudios y cálculos realizados para el diseño de las obras de mitigación realizadas en el programa DIPECHO II, simplemente la información general no podemos determinar a ciencia cierta la cantidad total de material que baja por la quebrada la arenera; hemos determinado tres etapas para la extracción:

1. Monitoreo por parte de un comité de la comunidad el Carreto y la ADESCO.
2. Gestión de maquinaria para la extracción del material acumulado en los muros.
3. Método de extracción controlada del material.

5.5.1. Monitoreo por parte de la comunidad el Carreto.

El monitoreo por parte de la comunidad del El Carreto es de suma importancia pues la población de este caserío es uno de los más afectados por causa de los deslaves producidos en la quebrada la Arenera.

Esto quedo plasmado en las recomendaciones que emitió el Servicio Nacional de Estudios Territoriales el cual efectuó una última inspección el mes de febrero de 2004, en la que se comprobó que no se habían realizado trabajos de mantenimiento en los muros y las zanjas, por lo que emitió una nota de recomendaciones a las autoridades locales¹².

¹² Revista Pobres x Desastres.



Aunque se ha podido constatar en los últimos años que en la función de las obras construidas no ha habido afectación de sedimentación de materiales al núcleo de Los Carretos, es aún patente la falta de organización y de un plan de mantenimiento que garantice la sostenibilidad de estas obras (ver ilustración 5.9).

Ilustración 5. 9: Muros de demarcación parcialmente cubiertos de materiales volcánicos arrastrados desde la parte alta del volcán de San Miguel con presencia de cobertura vegetal.



Fuente: Grupo de Tesis.

5.5.2. Gestión de maquinaria para la extracción del material.

Otra de las tareas importantes que tienen las comunidades del cantón el Volcán específicamente el caserío el Carreto es la gestión de maquinaria para realizar labores de mantenimiento y extracción del material depositado en los muros. Este puede ser a través del Ministerio de Obras Públicas, Gobernación San Miguel o por medio de las alcaldías ya sea la de San Miguel o la de Chinameca, esta última por estar ubicada en los límites con el municipio de San Miguel y por ser el Cantón El Conacastal uno de los afectados con el material que baja por esta quebrada.

Por otra parte la ADESCO previa reunión con la comunidad puede gestionar con empresas privadas de terracería la extracción del material lográndose un convenio de



maquinaria por material, esto quiere decir que la empresa que extraiga el material puede hacer uso del mismo para proyectos propios o de beneficio de otras comunidades.

5.5.3. Método de extracción controlada del material.

5.4.3.1. Descapote o carga.

El descapote ó carga se realiza en una capa de espesor variable que puede ser de 0.30m a .50m, debido a que el material que está en la superficie presenta alto grado de materia orgánica. Este deberá ser transportado hacia un terreno o zanja que necesite ser rellenado en las cercanías del lugar de la extracción (ver ilustración 5.10).

Ilustración 5. 10: Relleno completo de una zanja, los materiales han sido derivados hacia la orilla izquierda del torrente por el muro de tierra construido.



Fuente: Revista Pobres X Desastres.

5.5.3.2. Extracción y transporte.

Toda extracción que se realice debe tener el aval de la comunidad a través de la ADESCO y toda obra que se ejecute tendrá que estar un representante de la comunidad para verificar que a la hora de la extracción no sufra ningún tipo de daño la integridad de los muros.



Debido a que la forma del terreno es bastante accidentado el tipo de maquinaria que debe ser empleada para la extracción será la Retroexcavadora ya que esta tiene que remover la primer capa de material contaminado y posteriormente excavar sin dañar las paredes y bases de los muros, la ventaja de esta maquinaria que en un extremo trae una pala para la excavación y el otro extremo sirve para cargar y montarlo en los camiones de volteo o de estaca para su traslado al lugar de acopio o depositarlo en alguna zanja o muro derivador de tierra.

Ilustración 5. 11: Retroexcavadora y camión de estaca.



Fuente: <http://www.construmarket.com.sv/homees.htm>

5.5 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DEL MATERIAL PARA SU EXTRACCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN.

Debido a que el material de arrastre depositado en los muros de Derivación y Contención en la Quebrada La Arenera, sufre un proceso de contaminación, ya que, a su paso se mezcla con la vegetación existente, y esto produce que el material se desnaturalice de su composición natural.



Aparte de este proceso, cuando el material se encuentra retenido sufre un proceso de estancamiento e infiltración de la escorrentía superficial produciendo una contaminación en la estructura de cada partícula de material.

Con el análisis de la propuesta y los resultados de las pruebas de laboratorio se demostró que el material se puede utilizar para uso en obras que no demanden altas resistencias del concreto, como balastado de caminos, aceras, muros de mampostería de piedra, y que no tengan un estricto control de calidad.

En el caso que se utilizara el material para la comercialización esto provocaría que el área de extracción se incremente produciendo así el riesgo de deslizamientos, también se produciría el debilitamiento de las paredes de la cámara magmatica produciendo una posible erupción hecha por procesos humanos y no por procesos naturales; poniendo en riesgo no solo las comunidades en las faldas del volcán, si no todas las comunidades aledañas delimitadas en el mapa de riesgo por flujo de lava elaborado por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales en el Volcán de San Miguel.

La extracción del material solo se debe realizar en el área, como una forma de mantenimiento de los muros de contención y derivación para disminuir el riesgo de lahares para las comunidades afectadas por la influencia de la Quebrada La Arenera.

A parte de todo esto el 7 de agosto del año 200 se firmo un acta de prohibición de la extracción del material para su comercialización, esto implica que los miembros de las comunidades son garantes del cumplimiento de este acuerdo, ya que serán ellos los que se verán directamente afectados por deslizamientos producidos a consecuencia del debilitamiento de las laderas.

Capítulo 6

*Conclusiones
Y
Recomendaciones*



6.1. CONCLUSIONES.

- ⊕ La mayoría de pruebas de laboratorio que se realizaron nos indican que el material no es apto para la elaboración de concreto de alta resistencia y concretos reforzados, esto debido al alto contenido de materia orgánica, el porcentaje de absorción es grande, la baja resistencia a la abrasión y la mala graduación que presenta (condición natural del suelo). No obstante este material puede ser utilizado como mortero para la elaboración de muros de mampostería de piedra, fraguado de empedrados, aceras de bajo tráfico, balastado de caminos, tratamiento de aguas residuales, parques u otro tipo de usos; donde no sea necesario que el material presente un estricto control de calidad.
- ⊕ El mantenimiento de las obras de mitigación es fundamental para que estas cumplan la función para lo cual fueron diseñadas, a raíz de esto se debe generar conciencia en los pobladores para que estos sean garantes del buen funcionamiento de las mismas; aunque en los últimos años las obras han desempeñado con éxito su función esto no debe dar paso al descuido por parte de los pobladores de la zona y las autoridades de Protección Civil y el Ministerio de Gobernación ya que de esto depende que sea menor la ocurrencia de desastres.
- ⊕ Una de las piezas claves en esta problemática es la comunidad pues ellos deben garantizar el monitoreo antes, durante y después de la época lluviosa en la verificación de los niveles de saturación que alcancen los muros, para gestionar con las diferentes instituciones involucradas la respectiva inspección técnica y dar paso a la extracción del material.



6.2. RECOMENDACIONES.

- ⊕ Antes de utilizar el material analizado en el presente documento, se tendrá que mezclar con otro tipo de agregado, a fin de llevar el material analizado a una granulometría más uniforme, ya que dicho material presenta una mala graduación.
- ⊕ Descapotar de 50 cm. A 60 cm. El material retenido en los muros de desviación y retención, ya que el mismo presenta gran cantidad de materia orgánica, el cual es perjudicial para la utilización del mismo como agregado.
- ⊕ En futuras investigaciones acerca de las obras de mitigación existentes en la Quebrada La Arenera, dar prioridad a la cuantificación del material acumulado en las mismas anualmente, para poder tener una estimación del recurso que se podría aprovechar.
- ⊕ Gestionar proyectos en instituciones de gobierno, privadas y ONG para la reforestación de la quebrada la arenera para disminuir las escorrentías y desprendimientos y movimiento de suelos en la zona de riesgo que afectan a las comunidades alrededor de la quebrada.
- ⊕ Solicitar a gobernación o las alcaldías involucradas en la problemática la extracción del material depositado en el muro de retención número 1 para la utilización del material extraído por parte de los habitantes de las comunidades afectadas; incluso la misma gobernación o las municipales puedan utilizarlos para en otras comunidades.



*"ESTUDIO GEOMECÁNICO DEL MATERIAL DE ARRASTRE EN
QUEBRADA LA ARENERA, CANTÓN EL VOLCÁN, CASERÍO
LOS CARRETOS, JURISDICCIÓN DE SAN MIGUEL"*

INGENIERÍA CIVIL-FMO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

- ⊕ Como área protegida no permitir la tala de árboles, para que no aumenten las escorrentías y movimientos de suelos ya sea por lluvias o por movimientos sísmico del propio volcán, o movimientos procedentes de las placas tectónicas y fallas geológicas que se encuentran en nuestro país.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Crespo Villalaz, Carlos, Mecánica de los Suelos y Cimentaciones, Editorial Limusa, Quinta Edición, México 2005

- Practica de Materiales de Construcción I.T.O.P.- Práctica N° 6, Universidad de Alicante.

- Determinación de Zonas de riesgo por Lahar para el Volcán San Miguel, El Salvador.

- Guía de Laboratorio de Materiales 2008, Universidad de Santiago de Chile.

- Juárez Badillo, Eulalio, Rico Rodríguez, Alfonso, Mecánica de Suelo, Tomo 1, Editorial Limusa, México, 1995.

- Departamento de Mecánica Estructural, Guía de Laboratorio de Geotecnia, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, Antiguo Cuscatlán, 2007.

- Revista Pobres X Desastres, Geólogos del Mundo, 2003.

- Plan de Emergencia Local Cantón El Volcán.



- Geólogos del Mundo- Ceprode 2002. Proyecto de Prevención de Desastres y Mitigación de Riesgos. "Manejo integral de Amenazas y Vulnerabilidad en el Municipio de San Miguel". Planes de acción para emergencias para los diferentes cantones del sector Nor-Oriente del Volcán Chaparrastique.

- Caracterización de Movimientos de Laderas y Propuestas de Medidas de Estabilización en los Cantones San Antonio, Jocote Dulce y Boqueron del Municipio de Chinameca. Emilia Carlenin Posada Espinoza, Lidia Ibeth Vasquez Arevalo, 2006.

- Unidad Ecológica Salvadoreña. UNES 2003.

Direcciones Electrónicas.

<http://www.cepis.ops-oms.org/>

<http://www.rls.fao.org/prior/reclnat/laderas.htm>

<http://www.waterportalamericas.org>

<http://www.desastres.ceprode.org.sv>

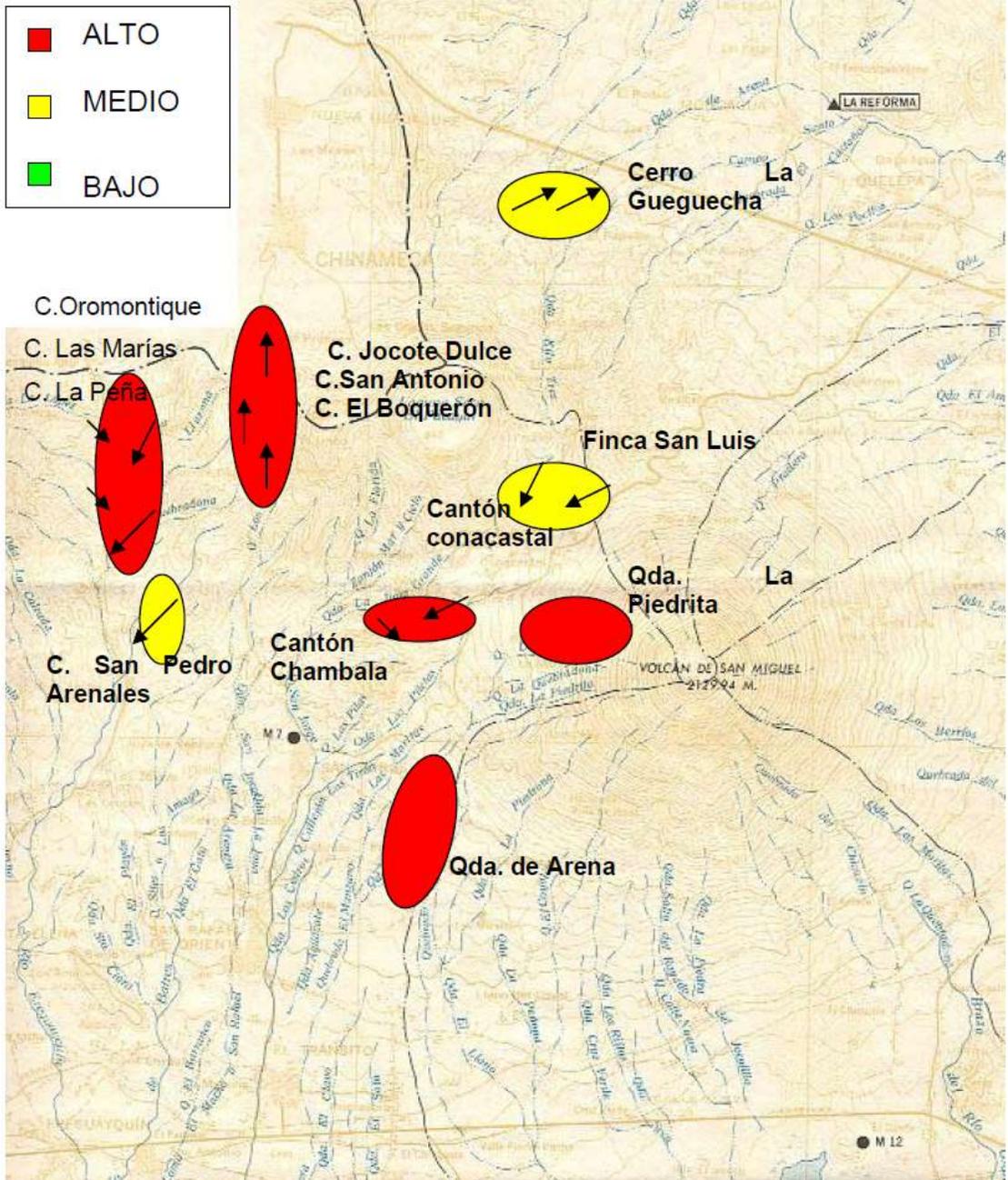
<http://www.ingenieriageologica.com>

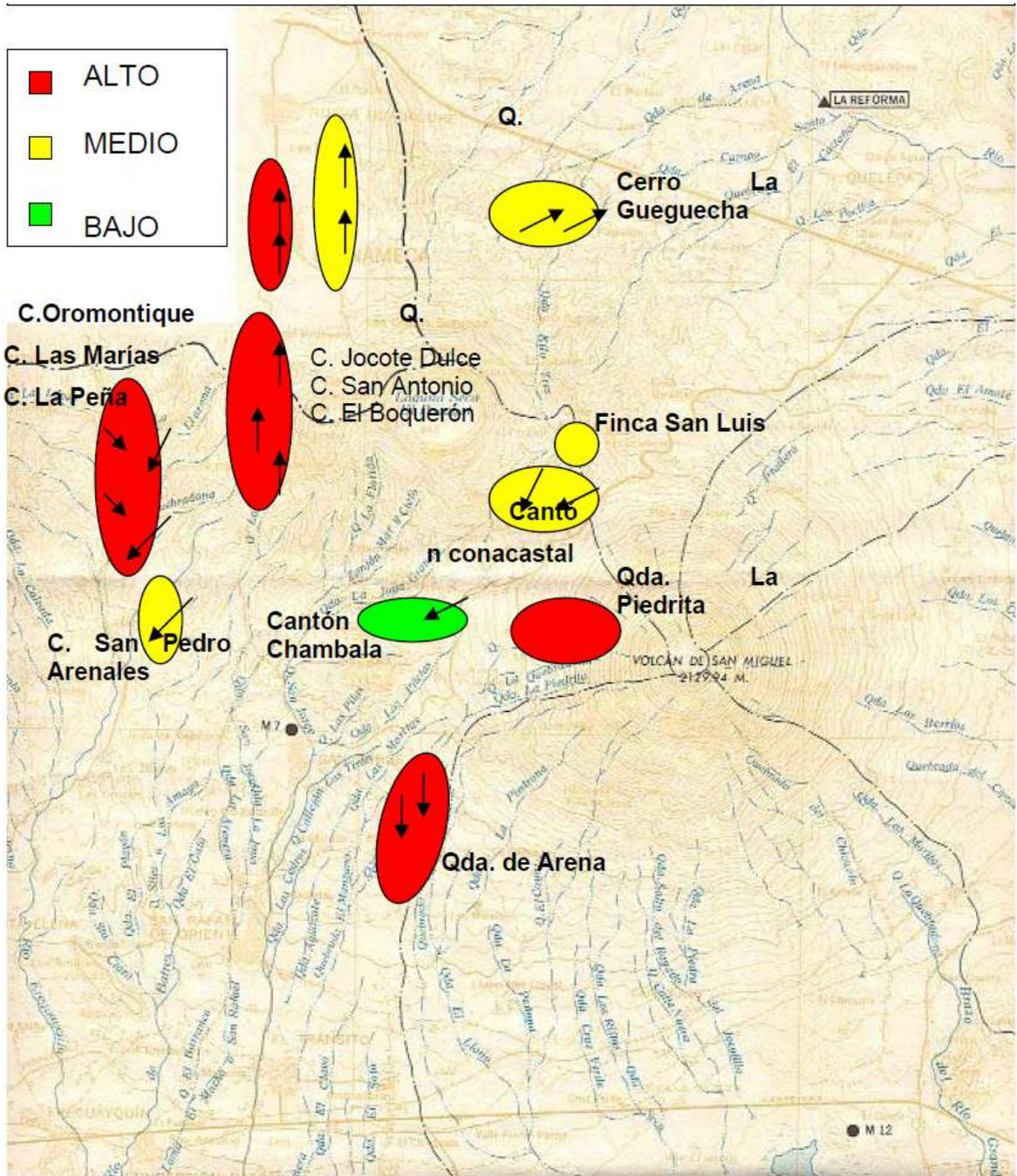
<http://www.elingenierocivil.com>

<http://www.desastres.ops.org.sv>

Anexos

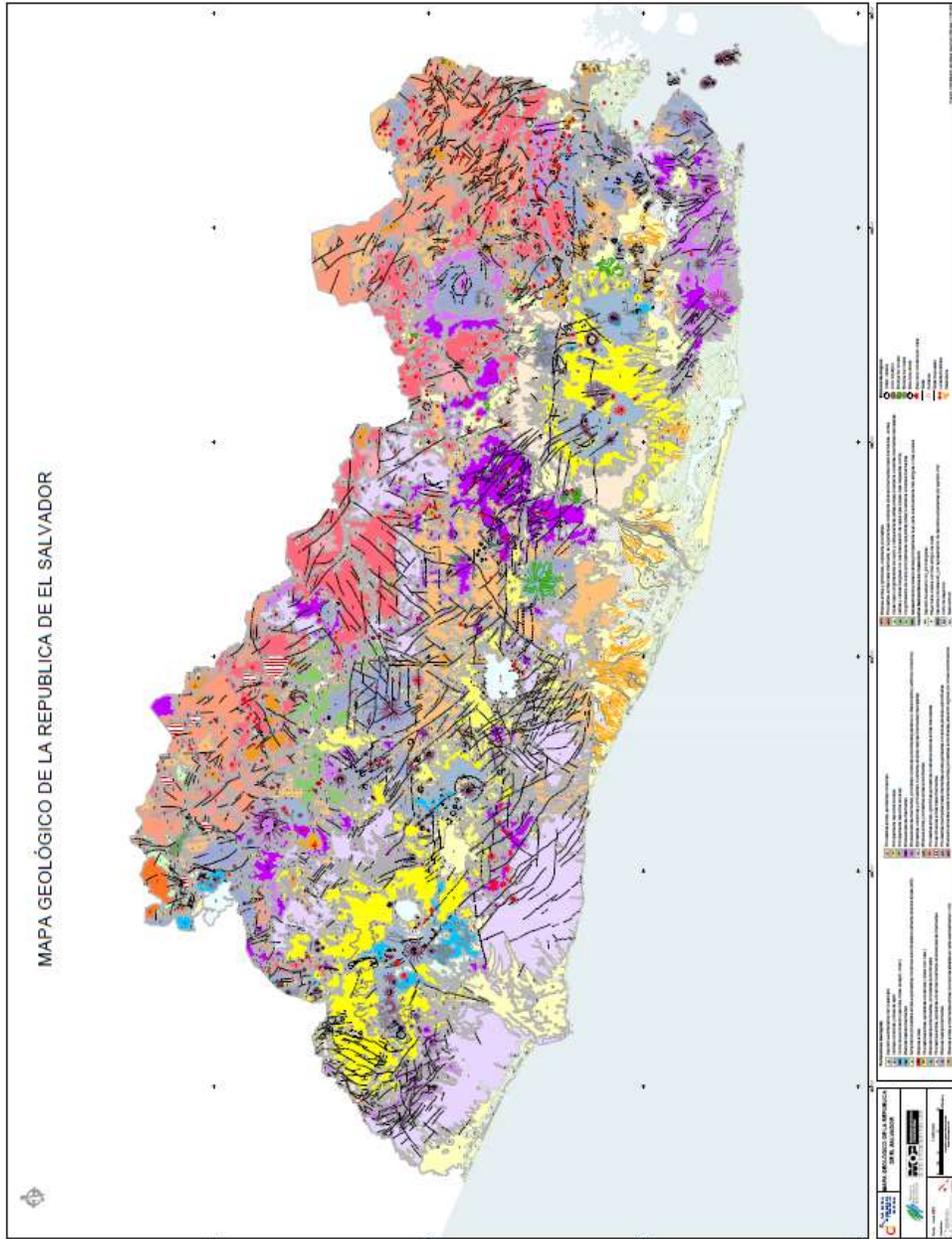
AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS





MAPA GEOLOGICO DE EL SALVADOR

A-4



LEY DE PROTECCION CIVIL, PREVENCION Y MITIGACION DE DESASTRES

Contenido;

DECRETO No. 777

LA ASAMBLEA LEGISLATIVA DE LA REPÚBLICA DE EL SALVADOR,
CONSIDERANDO

POR TANTO:

En uso de sus facultades Constitucionales y a iniciativa de los Diputados Julio Antonio Gamero Quintanilla, Norman Noel Quijano González, Carmen Elena Calderón de Escalón, Enrique Alberto Luis Valdés Soto, José Mauricio Quinteros Cubías y Roberto José d'Aubuisson.

DECRETA la siguiente:

TITULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Objeto de la Ley

Art. 1.- La presente Ley tiene como objeto prevenir, mitigar y atender en forma efectiva los desastres naturales y antrópicos en el país y además desplegar en su eventualidad, el servicio público de protección civil, el cual debe caracterizarse por su generalidad, obligatoriedad, continuidad y regularidad, para garantizar la vida e integridad física de las personas, así como la seguridad de los bienes privados y públicos.

Principios de la Ley

Art. 3.- Los principios que orientan la interpretación y aplicación de esta Ley son los siguientes:

- a) Principio de la Dignidad Humana: La persona humana es el fin principal de la prevención y de la mitigación en caso de desastres, así como en todo lo relacionado con su necesaria protección.
- b) Principio de la Efectiva Protección Civil, Prevención y Mitigación: La prevención, mediante la gestión ecológica de los riesgos, es el medio idóneo para mitigar los efectos de los desastres y para proteger a la población civil frente a una situación de riesgo.

c) Principio de Sustentabilidad: Las acciones de Protección Civil, Prevención y Mitigación en caso de desastres, contarán con la participación comunitaria para favorecer la sustentabilidad y la protección de los ecosistemas amenazados.

f) Prevención: Acciones destinadas a suprimir o evitar definitivamente las consecuencias posiblemente dañinas de un desastre natural o antrópico.

g) Desastre: Es el conjunto de daños a la vida e integridad física de las personas, patrimonio y ecosistemas del país, originados por los fenómenos naturales, sociales o tecnológicos y que requieren el auxilio del Estado. Los desastres pueden ser originados por causas naturales o por el ser humano o antrópicos.

h) Vulnerabilidad: Condiciones específicas de una sociedad que la hacen susceptible de ser afectada por una amenaza natural, siconatural o antrópica, convencionalmente puede agruparse en factores físicos, económicos, ecológicos y sociales.

i) Riesgo: Probabilidad de que un evento amenazante se convierta en un desastre al impactar a un conglomerado social vulnerable. Depende de las dimensiones y características de las amenazas y vulnerabilidades y pueden expresarse en términos de población y bienes materiales expuestos. El riesgo es el producto de la amenaza más la vulnerabilidad y se reduce incidiendo sobre ambos elementos o al menos en uno de ellos

j) Manejo del desastre: Son políticas, planes, programas, proyectos y acciones dirigidas a crear o incrementar las capacidades de una sociedad para enfrentarse a una situación de desastre. Comprenden las fases de preparación, atención a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción.

Art. 6.- Los objetivos del sistema son:

b) Elaborar y coordinar planes y acciones para educar e informar a la población sobre la necesidad de prevenirse adecuadamente ante el evento de posibles desastres de cualquier naturaleza.

c) Elaborar y actualizar los mapas de riesgos en cada nivel organizativo del sistema; así como elaborar los planes operacionales respectivos.

d) Diseñar y ejecutar planes de protección civil, para responder ante el evento de un desastre de cualquier naturaleza, procurando mitigar sus daños o reducir sus impactos.

Comisiones Departamentales, Municipales y Comunales

Art. 10.- Habrá Comisiones Departamentales, Municipales y Comunales de Protección Civil,

Prevención y Mitigación de Desastres que dependerán de la Comisión Nacional. Estas elaborarán su propio plan de trabajo y coordinarán su ejecución con la Comisión Nacional, dichos planes deberán estar acordes a los Planes Nacionales de Protección Civil, Prevención y Mitigación de Desastres.

Comisiones Departamentales

Art. 11.- Las Comisiones Departamentales de Protección Civil, Prevención y Mitigación de Desastres, estarán integradas por:

- a) El Gobernador Departamental que la presidirá.
- b) El Presidente del Consejo de Alcaldes del Departamento.
- c) Los representantes departamentales de las instituciones que pertenecen a la Comisión Nacional.
- d) Un representante de los organismos no gubernamentales que se ocupen del tema en el departamento, que se elegirá en la misma forma que los representantes similares ante la Comisión Nacional.

CAPÍTULO II

DECLARATORIAS DE ALERTAS Y CLASIFICACIÓN

Declaratorias de Alerta

Art. 22.- El Director General podrá declarar diferentes grados de alertas frente a la inminencia, eventualidad o acaecimiento de un desastre, basado en el monitoreo de los fenómenos naturales y la información técnica del Servicio Nacional de Estudios Territoriales.

La declaración de alerta debe ser clara, comprensible y asequible, vale decir, difundida por el máximo de medios, inmediata, sin demora. coherente, oficial o procedente de fuentes autorizadas.

El aviso al público del proceso de alertas lo realizará el Director General, previo informe al Presidente de la República y a la Comisión Nacional.

Clasificación

Art. 23.- Las alertas se clasifican en verdes, amarillas, naranjas y rojas, según la gravedad del desastre esperado o consumado cuyo contenido y oportunidad de emisión, se detallarán reglamentariamente.

Autoridad Máxima

Art. 25.- En caso de que se decrete el Estado de Emergencia, el Presidente de la República será la autoridad máxima en la ejecución de los planes de contingencia de protección civil, así como también de mitigación de desastres.

Deber de Información

Art. 33.- Todos los organismos públicos y privados que tengan en su poder datos o estudios científicos o tecnológicos de posibles eventos sísmicos, hídricos, volcánicos, ambientales, meteorológicos u otros relacionados con desastres, tienen el deber de comunicarlos a la Dirección General inmediatamente y además, suministrarle toda la información que le requiera para cumplir con sus objetivos.

Prevención

Art. 34.- Es un deber de todas las instituciones públicas o privadas que realicen procesos peligrosos o que manejen sustancias o desechos peligrosos, establecer planes apropiados de prevención y atención en el caso de desastres, los cuales deberán ser presentados a la Dirección General.

CAPÍTULO III

DERECHOS Y DEBERES DE LAS PERSONAS EN CASO DE DESASTRES

Derechos de las Personas Frente a los Organismos del Sistema

Art. 35.- Todas las personas que habitan en el país tienen derecho a:

d) Ser escuchado cuando por cualquier motivo tengan información de la ocurrencia posible de un desastre o por un temor razonable que sientan al respecto.

e) Solicitar la construcción de obras que consideren necesarias para prevenir un desastre que pueda afectar su vida, sus bienes o de su comunidad ante la Dirección General.

CÁLCULOS

A-6

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO POR SECADO. ASTM C-566.

A-6-1

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W_{sw} - W_{ss}}{W_{ss}} \times 100$$

Donde:

W_{sw}: peso de la muestra húmeda.

W_{ss}: peso de la muestra seca.

Profundidad de 0.50 mts.

$$\% \text{ Humedad}_{0.5 \text{ mt}} = \frac{3647 - 344.6}{344.6} (100) = \mathbf{5.83}$$

Profundidad de 1.0 mts

$$\% \text{ Humedad}_{1.0 \text{ mt}} = \frac{320.1 - 300.4}{300.4} (100) = \mathbf{6.55}$$

Profundidad de 2.0 mts

$$\% \text{ Humedad}_{2.0 \text{ mt}} = \frac{309.7 - 277.0}{277.0} (100) = \mathbf{11.80}$$

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

A-6-2

CALCULO DE PESO RETENIDO PARCIAL EN LAS MALLAS MATERIAL FINO

Profundidad de 0.50 mts

$W_{total}=1097.30$ gr

Muestra que quedo en la malla 4

$W=279.7$ gr

Muestra que quedo en la malla 8

$W= 108.10$ gr

Muestra que quedo en la malla 16

$W= 89.40$ gr

Muestra que quedo en la malla 30

$W= 79.20$ gr

Muestra que quedo en la malla 50

$W= 83.3$ gr

Muestra que quedo en la malla 100

$W= 109.20$ gr

Muestra que paso la malla 100

$W= 343.20$ gr

Peso total después de haber pasado

las mallas

$W_{Total}=1092.10$ gr

Comprobando si esta $<0.5\%$ de perdida de la muestra total que se coloco en el tamiz.

Porcentaje de la muestra

$$W_{total} = \frac{1092.10 \text{ gr}}{1097.30} (100) = 99.53\%$$

Encontrando el porcentaje de pérdida de la muestra

Porcentaje= $100\% - 99.53\%$

Porcentaje= 0.47%

$0.47\% < 0.5\%$ por lo tanto el ensayo es bueno.

ENCONTRANDO EL PESO RETENIDO PARCIAL (%) UNA PROFUNDIDAD DE 0.50 MTS

$$W_{\%} = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{total}} \right) \times 100$$

Para la malla 4

$$W_{\%} = \left(\frac{279.7}{1097.30} \right) \times 100 = 25.50$$

Para la malla 8

$$W_{\%} = \left(\frac{108.10}{1097.30} \right) \times 100 = 9.85\%$$

Para la malla 16

$$W_{\%} = \left(\frac{89.40}{1097.30} \right) \times 100 = 8.20\%$$

Para la malla 30

$$W_{\%} = \left(\frac{79.20}{1097.30} \right) \times 100 = 7.22\%$$

Para la malla 50

$$W_{\%} = \left(\frac{83.3}{1097.30} \right) \times 100 = 7.60\%$$

Para la malla 100

$$W_{\%} = \left(\frac{109.20}{1097.30} \right) \times 100 = 9.95\%$$

Para la que pasa la malla 100

$$W_{\%} = \left(\frac{343.20}{1097.30} \right) \times 100 = 31.30\%$$

**DETERMINACION DEL MODULO DE
FINURA PARA LA MUESTRA DE 0.50**

MTS

Utilizando en esta prueba dos formas de cómo encontrar el modulo de finura para comprobar el resultado.

Según la granulometría de la arena neta expresada en el tamiz N°4

$$MF =$$

$$N - \frac{\sum \% \text{ acum. que pasan (tamices } N^{\circ}4 - N^{\circ}100)}{\% \text{ que pasa en el tamiz } N^{\circ}4}$$

Según la granulometría de la “arena disponible en la obra” o arena analizada en el Laboratorio:

$$MF =$$

$$N - \frac{\sum \% \text{ acum. que pasan (tamices } N^{\circ}4 - N^{\circ}100)}{\% \text{ que pasa en el tamiz } N^{\circ}4}$$

Donde:

N= Numero de tamices utilizados en el estudio (N=6: tamices N°4, 8, 16, 30, 50 y 100)

Sustituyendo valores en las ecuaciones anteriores:

$$MF = 6 - \left(\frac{100 + 90 + 80 + 70 + 60 + 42}{100} \right)$$

$$MF = 6 - \left(\frac{442.0}{100} \right) = 1.6$$

Analizada en el Laboratorio:

$$MF = 6 - \frac{74.5 + 64.7 + 56.5 + 49.2 + 41.60 + 31.60}{74.5}$$

$$MF = 6 - \left(\frac{318.10}{74.5} \right) = 1.6$$

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE GRANULOMETRIA
 (ASTM C-136)

Proyecto: Estudio Geomecánico del Material de Arrastre en Quebrada La Arenera. Fecha: 11-02-2010

Ubicación: Cantón El Volcán, Caserío Los Carretos, Jurisdicción de San Miguel. Peso Bruto: **1097.30** grs.

| <i>MALLA</i> | <i>ABERTURA (mm)</i> | <i>PESADAS PARCIALES(gr)</i> | <i>% RETENIDO PARCIAL</i> | <i>% RETENIDO ACUMULADO</i> | <i>% ACUMULADO QUE PASA</i> | <i>% QUE PASA LA MALLA 4</i> |
|--------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| N° 4 | 4.75 | 279.7 | 25.50 | 25.5 | 74.5 | 100 |
| N° 8 | 2.36 | 108.10 | 9.85 | 35.3 | 64.7 | 90 |
| N° 16 | 1.18 | 89.40 | 8.20 | 43.5 | 56.5 | 80 |
| N° 30 | 0.60 | 79.20 | 7.22 | 50.8 | 49.2 | 70 |
| N° 50 | 0.30 | 83.3 | 7.60 | 58.4 | 41.6 | 60 |
| N° 100 | 0.15 | 109.20 | 9.95 | 68.3 | 31.60 | 42 |
| > N° 100 | | 343.20 | 31.30 | 99.7 | | |
| TOTAL | | 1092.10 | | | 318.10 | 442 |

ENCONTRANDO LA GALUMETRIA PARA UNA PROFUNDIDAD DE 1.0 MTS

CALCULO DE PESO RETENIDO PARCIAL EN LAS MALLAS

Profundidad de 1.0 mts

$W_{total}=1228.60$ gr

Muestra que quedo en la malla 4

$W=576.7$ gr

Muestra que quedo en la malla 8

$W= 211.50$ gr

Muestra que quedo en la malla 16

$W= 130.50$ gr

Muestra que quedo en la malla 30

$W= 87.60$ gr

Muestra que quedo en la malla 50

$W= 62.60$ gr

Muestra que quedo en la malla 100

$W= 69.80$ gr

Muestra que paso la malla 100

$W= 86.90$ gr

Peso total después de haber pasado las mallas

$W_{Total}= 1225.60$ gr

Comprobando si esta $<0.5\%$ de pérdida de la muestra total que se coloco en el tamiz.

Porcentaje de la muestra

$$W_{Total} = \left(\frac{1225.60 \text{ gr}}{1228.60 \text{ gr}} \right) \times 100 = 99.80\%$$

Encontrando el porcentaje de pérdida de la muestra

Porcentaje= $100\% - 99.80\%$

Porcentaje= 0.2%

$0.2\% < 0.5\%$ por lo tanto el ensayo es bueno.

ENCONTRANDO EL PESO

RETENIDO PARCIAL (%) UNA

PROFUNDIDAD DE 1.0 MTS

$$W_{\%} = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{total}} \right) \times 100$$

Para la malla 4

$$W_{\%} = \left(\frac{576.7}{1228.60} \right) \times 100 = 46.9\%$$

Para la malla 8

$$W_{\%} = \left(\frac{211.50}{1228.60} \right) \times 100 = 17.2\%$$

Para la malla 16

$$W_{\%} = \left(\frac{130.50}{1228.60} \right) \times 100 = 10.6\%$$

Para la malla 30

$$W_{\%} = \left(\frac{87.60}{1228.60} \right) \times 100 = 7.1\%$$

Para la malla 50

$$W_{\%} = \left(\frac{62.60}{1228.60} \right) \times 100 = 5.1\%$$

Para la malla 100

$$W_{\%} = \left(\frac{69.80}{1228.60} \right) \times 100 = 5.7\%$$

Para la que pasa la malla 100

$$W_{\%} = \left(\frac{86.90}{1228.60} \right) \times 100 = 7.1\%$$

DETERMINACION DEL MODULO
DE FINURA PARA LA MUESTRA
DE 1.0 MTS

Utilizando en esta prueba dos formas de cómo encontrar el modulo de finura para comprobar el resultado.

Según la granulometría de la arena neta expresada en el tamiz N°4

$$MF =$$

$$N - \frac{\sum \% \text{acum. que pasan (tamices } N^{\circ}4 - N^{\circ}100)}{\% \text{ que pasa en el tamiz } N^{\circ}4}$$

Según la granulometría de la “arena disponible en la obra“ o arena analizada en el Laboratorio:

$$MF =$$

$$N - \frac{\sum \% \text{acum. que pasan (tamices } N^{\circ}4 - N^{\circ}100)}{\% \text{ que pasa en el tamiz } N^{\circ}4}$$

Donde:

N= Numero de tamices utilizados en el estudio (N=6: tamices N°4,8,16,30,50 y 100)

Sustituyendo valores en las ecuaciones anteriores:

$$MF = 6 - \left(\frac{100 + 67 + 47.6 + 34.3 + 24.7 + 14}{100} \right)$$

$$MF = 6 - \left(\frac{287.6}{100} \right) = 3.1$$

Analizada en el Laboratorio:

$$MF = 6 - \left(\frac{53.1 + 35.8 + 25.3 + 18.2 + 13.1 + 7.4}{53.1} \right)$$

$$MF = 3.1$$

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE GRANULOMETRIA
 (ASTM D 422-90)

Proyecto: Estudio Geomecánico del Material de Arrastre en Quebrada La Arenera. Fecha: 11-02-2010

Ubicación: Cantón El Volcán, Caserío Los Carretos, Jurisdicción de San Miguel. Peso Bruto: 1228.60 grs.

| <i>MALLA</i> | <i>ABERTURA (mm)</i> | Pesadas Parciales(gr) | % <i>RETENIDO PARCIAL</i> | % <i>RETENIDO ACUMULADO</i> | % <i>ACUMULADO QUE PASA</i> | % <i>QUE PASA LA MALLA 4</i> |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--|
| N° 4 | 4.75 | 576.7 | 46.9 | 46.9 | 53.1 | 100 |
| N° 8 | 2.36 | 211.50 | 17.2 | 64.2 | 35.8 | 67.0 |
| N° 16 | 1.18 | 130.50 | 10.6 | 74.7 | 25.3 | 47.6 |
| N° 30 | 0.60 | 87.60 | 7.1 | 81.8 | 18.2 | 34.3 |
| N° 50 | 0.30 | 62.60 | 5.1 | 86.9 | 13.1 | 24.7 |
| N° 100 | 0.15 | 69.80 | 5.7 | 92.6 | 7.4 | 14 |
| > N° 100 | | 86.90 | 7.1 | 100 | | |
| TOTAL | | 1225.60 | | | 152.9 | 287.6 |

**ENCONTRANDO LA GRALUMETRIA PARA UNA
PROFUNDIDAD DE 2.0 MTS**

CALCULO DE PESO RETENIDO PARCIAL EN LAS MALLAS

$W_{total}=1027.70$ gr

Muestra que quedo en la malla 4

$W=462.40$ gr

Muestra que quedo en la malla 8

$W= 165.60$ gr

Muestra que quedo en la malla 16

$W= 125.30$ gr

Muestra que quedo en la malla 30

$W= 87.40$ gr

Muestra que quedo en la malla 50

$W= 65.10$ gr

Muestra que quedo en la malla 100

$W= 52.40$ gr

Muestra que paso la malla 100

$W= 67.60$ gr

**Peso total después de haber
pasado las mallas**

$W_{Total}= 1025.80$ gr

Comprobando si esta $<0.5\%$ de
pérdida de la muestra total que se
coloco en el tamiz.

Porcentaje de la muestra

$$W_{Total} = \left(\frac{1025.80 \text{ gr}}{1027.70 \text{ gr}} \right) \times 100$$

$$= \mathbf{99.81\%}$$

Encontrando el porcentaje de pérdida
de la muestra

Porcentaje= $100\%-99.81\%$

Porcentaje= 0.2%

**$0.2\%<0.5\%$ por lo tanto el ensayo
es bueno.**

*ENCONTRANDO EL PESO RETENIDO
PARCIAL (%) UNA PROFUNDIDAD DE
2.0 MTS*

$$W_{\%} = \left(\frac{W_{muestra}}{W_{total}} \right) \times 100$$

Para la malla 4

$$W_{\%} = \left(\frac{462.40}{1027.70} \right) \times 100 = \mathbf{45.0\%}$$

Para la malla 8

$$W_{\%} = \left(\frac{165.60}{1027.70} \right) \times 100 = \mathbf{16.10\%}$$

Para la malla 16

$$W_{\%} = \left(\frac{125.30}{1027.70} \right) \times 100 = \mathbf{12.20\%}$$

Para la malla 30

$$W_{\%} = \left(\frac{87.40}{1027.70} \right) \times 100 = \mathbf{8.50\%}$$

Para la malla 50

$$W_{\%} = \left(\frac{65.10}{1027.70} \right) \times 100 = \mathbf{6.30\%}$$

Para la malla 100

$$W_{\%} = \left(\frac{52.40}{1027.70} \right) \times 100 = \mathbf{5.1\%}$$

**Para la muestra que pasa la malla
100**

$$W_{\%} = \left(\frac{67.60}{1027.70} \right) \times 100 = \mathbf{6.60\%}$$

DETERMINACION DEL MODULO
DE FINURA PARA LA MUESTRA
DE 2.0 MTS

Utilizando en esta prueba dos formas de cómo encontrar el modulo de finura para comprobar el resultado.

Según la granulometría de la arena neta expresada en el tamiz N°4

$$MF =$$

$$N - \frac{\sum \% \text{acum. que pasan (tamices } N^{\circ}4 - N^{\circ}100)}{\% \text{ que pasa en el tamiz } N^{\circ}4}$$

Según la granulometría de la "arena disponible en la obra" y/o arena analizada en el Laboratorio:

$$MF =$$

$$N - \frac{\sum \% \text{acum. que pasan (tamices } N^{\circ}4 - N^{\circ}100)}{\% \text{ que pasa en el tamiz } N^{\circ}4}$$

Donde:

N= Numero de tamices utilizados en el estudio (N=6: tamices N°4,8,16,30,50 y 100)

Sustituyendo valores en las ecuaciones anteriores:

$$MF = 6 - \left(\frac{286.3}{100} \right) = 3.1$$

Analizada en el Laboratorio:

$$MF = 6 - \left(\frac{157.5}{55.0} \right) = 3.1$$

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE GRANULOMETRIA
 (ASTM D 422-90)

Proyecto: Estudio Geomecánico del Material de Arrastre en Quebrada La Arenera. Fecha: 11-02-2010

Ubicación: Cantón El Volcán, Caserío Los Carretos, Jurisdicción de San Miguel. Peso Bruto: 1027.70 grs.

| <i>MALLA</i> | <i>ABERTURA (mm)</i> | <i>PESADAS PARCIALES(gr)</i> | <i>% RETENIDO PARCIAL</i> | <i>% RETENIDO ACUMULADO</i> | <i>% ACUMULADO QUE PASA</i> | <i>% QUE PASA LA MALLA 4</i> |
|--------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| N° 4 | 4.75 | 462.40 | 45.0 | 45.0 | 55 | 100 |
| N° 8 | 2.36 | 165.60 | 16.1 | 61.1 | 38.9 | 70.7 |
| N° 16 | 1.18 | 125.30 | 12.2 | 73.3 | 26.7 | 48.5 |
| N° 30 | 0.60 | 87.40 | 8.5 | 81.8 | 18.2 | 33.1 |
| N° 50 | 0.30 | 65.10 | 6.3 | 88.1 | 11.9 | 21.6 |
| N° 100 | 0.15 | 52.40 | 5.1 | 93.2 | 6.8 | 12.4 |
| > N° 100 | | 67.60 | 6.6 | 100 | | |
| TOTAL | | 1025.80 | | | 157.5 | 286.3 |

CALCULO DE PESO RETENIDO PARCIAL PARA MATERIAL GRUESO

Profundidad de 0.5 mts

$W_{total} = 2523.5 \text{ gr}$

Muestra que quedo en la malla 2"

$W = 0.0 \text{ gr}$

Muestra que quedo en la malla 1 1/2"

$W = 176.6 \text{ gr}$

Muestra que quedo en la malla 1"

$W = 60.9 \text{ gr}$

Muestra que quedo en la malla 3/4"

$W = 88.8 \text{ gr}$

Muestra que quedo en la malla 1/2"

$W = 159.0 \text{ gr}$

Muestra que quedo en la malla 3/8"

$W = 106.5 \text{ gr}$

Muestra que quedo en la malla 4

$W = 296.6 \text{ gr}$

Muestra que paso la malla 4

$W = 1627.2 \text{ gr}$

Peso total después de haber pasado

las mallas

$W_{Total} = 2515.6 \text{ gr}$

Comprobando si esta <0.5% de
perdida de la muestra total que se
coloco en el tamiz.

Porcentaje de la muestra:

$$W_{Total} = \left(\frac{2515.6 \text{ gr}}{2523.5 \text{ gr}} \right) \times 100 \\ = 99.68\%$$

Encontrando el porcentaje de pérdida
de la muestra

Porcentaje= 100% - 99.68%

Porcentaje=**0.32%**

**0.32% < 0.5% por lo tanto el
ensayo es bueno.**

ENCONTRANDO EL PESO RETENIDO
PARCIAL (%) UNA PROFUNDIDA DE
0.50 MTS

$$W_{\%} = \frac{W_{muestra}}{W_{Total}} (100)$$

Para la malla 2"

$$W_{\%} = \left(\frac{0.0}{2523.5} \right) \times 100 = \mathbf{0.0 \%}$$

Para la malla 1 1/2"

$$W_{\%} = \left(\frac{176.6}{2523.5} \right) \times 100 = 6.9\%$$

Para la malla 1"

$$W_{\%} = \left(\frac{60.9}{2523.5} \right) \times 100 = 2.4\%$$

Para la malla 3/4"

$$W_{\%} = \left(\frac{88.8}{2523.5} \right) \times 100 = 3.5\%$$

Para la malla 1/2"

$$W_{\%} = \left(\frac{159.0}{2523.5} \right) \times 100 = 6.3\%$$

Para la malla 3/8"

$$W_{\%} = \left(\frac{106.5}{2523.5} \right) \times 100 = 4.2\%$$

Para la malla N° 4

$$W_{\%} = \left(\frac{296.6}{2523.5} \right) \times 100 = 11.7\%$$

Para la que pasa la malla N° 4

$$W_{\%} = \left(\frac{1627.2}{2523.5} \right) \times 100 = 64.4\%$$

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE GRANULOMETRIA
 (ASTM C 136)

Proyecto: Estudio Geomecánico del Material de Arrastre en Quebrada La Arenera. Fecha: 11-02-2010

Ubicación: Cantón El Volcán, Caserío Los Carretos, Jurisdicción de San Miguel. Peso Bruto: 2523.5 grs.

Muestra: **Profundidad 0.5 metros**

| <i>MALLA</i> | <i>ABERTURA (mm)</i> | <i>PESADAS PARCIALES(gr)</i> | <i>% RETENIDO PARCIAL</i> | <i>% RETENIDO ACUMULADO</i> | <i>% ACUMULADO QUE PASA</i> |
|--------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 2" | 50 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 1 ½" | 40 | 176.6 | 6.9 | 6.9 | 93.1 |
| 1" | 25 | 60.9 | 2.4 | 9.3 | 90.7 |
| ¾" | 19 | 88.8 | 3.5 | 12.8 | 87.2 |
| ½" | 12.5 | 159.0 | 6.3 | 19.1 | 80.9 |
| 3/8" | 10 | 106.5 | 4.2 | 23.3 | 76.8 |
| N° 4 | 5 | 296.6 | 11.7 | 35 | 65 |
| < N° 4 | | 1627.2 | 64.4 | 99.4 | |
| TOTAL | | 2515.6 | | | 493.7 |

CALCULO DE PESO RETENIDO PARCIAL EN LA PROFUNDIDAD DE 1.0 MTS

$$W_{\text{total}} = 2658.5 \text{ gr}$$

Muestra que quedo en la malla 2”

$$W = 30.0 \text{ gr}$$

Muestra que quedo en la malla 1 ½”

$$W = 116.0 \text{ gr}$$

Muestra que quedo en la malla 1”

$$W = 220.7 \text{ gr}$$

Muestra que quedo en la malla ¾”

$$W = 234.6 \text{ gr}$$

Muestra que quedo en la malla ½”

$$W = 276.2 \text{ gr}$$

Muestra que quedo en la malla 3/8”

$$W = 189.7 \text{ gr}$$

Muestra que quedo en la malla 4

$$W = 482.6 \text{ gr}$$

Muestra que paso la malla 4

$$W = 1102.7 \text{ gr}$$

Peso total después de haber pasado

las mallas

$$W_{\text{Total}} = 2652.5 \text{ gr}$$

Comprobando si esta <0.5% de pérdida de la muestra total que se coloco en el tamiz.

Porcentaje de la muestra:

$$W_{\text{total}} = \left(\frac{2652.5 \text{ gr}}{2658.5 \text{ gr}} \right) \times 100 = 99.77\%$$

Encontrando el porcentaje de pérdida de la muestra: Porcentaje= 100% - 99.77%

Porcentaje= **0.23%**

0.23% < 0.5% por lo tanto el ensayo es bueno.

ENCONTRANDO EL PESO RETENIDO PARCIAL (%) UNA PROFUNDIDAD DE

2.0 MTS

$$W_{\%} = \frac{W_{\text{muestra}}}{W_{\text{Total}}} (100)$$

Para la malla 2”

$$W_{\%} = \left(\frac{30.0}{2658.5} \right) \times 100 = \mathbf{1.1 \%}$$

Para la malla 1 1/2"

$$W_{\%} = \left(\frac{116}{2658.5} \right) \times 100 = 4.3 \%$$

Para la malla 1"

$$W_{\%} = \left(\frac{220.7}{2658.5} \right) \times 100 = 8.3 \%$$

Para la malla 3/4"

$$W_{\%} = \left(\frac{234.6}{2658.5} \right) \times 100 = 8.8 \%$$

Para la malla 1/2"

$$W_{\%} = \left(\frac{276.2}{2658.5} \right) \times 100 = 10.3 \%$$

Para la malla 3/8"

$$W_{\%} = \left(\frac{189.7}{2658.5} \right) \times 100 = 7.1 \%$$

Para la malla N° 4

$$W_{\%} = \left(\frac{482.6}{2658.5} \right) \times 100 = 18.1 \%$$

Para la que pasa la malla N° 4

$$W_{\%} = \left(\frac{1102.7}{2658.5} \right) \times 100 = 41.4 \%$$

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE GRANULOMETRIA
 (ASTM C 136)

Proyecto: Estudio Geomecánico del Material de Arrastre en Quebrada La Arenera. Fecha: 11-02-2010

Ubicación: Cantón El Volcán, Caserío Los Carretos, Jurisdicción de San Miguel. Peso Bruto: **2658.5** grs.

Muestra: **Profundidad 1.0 metros**

| <i>MALLA</i> | <i>ABERTURA (mm)</i> | <i>PESADAS PARCIALES (gr)</i> | <i>% RETENIDO PARCIAL</i> | <i>% RETENIDO ACUMULADO</i> | <i>% ACUMULADO QUE PASA</i> |
|--------------|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 2 ½" | 63 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 2" | 50 | 30.0 | 1.1 | 1.1 | 98.9 |
| 1 ½" | 40 | 116.0 | 4.3 | 5.4 | 94.6 |
| 1" | 25 | 220.7 | 8.3 | 13.7 | 86.3 |
| ¾" | 19 | 234.6 | 8.8 | 22.5 | 77.5 |
| ½" | 12.5 | 276.2 | 10.3 | 32.8 | 67.2 |
| 3/8" | 10 | 189.7 | 7.1 | 39.9 | 60.1 |
| N° 4 | 5 | 482.6 | 18.7 | 58.6 | 41.4 |
| < N° 4 | | 1102.7 | 41.4 | 100 | |
| TOTAL | | 2652.5 | | | 526 |

CALCULO DE PESO RETENIDO PARCIAL PARA LA PROFUNDIDAD DE 2.0 MTS

$W_{total} = 2851.5 \text{ gr}$

Muestra que quedo en la malla 2 1/2"

$W = 129.3 \text{ gr}$

Muestra que quedo en la malla 2"

$W = 340.3 \text{ gr}$

Muestra que quedo en la malla 1 1/2"

$W = 353.6 \text{ gr}$

Muestra que quedo en la malla 1"

$W = 335.2 \text{ gr}$

Muestra que quedo en la malla 3/4"

$W = 213.7 \text{ gr}$

Muestra que quedo en la malla 1/2"

$W = 228.3 \text{ gr}$

Muestra que quedo en la malla 3/8"

$W = 168.0 \text{ gr}$

Muestra que quedo en la malla 4

$W = 412.7 \text{ gr}$

Muestra que paso la malla 4

$W = 658.3 \text{ gr}$

Peso total después de haber pasado las mallas

$W_{Total} = 2839.4 \text{ gr}$

Comprobando si esta $< 0.5\%$ de pérdida de la muestra total que se coloco en el tamiz.

Porcentaje de la muestra

$$W_{total} = \left(\frac{2839.4 \text{ gr}}{2851.5 \text{ gr}} \right) \times 100 = 99.57\%$$

Encontrando el porcentaje de pérdida de la muestra

Porcentaje = $100\% - 99.57\%$

Porcentaje = **0.42%**

0.42% < 0.5% por lo tanto el ensayo es bueno.

ENCONTRANDO EL PESO RETENIDO PARCIAL (%) UNA PROFUNDIDAD DE 2.0 MTS

$$W_{\%} = \frac{W_{muestra}}{W_{Total}} (100)$$

Para la malla 2 1/2"

$$W_{\%} = \left(\frac{129.3}{2851.5} \right) \times 100 = 4.53 \%$$

Para la malla 2"

$$W_{\%} = \left(\frac{340.3}{2851.5} \right) \times 100 = \mathbf{11.93\%}$$

Para la malla 1 1/2"

$$W_{\%} = \left(\frac{353.6}{2851.5} \right) \times 100 = \mathbf{12.40\%}$$

Para la malla 1"

$$W_{\%} = \left(\frac{335.2}{2851.5} \right) \times 100 = \mathbf{11.80\%}$$

Para la malla 3/4"

$$W_{\%} = \left(\frac{213.7}{2851.5} \right) \times 100 = \mathbf{7.50\%}$$

Para la malla 1/2"

$$W_{\%} = \left(\frac{228.3}{2851.5} \right) \times 100 = \mathbf{8.00\%}$$

Para la malla 3/8"

$$W_{\%} = \left(\frac{168.0}{2851.5} \right) \times 100 = \mathbf{5.90\%}$$

Para la malla N° 4

$$W_{\%} = \left(\frac{412.7}{2851.5} \right) \times 100 = \mathbf{14.47\%}$$

Para la que pasa la malla N° 4

$$W_{\%} = \left(\frac{658.3}{2851.5} \right) \times 100 = \mathbf{23.10\%}$$

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE GRANULOMETRIA
 (ASTM C 136)

Proyecto: Estudio Geomecánico del Material de Arrastre en Quebrada La Arenera. Fecha: 11-02-2010

Ubicación: Cantón El Volcán, Caserío Los Carretos, Jurisdicción de San Miguel. Peso Bruto: 2851.5 grs.

Muestra: **Profundidad 2.0 metros**

| <i>MALLA</i> | <i>ABERTURA (mm)</i> | <i>PESADAS PARCIALES (gr)</i> | <i>% RETENIDO PARCIAL</i> | <i>% RETENIDO ACUMULADO</i> | <i>% ACUMULADO QUE PASA</i> |
|--------------|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 2 ½" | 63 | 129.3 | 4.5 | 4.5 | 95.47 |
| 2" | 50 | 340.3 | 11.9 | 16.4 | 83.6 |
| 1 ½" | 40 | 353.6 | 12.4 | 28.8 | 71.2 |
| 1" | 25 | 335.2 | 11.8 | 40.6 | 59.4 |
| ¾" | 19 | 213.7 | 7.5 | 48.1 | 51.9 |
| ½" | 12.5 | 228.3 | 8.0 | 56.1 | 43.9 |
| 3/8" | 10 | 168.0 | 5.9 | 62.0 | 38 |
| Nº 4 | 5 | 412.7 | 14.4 | 76.4 | 23.53 |
| < Nº 4 | | 658.3 | 23.1 | 99.5 | |
| TOTAL | | 2839.4 | | | 467 |

COEFICIENTE DE FORMA.

A-6-3

Ta: 10.0 cm.

Volumen de la Muestra= Volumen de

Peso de la muestra: 523.8 grs.

agua con muestra -Volumen inicial

Volumen inicial: 800 cc.

Volumen de la Muestra= (1155-800) cc.

Volumen de agua con muestra: 1155 cc.

Volumen de la Muestra= 355 cc.

| Muestra | Tamaño de la Muestra (cm) | Tamaño de la Muestra en (cm ³) |
|---------|---------------------------|--|
| 1 | 3.10 | 29.79 |
| 2 | 4.20 | 74.10 |
| 3 | 3.45 | 41.06 |
| 4 | 5.40 | 157.46 |
| 5 | 3.05 | 28.37 |
| 6 | 2.70 | 19.68 |
| 7 | 3.20 | 32.77 |
| 8 | 2.50 | 15.62 |
| 9 | 4.00 | 64 |
| 10 | 2.30 | 12.17 |
| 11 | 2.60 | 17.58 |
| 12 | 4.60 | 97.34 |
| 13 | 2.70 | 19.68 |
| 14 | 2.90 | 24.39 |
| 15 | 2.80 | 21.95 |
| 16 | 3.90 | 59.32 |
| 17 | 3.80 | 54.87 |
| 18 | 5.10 | 132.65 |
| 19 | 4.30 | 79.51 |
| 20 | 3.80 | 54.87 |
| 21 | 4.20 | 74.10 |
| 22 | 3.70 | 50.65 |
| 23 | 3.80 | 54.87 |
| 24 | 2.35 | 12.98 |
| 25 | 4.50 | 91.12 |

| | | |
|----------|-------|---------|
| 26 | 2.50 | 15.62 |
| 27 | 4.70 | 103.82 |
| 28 | 2.15 | 9.94 |
| 29 | 3.20 | 32.77 |
| 30 | 3.70 | 50.65 |
| 31 | 2.80 | 21.95 |
| 32 | 2.60 | 17.58 |
| 33 | 3.90 | 59.32 |
| 34 | 2.65 | 18.61 |
| 35 | 2.40 | 13.82 |
| 36 | 2.80 | 21.95 |
| 37 | 2.60 | 17.58 |
| 38 | 5.80 | 195.11 |
| 39 | 3.90 | 59.32 |
| 40 | 2.10 | 9.26 |
| 41 | 0.90 | 0.73 |
| 42 | 3.50 | 42.88 |
| 43 | 10.00 | 1000 |
| 44 | 1.90 | 6.86 |
| 45 | 0.50 | 0.125 |
| Σ | | 3018.80 |

$$CV = \frac{6V}{\pi(\Sigma NI)^3}$$

$$CV = \frac{6(355 \text{ cc.})}{\pi(3018.80 \text{ cc.})}$$

$$CV = \frac{2130 \text{ cc.}}{9483.84 \text{ cc.}}$$

$$CV = 0.22$$

Se recomienda en gravilla usar $CV >$

0,15

Para Concreto armado impermeable

usar $CV > 0,20$

Para Concreto en masa $CV \approx 0,12 -$

0,15

Para nuestra Muestra se obtuvo un

coeficiente Volumétrico de 0.22 por lo

que se recomienda usar para Concreto

Armado

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

A-6-4

Para muestra 1

$$W_{sss} = 300 \text{ grs.}$$

$$W_s = 275.5 \text{ grs.}$$

$$\% = \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \times 100$$

$$\% = \frac{300 \text{ grs.} - 275.5 \text{ grs.}}{275.5 \text{ grs.}} \times 100$$

$$\% = \frac{24.5 \text{ grs.}}{275.5 \text{ grs.}} \times 100$$

$$\% = 0.08892 \times 100$$

$$\% = \mathbf{8.89}$$

Para muestra 2

$$W_{sss} = 300 \text{ grs.}$$

$$W_s = 266.00 \text{ grs.}$$

$$\% = \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \times 100$$

$$\% = \frac{300 \text{ grs.} - 266.0 \text{ grs.}}{266.0 \text{ grs.}} \times 100$$

$$\% = \frac{34 \text{ grs.}}{266.0 \text{ grs.}} \times 100$$

$$\% = 0.1278 \times 100$$

$$\% = \mathbf{12.78}$$

Absorción de las gravas:

$$W_{sss} = 2929.20 \text{ grs.}$$

$$W_s = 2671.9 \text{ grs.}$$

$$\% = \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \times 100$$

$$\% = \frac{2929.20 \text{ grs.} - 2671.9 \text{ grs.}}{2671.9 \text{ grs.}} \times 100$$

$$\% = \frac{257.3 \text{ grs.}}{2671.9 \text{ grs.}} \times 100$$

$$\% = 0.09629 \times 100$$

$$\% = \mathbf{9.63}$$

Gravedad Especifica de las Arenas por el método del Picnómetro.

Para muestra 1

$$W_{sss} = 500 \text{ grs.}$$

$$W_{f+a} = 1475.5 \text{ grs.}$$

$$W_{f+a+a} = 1731.7 \text{ grs.}$$

$$W_a = 442.65 \text{ grs.}$$

$$GS = \frac{W_{sss}}{W_{fa} + W_{sss} - W_{faa}}$$

$$GS = \frac{500 \text{ grs.}}{1475.5 \text{ grs.} + 500 \text{ grs.} - 1731.7 \text{ grs.}}$$

$$GS = \frac{500 \text{ grs.}}{243.8 \text{ grs.}}$$

$$GS = 2.05$$

Para muestra 2

$$W_{sss} = 500 \text{ grs.}$$

$$W_{f+a} = 1447.5 \text{ grs.}$$

$$W_{f+a+a} = 1696.8 \text{ grs.}$$

$$W_a = 435.6 \text{ grs.}$$

$$GS = \frac{W_{sss}}{W_{fa} + W_{sss} - W_{faa}}$$

$$GS = \frac{500 \text{ grs.}}{1477.5 \text{ grs.} + 500 \text{ grs.} - 1696.8 \text{ grs.}}$$

$$GS = \frac{500 \text{ grs.}}{280.7 \text{ grs.}}$$

$$GS = 1.78$$

Gravedad Específica de las Gravass

(Método de la Canastilla)

$$W_s = 2671.90 \text{ grs.}$$

$$W_{sss} = 2929.20 \text{ grs.}$$

$$W_{\text{de la muestra + canastilla}} = 2202.90 \text{ grs.}$$

$$W_{\text{de la canastilla sumergida}} = 864.0 \text{ grs.}$$

$$W_{\text{muestra sumergida}} = 2202.90 \text{ grs.} - 864.0$$

grs

$$W_{\text{muestra sumergida}} = 1338.90 \text{ grs.}$$

Gravedad Específica Seca Aparente

$$Gs = \frac{W_s}{W_s - W_{\text{muestra sumergida}}}$$

$$Gs = \frac{2671.90 \text{ grs.}}{2671.90 \text{ grs.} - 1338.90 \text{ grs.}}$$

$$Gs = \frac{2671.90 \text{ grs.}}{1333 \text{ grs.}}$$

$$Gs = 2.00$$

Gravedad Específica Seca Bulk

$$Gs = \frac{W_s}{W_{sss} - W_{\text{muestra sumergida}}}$$

$$Gs = \frac{2671.90 \text{ grs.}}{2929.20 \text{ grs.} - 1338.90 \text{ grs.}}$$

$$Gs = \frac{2671.90 \text{ grs.}}{1590.3 \text{ grs.}}$$

$$Gs = 1.68$$

Gravedad Específica Saturada

Superficialmente Seca Bulk

$$Gs = \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{\text{muestra sumergida}}}$$

$$Gs = \frac{2929.20 \text{ grs.}}{2929.20 \text{ grs.} - 1338.90 \text{ grs.}}$$

$$Gs = \frac{2929.20 \text{ grs.}}{1590.3 \text{ grs.}}$$

$$Gs = 1.84$$

PRUEBA DE ABRASION

A-6-5

Se tamizo la muestra por las mallas que están graduada por orden de abertura 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N° 4.

Ya con el tamizado hecho a muestra quedo retenida en las mallas 1/2" y 3/8" en ambas se extrajo la cantidad de 2500.0 gr en la malla 1/2" y 2490.0 gr en la malla 3/8" se compara con la tabla.

TABLA GRADUACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO

| TAMAÑO DE LA MALLA | | PESOS DE LOS TAMAÑOS INDICADOS | | | |
|--------------------|----------|--------------------------------|---------|---------|---------|
| Pasa | Retenido | A | B | C | D |
| 1 1/2" | 1" | 1250±25 | | | |
| 1" | 3/4" | 1250±25 | | | |
| 3/4" | 1/2" | 1250±25 | 2500±10 | | |
| 1/2" | 3/8" | 1250±25 | 2500±10 | | |
| 3/8" | 1/4" | | | 2500±10 | |
| 1/4" | N°4 | | | 2500±10 | |
| N°4 | N°8 | | | | 5000±10 |
| TOTAL | | 5000±10 | 5000±10 | 5000±10 | 5000±10 |

Sumando las muestra que se retuvo en las mallas de 1/2" y 3/8" en total de la muestra es de $W_{muestra} = 4900.0$ gr con esta muestra se verifica en la tabla anterior y esta en el rango de error de ± 10 con este resultado se verá la siguiente tabla para saber cuántas esferas se colocaran en la máquina de los ángeles.

| GRANULOMETRIA | No. DE ESFERAS | PESO DE LA CARGA EN GRS. |
|---------------|----------------|--------------------------|
| A | 12 | 5000 ± 25 |
| B | 11 | 4584 ± 25 |
| C | 8 | 3330 ± 20 |
| D | 6 | 2500 ± 15 |

Junto con las muestra se colocan las 11 esferas hasta que gire 500 vueltas en la maquina.

Ahora se encontrara el porcentaje de desgaste que se coloco en la maquina.

Con la formula.

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{W_{\text{inicial}} - W_{\text{final}}}{W_{\text{inicial}}}$$

Donde:

W_{inicial} : Peso inicial.

W_{final} : Peso final después de la prueba.

Para que el agregado pase el ensayo es necesario que el porcentaje de desgaste sea menor el 50 %.

$$\% \text{ de desgaste} = \left(\frac{4900 - 1479.9}{4900} \right) 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \left(\frac{3420.1}{4900} \right) 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = (0.70)100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 70 \%$$

A-7 NORMAS TECNICAS (ASTM)

A-7



A-7-1 Designation: C 566 – 97 Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying

A-7-1

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the percentage of evaporable moisture in a sample of aggregate by drying, both surface moisture and moisture in the pores of the aggregate. Some aggregate may contain water that is chemically combined with the minerals in the aggregate. Such water is not evaporable and is not included in the percentage determined by this test method.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values stated in parentheses are provided for information only.

1.3 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. For specific precautionary statements, see 5.3.1, 7.2.1, and 7.3.1.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates
C 128 Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate

D 75 Practice for Sampling Aggregates³
E 11 Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes²

2.2 Other Document:

National Research Council Report
SHRP-P-6194

3. Terminology

3.1 *Definitions:*

3.1.1 For definitions of terms used in this test method, refer to Terminology C 125.

4. Apparatus

4.1 *Balance*—A balance or scale accurate, readable, and sensitive to within 0.1 % of the test load at any point within the range of use. Within any interval equal to 10 % of the capacity of the balance or scale used to determine mass, the load indication shall be accurate within 0.1 % of the difference in masses.

4.2 *Source of Heat*—A ventilated oven capable of maintaining the temperature surrounding the sample at 110 ± 5°C (230 ± 9°F). Where close control of the temperature is not required (see 4.1), other suitable sources of heat may be used, such as an electric or gas hot plate, electric heat lamps, or a ventilated microwave oven.

4.3 *Sample Container*—A container not affected by the heat, and of sufficient

volume to contain the sample without danger of spilling, and of such shape that the depth of sample will not exceed one fifth of the least lateral dimension.

4.3.1 **Precaution**—When a microwave oven is used, the container shall be nonmetallic.

NOTE 1— Except for testing large samples, an ordinary frying pan is suitable for use with a hot plate, or any shallow flat-bottomed metal pan is suitable with heat lamps or oven. Note precaution in 5.3.1.

5. Procedure

5.1 Determine the mass of the sample to the nearest 0.1 %.

5.2 Dry the sample thoroughly in the sample container by means of the selected source of heat, exercising care to avoid loss of any particles. Very rapid heating may cause some particles to explode, resulting in loss of particles. Use a controlled temperature oven when excessive heat may alter the character of the aggregate, or where more precise measurement is required. If a source of heat other than the controlled temperature oven is used, stir the sample during drying to accelerate the operation and avoid localized overheating. When using a microwave oven, stirring of the sample is optional.

6.2.1 **Caution:** When using a microwave oven, occasionally minerals are present in aggregates that may cause the material to overheat and explode. If

this occurs it can damage the microwave oven.

6.3 When a hot plate is used, drying can be expedited by the following procedure. Add sufficient anhydrous denatured alcohol to cover the moist sample. Stir and allow suspended material to settle. Decant as much of the alcohol as possible without losing any of the sample. Ignite the remaining alcohol and allow it to burn off during drying over the hot plate.

6.3.1 **Warning**—Exercise care to control the ignition operation to prevent injury or damage from the burning alcohol.

A Based on sieves meeting Specification E 11, B Determine the minimum sample mass for lightweight aggregate by multiplying the value listed by the dry-loose unit mass of the aggregate in kg/m³(determined using Test Method C 29/C 29M) and dividing by 160.7.4 The sample is thoroughly dry when further heating causes, or would cause, less than 0.1 % additional loss in mass.7.5 Determine the mass of the dried sample to the nearest 0.1 % after it has cooled sufficiently not to damage the balance.

8. Calculation

8.1 Calculate total evaporable moisture content as follows:

$p = 100 \frac{W - D}{D}$ (1) where:

p = total evaporable moisture content of sample, percent,

W = mass of original sample, g, and

D = mass of dried sample,



A-7-2 Designation: C 40 - 97
**Standard Test Method for Organic Impurities
in Fine Aggregates for Concrete**

A-7-2

1. Scope

1.1 This test method covers two procedures for an approximate determination of the presence of injurious organic impurities in fine aggregates that are to be used in hydraulic cement mortar or concrete. One procedure uses a standard color solution and the other uses a glass color standard.

1.2 The values given in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 33 Specification for Concrete Aggregates
C 87 Test Method for Effect of Organic Impurities in Fine Aggregate on Strength of Mortar
D 75 Practice for Sampling Aggregates
D 1544 Test Method for Color of Transparent Liquids (Gardner Color Scale)

3. Significance and Use

3.1 This test method is used in making a preliminary determination of the acceptability of fine aggregates with respect to the requirements of Specification C 33 that relate to organic impurities.

3.2 The principal value of this test method is to furnish a warning that injurious amounts of organic impurities may be present. When a sample subjected to this test produces a color darker than the standard color it is advisable to perform the

test for the effect of organic impurities on the strength of mortar in accordance with Test Method C 87.

4. Apparatus

4.1 *Glass Bottles*—Colorless glass graduated bottles, approximately 240 to 470-mL (8 to 16-oz) nominal capacity, equipped with watertight stoppers or caps, not soluble in the specified reagents. In no case shall the maximum outside thickness of the bottles, measured along the line of sight used for the color comparison, be greater than 63.5 mm (2.5 in.) or less than 38.1 mm (1.5 in.). The graduations on the bottles shall be in millilitres, or ounces (U.S. fluid), except that unmarked bottles may be calibrated and scribed with graduations by the user. In such case, graduation marks are required at only three points as follows:

4.1.1 *Standard Color Solution Level*—75 mL (2½ oz (U.S. fluid)),

4.1.2 *Fine Aggregate Level*—130 mL (4½ oz (U.S. fluid)), and

4.1.3 *NaOH Solution Level*—200 mL (7 oz (U.S. fluid)).

4.2 *Glass Color Standard*

4.2.1 Glass standard colors shall be used as described in Table 1 of Test Method D 1544.

NOTE 1—A suitable instrument consists of five glass color standards mounted in a plastic holder. Only the glass identified as Gardner Color Standard No. 11 is to be used as the Glass Color Standard in 9.2.

5. Reagent and Standard Color Solution

5.1 *Reagent Sodium Hydroxide Solution (3 %)*—Dissolve 3 parts by mass of reagent grade sodium hydroxide (NaOH) in 97 parts of water.

5.2 *Standard Color Solution*—Dissolve reagent grade potassium dichromate (K₂Cr₂O₇) in concentrated sulfuric acid (sp gr 1.84) at the rate of 0.250 g/100 mL of acid. The solution must be freshly made for the color comparison using gentle heat if necessary to effect solution.

6. Sampling

6.1 The sample shall be selected in general accordance with Practice D 75.

7. Test Sample

7.1 The test sample shall have a mass of about approximately 450 g (1 lb) and be taken from the larger sample in accordance with Practice C 702.

8. Procedure

8.1 Fill a glass bottle to the approximately 130-mL (4½- fluid oz) level with the sample of the fine aggregate (see Terminology C 125) to be tested.

8.2 Add the sodium hydroxide solution until the volume of the fine aggregate and liquid, indicated after shaking, is approximately 200 mL (7 fluid oz).

8.3 Stopper the bottle, shake vigorously, and then allow to stand for 24 h.

9. Determination of Color Value

9.1 *Standard Color Solution Procedure*—At the end of the 24-h standing period, fill a glass bottle to the approximately 75-mL (2½-fluid oz) level with the fresh standard

color solution, prepared not longer than 2 h previously, as prescribed in 5.2. Hold the bottle with the test sample and the bottle with the standard color solution side-by-side, and compare the color of light transmitted through the supernatant liquid above the sample with the color of light transmitted through the standard color solution. Record whether the color of the supernatant

liquid is lighter, darker, or equal to the color of the standard color solution.

9.2 *Glass Color Standard Procedure*—To define more precisely the color of the supernatant liquid of the test sample, five glass standard colors shall be used using the following colors:

| Gardner color Standard No | Organic Plate NO |
|---------------------------|------------------|
| 5 | 1 |
| 8 | 2 |
| 11 | 3 (Standard) |
| 14 | 4 |
| 16 | 5 |

The comparison procedure described in 9.1 shall be used, except that the organic plate number which is nearest the color of the supernatant liquid above the test specimen shall be reported. When using this procedure, it is not necessary to prepare the standard color solution.



A-7-3 Designation: C 136 - 97
Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

A-7-3

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the particle size distribution of fine and coarse aggregates by sieving.

1.2 Some specifications for aggregates which reference this method contain grading requirements including both coarse and fine fractions. Instructions are included for sieve analysis of such aggregates.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are provided for information purposes only. Specification E 11 designates the size of sieve frames with inch units as standard, but in this test method the frame size is designated in SI units exactly equivalent to the inch units.

1.4 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 117 Test Method for Materials Finer Than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing

2.2 AASHTO Standard:

AASHTO No. T 27 Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

3. Apparatus

3.1 *Balances*—Balances or scales used in testing fine and coarse aggregate shall have readability and accuracy as follows:

3.1.1 For fine aggregate, readable to 0.1 g and accurate to 0.1 g or 0.1 % of the test load, whichever is greater, at any point within the range of use.

3.1.2 For coarse aggregate, or mixtures of fine and coarse aggregate, readable and accurate to 0.5 g or 0.1 % of the test load, whichever is greater, at any point within the range of use.

3.2 *Sieves*—The sieve cloth shall be mounted on substantial frames constructed in a manner that will prevent loss of material during sieving. The sieve cloth and standard sieve.

Frames shall conform to the requirements of Specification E 11.

Nonstandard sieve frames shall conform to the requirements of Specification E 11 as applicable.

NOTE 1—It is recommended that sieves mounted in frames larger than standard 203.2-mm (8 in.) diameter be used for testing coarse aggregate to reduce the possibility of overloading the sieves. See 8.3.

3.3 *Mechanical Sieve Shaker*—A mechanical sieving device, if used, shall create motion of the sieves to cause the particles to bounce, tumble, or otherwise turn so as to present different orientations to the sieving surface. The sieving action shall be such that the criterion for adequacy of sieving described in 8.4 is met in a reasonable time period.

NOTE 2—Use of a mechanical sieve shaker is recommended when the size of the sample is 20 kg or greater, and may be used for smaller samples, including fine aggregate. Excessive time (more than approximately 10 min) to achieve adequate sieving may result in degradation of the sample. The same mechanical sieve shaker may not be practical for all sizes of samples, since the large sieving area needed for practical sieving of a large nominal size coarse aggregate very likely could result in

loss of a portion of the sample if used for a small sample of coarse aggregate or fine aggregate.

3.4 *Oven*—An oven of appropriate size capable of maintaining a uniform temperature of 110 ± 5°C (230 ± 9°F).

4. Sampling

4.1 Sample the aggregate in accordance with Practice D 75.

The size of the field sample shall be the quantity shown in Practice D 75 or four times the quantity required in 7.4 and 7.5 (except as modified in 7.6), whichever is greater.

4.2 Thoroughly mix the sample and reduce it to an amount suitable for testing using the applicable procedures described in Practice C 702. The sample for test shall be approximately the quantity desired when dry and shall be the end result of the reduction. Reduction to an exact predetermined quantity shall not be permitted.

NOTE 3—Where sieve analysis, including determination of material finer than the 75-µm sieve, is the only testing proposed, the size of the sample may be reduced in the field to avoid shipping excessive quantities of extra material to the laboratory.

4.3 *Fine Aggregate*—The size of the test sample, after drying, shall be 300 g minimum.

4.4 *Coarse Aggregate*—The size of the test sample of coarse aggregate shall conform with the following:

| Nominal maximum size, Square openings mm | Test sample size, min, kg. |
|--|----------------------------|
| 9.5 | 1 |
| 12.5 | 2 |
| 19.0 | 5 |
| 25.0 | 10 |
| 37.5 | 15 |
| 50 | 20 |
| 63 | 35 |
| 75 | 60 |

| | |
|-----|-----|
| 90 | 100 |
| 100 | 150 |
| 125 | 300 |

4.5 *Coarse and Fine Aggregate Mixtures*—The size of the test sample of coarse and fine aggregate mixtures shall be the same as for coarse aggregate.

4.6 *Samples of Large Size Coarse Aggregate*—The size of sample required for aggregate with 50-mm nominal maximum size or larger is such as to preclude convenient sample reduction and testing as a unit except with large mechanical splitters and sieve shakers. As an option when such equipment is not available, instead of combining and mixing sample increments and then reducing the field sample to testing size, conduct the sieve analysis on a number of approximately equal sample increments such that the total mass tested conforms to the requirement.

4.7 In the event that the amount of material finer than the 75-µm (No. 200) sieve is to be determined by Test Method C 117, proceed as follows:

4.7.1 For aggregates with a nominal maximum size of 12.5 mm (1/2 in.) or less, use the same test sample for testing by Test Method C 117 and this method. First test the sample in accordance with Test Method C 117 through the final drying operation, then dry sieve the sample as stipulated in 8.2-8.7 of this method.

4.7.2 For aggregates with a nominal maximum size greater than 12.5 mm (1/2 in.), a single test sample may be used as described in 7.7.1, or separate test samples may be used for Test Method C 117 and this method.

4.7.3 Where the specifications require determination of the total amount of material finer than the 75-µm sieve by washing and dry sieving, use the procedure described in 7.7.1.

5. Procedure

5.1 Dry the sample to constant mass at a temperature of 110 ± 5°C (230 ± 9°F).

NOTE 4—For control purposes, particularly where rapid results are desired, it is generally not necessary to dry coarse aggregate for the sieve analysis test. The results are little affected by the moisture content unless:

(1) the nominal maximum size is smaller than about 12.5 mm (1/2 in.); (2) the coarse aggregate contains appreciable material finer than 4.75 mm (No. 4); or (3) the coarse aggregate is highly absorptive (a lightweight aggregate, for example). Also, samples may be dried at the higher temperatures associated with the use of hot plates without affecting results, provided steam escapes without generating pressures sufficient to fracture the particles, and temperatures are not so great as to cause chemical breakdown of the aggregate.

5.2 Select sieves with suitable openings to furnish the information required by the specifications covering the material to be tested. Use additional sieves as desired or necessary to provide other information, such as fineness modulus, or to regulate the

amount of material on a sieve. Nest the sieves in order of decreasing size of opening

from top to bottom and place the sample on the top sieve. Agitate the sieves by hand or by mechanical apparatus for a sufficient period, established by trial or checked by measurement on the actual test sample, to meet the criterion for adequacy or sieving described in 8.4.

5.3 Limit the quantity of material on a given sieve so that all particles have opportunity to reach sieve openings a number of times during the sieving operation. For sieves with openings smaller than 4.75-mm (No. 4), the quantity retained on any sieve at the completion of the sieving operation shall not exceed 7 kg/m² of sieving surface area (Note 5). For sieves with openings 4.75 mm (No. 4) and larger, the quantity retained in kg shall not exceed the product of 2.5 \times 3 (sieve opening, mm \times 3 (effective sieving area, m²)). This quantity is shown in Table 1 for five sieve-frame dimensions in common.

Table Maximum allowable of material retained on a sieve, kg.

| Sieve Opening Size, mm | Nominal Dimensions of Sieve ^a | | | | |
|------------------------|--|-------------------------|---------------------------|---------------|---------------|
| | 203-mm dia ^b | 254-mm dia ^b | 304.8-mm dia ^b | 350 by 350 mm | 372 by 580 mm |
| | Sieving Area M ² | | | | |
| | 0.0285 | 0.0457 | 0.0670 | 0.1225 | 0.2158 |
| 125 | C | C | C | C | 67.4 |
| 100 | C | C | C | 30.6 | 53.9 |
| 90 | C | C | 15.1 | 27.6 | 48.5 |
| 75 | C | 8.6 | 12.6 | 23.0 | 40.5 |
| 63 | C | 7.2 | 10.6 | 19.3 | 34.0 |
| 50 | 3.6 | 5.7 | 8.4 | 15.3 | 27.0 |
| 37.5 | 2.7 | 4.3 | 6.3 | 11.5 | 20.2 |
| 25.0 | 1.8 | 2.9 | 4.2 | 7.7 | 13.5 |
| 19.0 | 1.4 | 2.2 | 3.2 | 5.8 | 10.2 |
| 12.5 | 0.89 | 1.4 | 2.1 | 3.8 | 6.7 |
| 9.5 | 0.67 | 1.1 | 1.6 | 2.9 | 5.1 |
| 4.75 | 0.33 | 0.54 | 0.8 | 1.5 | 2.6 |

^A Sieve frame dimensions in inch units: 8.0-in. diameter; 10.0-in. diameter, 12.0-in. diameter; 13.8 by 13.8 in. (14 by 14 in. nominal); 14.6 by 22.8 in. (16 by 24 in. nominal).

^B The sieve area for round sieve frames is based on an effective diameter 12.7 mm (1/2 in.) less than the nominal frame diameter, because Specification E 11 permits the sealer between the sieve cloth and the frame to extend 6.35 mm (1/4 in.) over the sieve cloth. Thus the effective sieving diameter for a 203.2-mm (8.0-in.) diameter sieve frame is 190.5 mm (7.5 in.). Some manufacturers of sieves may not infringe on the sieve cloth by the full 6.35 mm (1/4 in.).

^C Sieves indicated have less than five full openings and should not be used for sieve testing except as provided in 8.6. use. In no case shall the quantity retained be so great as to cause permanent deformation of the sieve cloth.

5.3.1 Prevent an overload of material on an individual sieve by one of the following methods:

5.3.1.1 Insert an additional sieve with opening size intermediate between the sieve that may be overloaded and the sieve immediately above that sieve in the original set of sieves.

5.3.1.2 Split the sample into two or more portions, sieving each portion individually. Combine the masses of the several portions retained on a specific sieve before calculating the percentage of the sample on the sieve.

5.3.1.3 Use sieves having a larger frame size and providing greater sieving area.

NOTE 5—The 7 kg/m² amounts to 200 g for the usual 203.2-mm (8-in.) diameter sieve (with effective sieving surface diameter of 190.5 mm (7.5 in.)).

5.4 Continue sieving for a sufficient period and in such manner that, after completion, not more than 1 % by mass of the material retained on any individual sieve will pass that sieve during 1 min of continuous hand sieving performed as follows: Hold the individual sieve, provided with a snug-fitting pan and cover, in a slightly inclined position in one hand.

Strike the side of the sieve sharply and with an upward motion against the heel of the other hand at the rate of about 150 times per minute, turn the sieve about one sixth of a revolution at intervals of about 25 strokes. In determining sufficiency of sieving for sizes larger than the 4.75-mm (No. 4) sieve, limit the material on the sieve to a single

layer of particles. If the size of the mounted testing sieves makes the described sieving

motion impractical, use 203-mm (8 in.) diameter sieves to verify the sufficiency of sieving.

5.5.1 Alternatively, the portion finer than the 4.75-mm (No. 4) sieve may be reduced in size using a mechanical splitter according to Practice C 702. If this procedure is followed, compute the mass of each size increment of the original sample as follows:

$$A = \frac{W_1}{W_2}(B)$$

where:

A = mass of size increment on total sample basis,

*W*₁ = mass of fraction finer than 4.75-mm (No. 4) sieve in total sample,

*W*₂ = mass of reduced portion of material finer than 4.75-mm (No. 4) sieve actually sieved, and

B = mass of size increment in reduced portion sieved 8.6 Unless a mechanical sieve shaker is used, hand sieve particles larger than 75 mm (3 in.) by determining the smallest sieve opening through which each particle will pass. Start the test on the smallest sieve to be used. Rotate the particles, if necessary, in order to determine whether they will pass through a particular opening; however, do not force particles to pass through an opening.

5.7 Determine the mass of each size increment on a scale or balance conforming to the requirements specified in 5.1 to the nearest 0.1 % of the total original dry

sample mass. The total mass of the material after sieving should check closely with original mass of sample placed on the sieves. If the amounts differ by more than 0.3 %, based on the original dry sample mass, the results should not be used for acceptance purposes.

8.8 If the sample has previously been tested by Test Method C 117, add the mass finer than the 75- μm (No. 200) sieve determined by that method to the mass passing the 75- μm (No. 200) sieve by dry sieving of the same sample in this method.

6. Calculation

6.1 Calculate percentages passing, total percentages retained, or percentages in various size fractions to the nearest 0.1 % on the basis of the total mass of the initial dry sample. If the same test sample was first tested by Test Method C 117, include the mass of material finer than the 75- μm (No. 200) size by washing in the sieve analysis calculation; and use the total dry sample mass prior to washing in Test Method C 117 as the basis for calculating all the percentages.

6.1.1 When sample increments are tested as provided in 7.6, total the masses of the portion of the increments retained on each

sieve, and use these masses to calculate the percentages as in 9.1.

6.2 Calculate the fineness modulus, when required, by adding the total percentages of material in the sample that is coarser than each of the following sieves (cumulative percentages retained), and dividing the sum by 100: 150- μm (No. 100), 300- μm (No. 50), 600- μm (No. 30), 1.18-mm (No. 16), 2.36-mm (No. 8), 4.75-mm (No. 4), 9.5-mm (3/8-in.), 19.0-mm (3/4-in.), 37.5-mm (1 1/2-in.), and larger, increasing in the ratio of 2 to 1.

7. Report

7.1 Depending upon the form of the specifications for use of the material under test, the report shall include the following:

7.1.1 Total percentage of material passing each sieve, or

7.1.2 Total percentage of material retained on each sieve, or

7.1.3 Percentage of material retained between consecutive sieves.

7.2 Report percentages to the nearest whole number, except if the percentage passing the 75- μm (No. 200) sieve is less than 10 %, it shall be reported to the nearest 0.1 %.

7.3 Report the fineness modulus, when required, to the nearest 0.01.

| Table Precision | | | | |
|--|--------------------------------------|-----|---|---|
| | Total percentage of material passing | | Standard Deviation (1s) % ^A | Acceptable range of two results (d2s)% ^A |
| | <100 | ≥95 | | |
| Coarse aggregate ^B single-operator precision. | <95 | <85 | 0.32 | 0.9 |
| | <85 | <80 | 0.81 | 2.3 |
| | <80 | <60 | 1.34 | 3.8 |
| | <60 | <20 | 2.25 | 6.4 |
| | <60 | <15 | 1.32 | 3.7 |
| | <20 | <10 | 0.96 | 2.7 |
| | <15 | <5 | 1.00 | 2.8 |
| | <10 | <2 | 0.75 | 2.1 |
| | <5 | >0 | 0.53 | 1.5 |
| | <2 | >0 | 0.27 | 0.8 |
| Multilaboratory Precision. | <100 | ≥95 | 0.35 | 1.0 |
| | <95 | <85 | 1.37 | 3.9 |
| | <85 | <80 | 1.92 | 5.4 |
| | <80 | <60 | 2.82 | 8.0 |
| | <60 | <20 | 1.97 | 5.6 |
| | <20 | <15 | 1.6 | 4.5 |
| | <15 | <10 | 1.48 | 4.2 |
| | <10 | <5 | 1.22 | 3.4 |
| | <5 | <2 | 1.04 | 3.0 |
| | <2 | >0 | 0.45 | 1.3 |
| Fine aggregate: Single-operator Precision. | <100 | ≥95 | 0.26 | 0.7 |
| | <95 | <60 | 0.55 | 1.6 |
| | <60 | <20 | 0.83 | 2.4 |
| | <20 | <15 | 0.54 | 1.5 |
| | <15 | <10 | 0.36 | 1.0 |
| | <10 | <2 | 0.37 | 1.1 |
| | <2 | >0 | 0.14 | 0.4 |
| Multilaboratory Precision. | <100 | ≥95 | 0.23 | 0.6 |
| | <95 | <60 | 0.77 | 2.2 |
| | <60 | <20 | 1.41 | 4.0 |
| | <20 | <15 | 1.10 | 3.1 |
| | <15 | <10 | 0.73 | 2.1 |
| | <10 | <2 | 0.65 | 1.8 |
| | <2 | >0 | 0.31 | 0.9 |

^A These numbers represent, respectively, the (1s) and (d2s) limits described in Practice C 670.

^B The precision estimates are based on aggregates with nominal maximum size of 19.0 mm (3/4 in.).



A-7-4 Designation: C 127 C 128 C 566 - 97
Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate

A-7-4

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the average density of a quantity of coarse aggregate particles (not including the volume of voids between the particles), the relative density (specific gravity), and the absorption of the coarse aggregate. Depending on the procedure used, the density (kg/m³(lb/ft³)) is expressed as oven-dry (OD), saturated-surface-dry (SSD), or as apparent density. Likewise, relative density (specific gravity), a dimensionless quantity, is expressed as OD, SSD, or as apparent relative density (apparent specific gravity). The OD density and OD relative density are determined after drying the aggregate. The SSD density, SSD relative density, and absorption are determined after soaking the aggregate in water for a prescribed duration.

1.2 This test method is used to determine the density of the essentially solid portion of a large number of aggregate particles and provides an average value representing the sample. Distinction is made between the density of aggregate particles as determined by this test method, and the bulk density of aggregates as determined by Test Method C 29/C 29M, which includes the volume of voids between the particles of aggregates.

1.3 This test method is not intended to be used with lightweight aggregates.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard for conducting the tests. The test results for density shall be reported in either SI units or inch-pound units, as appropriate for the use to be made of the results.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 29/C 29M Test Method for Bulk Density ("UnitWeight") and Voids in Aggregate.

D 75 Practice for Sampling Aggregates.

D 448 Classification for Sizes of Aggregate for Road and Bridge Construction E 11 Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes.

2.2 AASHTO Standard:

AASHTO No. T 85 Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate.

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 absorption, *n*—the increase in mass of aggregate due to water penetration into the pores of the particles during a prescribed period of time, but not including water adhering to the outside surface of the particles, expressed as a percentage of the dry mass.

3.1.2 oven-dry (OD), *adj*—related to aggregate particles, the condition in which the aggregates have been dried by heating in an oven at 110 ± 5°C for sufficient time to reach a constant mass.

3.1.3 saturated-surface-dry (SSD), *adj*—related to aggregate particles, the condition in which the permeable pores of aggregate particle are filled with water to the extent achieved by submerging in water for the prescribed period of time, but without free water on the surface of the particles.

3.1.4 Density, the mass per unit volume of a material, expressed as kilograms per cubic metre (pounds per cubic foot).

3.1.4.1 density (OD), *n*—the mass of oven dry aggregate per unit volume of aggregate particles, including the volume of permeable and impermeable pores within the particles, but not including the voids between the particles.

3.1.4.2 density (SSD), *n*—the mass of saturated-surface-dry aggregate per unit volume of the aggregate particles, including

the volume of impermeable pores and water-filled voids within the particles, but not including the pores between the particles.

3.1.4.3 apparent density, n —the mass per unit volume of the impermeable portion of the aggregate particles.

3.1.5 relative density (specific gravity), n —the ratio of the density of a material to the density of distilled water at a stated temperature; the values are dimensionless.

3.1.5.1 relative density (specific gravity) (OD), n —the ratio of the density (OD) of the aggregate to the density of distilled water at a stated temperature.

3.1.5.2 relative density (specific gravity) (SSD), n —the ratio of the density (SSD) of the aggregate to the density of distilled water at a stated temperature.

3.1.5.3 apparent relative density (apparent specific gravity), n —the ratio of the apparent density of aggregate to the density of distilled water at a stated temperature.

3.1.6 For definitions of other terms related to aggregates, see Terminology C 125.

4. Summary of Test Method

4.1 A sample of aggregate is immersed in water for 24 h to essentially fill the pores. It is then removed from the water, the water dried from the surface of the particles, and the mass determined. Subsequently, the volume of the sample is determined by the displacement of water method. Finally, the sample is oven-dried and the mass determined. Using the mass values thus obtained and formulas in this test method, it is possible to calculate density, relative density (specific gravity), and absorption.

6. Apparatus

6.1 *Balance*—A device for determining mass that is sensitive, readable, and accurate to 0.05 % of the sample mass at any point within the range used for this test, or 0.5 g, whichever is greater. The balance shall be equipped with suitable apparatus for suspending the sample container in

water from the center of the platform or pan of the balance.

6.2 *Sample Container*—A wire basket of 3.35 mm (No. 6) or finer mesh, or a bucket of approximately equal breadth and height, with a capacity of 4 to 7 L for 37.5-mm (1½-in.) nominal maximum size aggregate or smaller, and a larger container as needed for testing larger maximum size aggregate. The container shall be constructed so as to prevent trapping air when the container is submerged.

6.3 *Water Tank*—A watertight tank into which the sample container is placed while suspended below the balance.

6.4 *Sieves*—A 4.75-mm (No. 4) sieve or other sizes as needed (see 7.2-7.4), conforming to Specification E 11.

7. Sampling

7.1 Sample the aggregate in accordance with Practice D 75.

7.2 Thoroughly mix the sample of aggregate and reduce it to the approximate quantity needed using the applicable procedures in Practice C 702. Reject all material passing a 4.75-mm (No. 4) sieve by dry sieving and thoroughly washing to remove dust or other coatings from the surface. If the coarse aggregate contains a substantial quantity of material finer than the 4.75-mm sieve (such as for Size No. 8 and 9 aggregates in Classification D 448), use the 2.36-mm (No. 8) sieve in place of the 4.75-mm sieve. Alternatively, separate the material finer than the 4.75-mm sieve and test the finer material according to Test Method C 128.

NOTE 1—If aggregates smaller than 4.75 mm (No. 4) are used in the sample, check to ensure that the size of the openings in the sample container is smaller than the minimum size aggregate.

| Nominal Maximum Size, mm | Maximum Mass of Test Sample, kg |
|--------------------------|---------------------------------|
| 12.5 | 2 |
| 19.0 | 3 |
| 25.0 | 4 |

| | |
|------|----|
| 37.5 | 5 |
| 50 | 8 |
| 63 | 12 |
| 75 | 18 |
| 90 | 25 |
| 100 | 40 |
| 125 | 75 |

8. Procedure

8.1 Dry the test sample to constant mass at a temperature of 110 ± 5°C, cool in air at room temperature for 1 to 3 h for test samples of 37.5-mm (1½-in.) nominal maximum size, or

longer for larger sizes until the aggregate has cooled to a temperature that is comfortable to handle (approximately 50°C). Subsequently immerse the aggregate in water at room temperature for a period of 24 ± 4 h.

8.2 Where the absorption and relative density (specific gravity) values are to be used in proportioning concrete mixtures in which the aggregates will be in their naturally moist condition, the requirement in 8.1 for initial drying is optional, and, if the surfaces of the particles in the sample have been kept continuously wet until tested, the requirement in 8.1 for 24 ± 4 h soaking is also optional.

NOTE 3—Values for absorption and relative density (specific gravity) (SSD) may be significantly higher for aggregate not oven dried before soaking than for the same aggregate treated in accordance with 8.1. This is especially true of particles larger than 75 mm since the water may not be able to penetrate the pores to the center of the particle in the prescribed soaking period.

8.3 Remove the test sample from the water and roll it in a large absorbent cloth until all visible films of water are removed. Wipe the larger particles individually. A moving stream of air is permitted to assist in the drying operation. Take care to avoid evaporation of water from aggregate pores during the surface-drying operation.

Determine the mass of the test sample in the saturated surface-dry condition. Record this and all subsequent masses to the nearest 0.5 g or 0.05 % of the sample mass, whichever is greater.

8.4 After determining the mass in air, immediately place the saturated-surface-dry test sample in the sample container and determine its apparent mass in water at 23 ± 2.0°C. Take care to remove all entrapped air before determining its mass by shaking the container while immersed.

NOTE 4—The difference between the mass in air and the mass when the sample is submerged in water equals the mass of water displaced by the sample.

NOTE 5—The container should be immersed to a depth sufficient to cover it and the test sample while determining the apparent mass in water.

Wire suspending the container should be of the smallest practical size to minimize any possible effects of a variable immersed length.

8.5 Dry the test sample to constant mass at a temperature of 110 ± 5°C, cool in air at room temperature 1 to 3 h, or until the aggregate has cooled to a temperature that is comfortable to handle (approximately 50°C), and determine the mass.

9. Calculations

9.1 *Relative Density (Specific Gravity):*

9.1.1 *Relative Density (Specific Gravity) (OD)*—Calculate the relative density (specific gravity) on the basis of oven-dry aggregate as follows:

$$\text{Relative density} = (\text{specific gravity}) \sim (\text{OD}) = A / (B - C) \quad (1)$$

where:

A = mass of oven-dry test sample in air, g,

B = mass of saturated-surface-dry test sample in air, g, and

C = apparent mass of saturated test sample in water, g.

9.1.2 *Relative Density (Specific Gravity) (SSD)*—Calculate the relative density

(specific gravity) on the basis of saturated surface-dry aggregate as follows:

Relative density (specific gravity) (SSD) = $B/(B - C)$ (2)

9.1.3 *Apparent Relative Density (Apparent Specific Gravity)*—Calculate the apparent relative density (apparent specific gravity) as follows:

Apparent relative density (apparent specific gravity) = $A/(A - C)$ (3)

9.2 *Density:*

9.2.1 *Density (OD)* Calculate the density on the basis of oven-dry aggregate as follows:

Density (OD), kg/m³, = $997.5 A/(B - C)$ (4)

Density (OD), lb/ft³, = $62.27 A/(B - C)$ (5)

NOTE 6—The constant values used in the calculations in 9.2.1-9.2.3 (997.5 kg/m³ and 62.27 lb/ft³) are the density of water at 23°C.

9.2.2 *Density (SSD)* Calculate the density on the basis of saturated-surface-dry aggregate as follows:

Density (SSD), kg/m³, = $997.5 B/(B - C)$ (6)

Density (SSD), lb/ft³, = $62.27 B/(B - C)$ (7)

9.2.3 *Apparent Density* Calculate the apparent density as follows:

Apparent density, kg/m³, = $997.5 A/(A - C)$ (8)

Apparent density, lb/ft³, = $62.27 A/(A - C)$ (9)

9.3 *Average Density and Relative Density (Specific Gravity) Values*—When the sample is tested in separate size fractions, compute the average values for density or relative density (specific gravity) of the size fraction computed in accordance with 9.1 or 9.2 using the following equation:

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100G_1} + \frac{P_2}{100G_2} + \dots + \frac{P_n}{100G_n}}$$

where:

G = average density or relative density (specific gravity). All forms of expression of density

or relative density (specific gravity) can be averaged in this manner,

G_1, G_2, \dots, G_n = appropriate average density or relative density (specific gravity) values for each size fraction depending on the type of density or relative density (specific gravity) being averaged, and

P_1, P_2, \dots, P_n = mass percentages of each size fraction present in the original sample (not including finer material—see 7.4).

9.4 *Absorption*—Calculate the percentage of absorption, as follows:

Absorption, % = $[(B - A)/A] \times 100$ (11)

NOTE 7—Some authorities recommend using the density of water at 4°C (1000 kg/m³ or 1.000 Mg/m³ or 62.43 lb/ft³) as being sufficiently accurate.

9.5 *Average Absorption Value*—When the sample is tested in separate size fractions, the average absorption value is the average of the values as computed in 9.4, weighted in proportion to the mass percentages of each size fraction present in the original sample (not including finer material—see 7.4) as follows:

$A = (P_1A_1/100) + (P_2A_2/100) + \dots + (P_nA_n/100)$ (12)

where:

A = average absorption, %,

A_1, A_2, \dots, A_n = absorption percentages for each size fraction, and

P_1, P_2, \dots, P_n = mass percentages of each size fraction present in the original sample.

10. Report

10.1 Report density results to the nearest 10 kg/m³, or 0.5 lb/ft³, relative density (specific gravity) results to the nearest 0.01, and indicate the basis for density or relative density

(specific gravity), as either (OD), (SSD), or apparent. 10.2 Report the absorption result to the nearest 0.1 %. 10.3 If the density, relative density (specific gravity) and absorption values were determined without first drying the aggregate, as permitted in 8.2, note that fact in the report.



A-7-5 Designation: C 131 - 97

Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine

A-7-5

1. Scope

1.1 This test method covers a procedure for testing sizes of coarse aggregate smaller than 37.5 mm (1 1/2 in.) for resistance to degradation using the Los Angeles testing machine (Note 1).

NOTE 1—A procedure for testing coarse aggregate larger than 19.0 mm (3/4 in.) is covered in Test Method C 535.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.

C 136 Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

C 535 Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this test method, refer to Terminology C 125.

4. Summary of Test Method

4.1 This test is a measure of degradation of mineral aggregates of standard gradings resulting from a combination of actions including abrasion or attrition, impact, and grinding in a rotating steel drum containing a specified number of steel spheres, the

number depending upon the grading of the test sample. As the drum rotates, a shelf plate picks up the sample and the steel spheres, carrying them around until they are dropped to the opposite side of the drum, creating an impactcrushing effect. The contents then roll within the drum with an abrading and grinding action until the shelf plate picks up the sample and the steel spheres, and the cycle is repeated. After the prescribed number of revolutions, the contents are removed from the drum and the aggregate portion is sieved to measure the degradation as percent loss.

5. Significance and Use

5.1 This test has been widely used as an indicator of the relative quality or competence of various sources of aggregate having similar mineral compositions. The results do not automatically permit valid comparisons to be made between sources distinctly different in origin, composition, or structure.

Assign specification limits with extreme care in consideration of available aggregate types and their performance history in specific end uses.

6. Apparatus

6.1 *Los Angeles Machine*—A Los Angeles machine, conforming in all essential characteristics to the design shown in Fig. 1, shall be used. The machine shall consist of a hollow steel cylinder, closed at both ends, conforming to the dimensions shown, having an inside diameter of 711 6 5 mm (28 6 0.2 in.), and an inside length of 508 6 5 mm (20 6 0.2 in.). The cylinder shall be mounted on stub shafts attached to the ends of the cylinder but not entering it, and shall be

mounted in such a manner that it may be rotated with the axis in a horizontal position within a tolerance in slope of 1 in 100.

An opening in the cylinder shall be provided for the introduction of the test sample. A suitable, dust-tight cover shall be provided for the opening with means for bolting the cover in place. The cover shall be so designed as to maintain the cylindrical contour of the interior surface unless the shelf is so located that the charge will not fall on the cover, or come in contact with it during the test. A removable steel shelf extending the full length of the cylinder and projecting inward 89.62 mm (3.5601 in.) shall be mounted on the interior cylindrical surface of the cylinder, in such a way that a plane centered between the large faces coincides with an axial plane.

The shelf shall be of such thickness and so mounted, by bolts or other suitable means, as to be firm and rigid. The position of the shelf (Note 2) shall be such that the sample and the steel

spheres shall not impact on or near the opening and its cover, and that the distance from the shelf to the opening, measured along the outside circumference of the cylinder in the direction of rotation, shall be not less than 1270 mm (50 in.). Inspect the shelf periodically to determine that it is not bent either lengthwise or from its normal radial position with respect to the cylinder. If either condition is found, repair or replace the shelf before further tests are conducted.

NOTE 2—The use of a shelf of wear-resistant steel, rectangular in cross section and mounted independently of the cover, is preferred. However, a shelf consisting of a section of rolled angle, properly mounted on the inside of the cover plate, may be used provided the direction of rotation is such that the charge will be caught on the outside face of the angle.

6.1.1 The machine shall be so driven and so counterbalanced as to maintain a substantially uniform peripheral speed (Note 3). If an angle is used as the shelf, the

direction of rotation shall be such that the charge is caught on the outside surface of the angle.

NOTE 3—Back-lash or slip in the driving mechanism is very likely to furnish test results which are not duplicated by other Los Angeles machines producing constant peripheral speed.

6.2 *Sieves*, conforming to Specification E 11.

6.3 *Balance*—A balance or scale accurate within 0.1 % of test load over the range required for this test.

6.4 *Charge*—The charge shall consist of steel spheres averaging approximately 46.8 mm (127/32 in.) in diameter and each having a mass of between 390 and 445 g.

6.4.1 The charge, (Note 4) depending upon the grading of the test sample as described in Section 8, shall be as follows:

| Grading | Number of spheres | Mass of charge, g |
|---------|-------------------|-------------------|
| A | 12 | 5000±25 |
| B | 11 | 4584±25 |
| C | 8 | 3330±20 |
| D | 6 | 2500±15 |

NOTE 4—Steel ball bearings 46.0 mm (113/16 in.) and 47.6 mm (17/8 in.) in diameter, having a mass of approximately 400 and 440 g each, respectively, are readily available. Steel spheres 46.8 mm (127/32 in.) in diameter having a mass of approximately 420 g may also be obtainable.

The charge may consist of a mixture of these sizes conforming to the mass tolerances of 6.4 and 6.4.1.

7. Sampling

7.1 Obtain the field sample in accordance with Practice D 75, and reduce the field sample to adequate sample size in accordance with Practice C 702.

8. Test Sample Preparation

8.1 Wash and oven dry the reduced sample at 110.65°C (230.69°F) to substantially

constant mass (see 9.1.1), separate into individual size fractions, and recombine to the grading of Table 1 most nearly corresponding to the range of sizes in the aggregate as furnished for the work. Record the mass of the sample prior to test to the nearest 1 g.

9. Procedure

9.1 Place the test sample and the charge in the Los Angeles testing machine and rotate the machine at a speed of 30 to 33 r/min for 500 revolutions. (Note 5) After the prescribed number

of revolutions, discharge the material from the machine and make a preliminary separation of the sample on a sieve coarser than the 1.70-mm (No. 12). Sieve the finer portion on a 1.70-mm sieve in a manner conforming to Test Method C 136.

Wash the material coarser than the 1.70-mm sieve and oven-dry at 110 ± 5°C (230 ± 9°F) to substantially constant mass (see 9.1.1), and determine the mass to the nearest 1 g (Note 6).

9.1.1 If the aggregate is essentially free of adherent coatings and dust, the requirement for washing after test may be waived, but drying before the test is always required. However, in the case of referee testing, the washing procedure shall be performed.

NOTE 5—Valuable information concerning the uniformity of the sample under test may be obtained by determining the loss after 100 revolutions.

This loss should be determined without washing the material coarser than the 1.70-mm sieve. The ratio of the loss after 100 revolutions to the loss after 500 revolutions

should not greatly exceed 0.20 for material of uniform hardness. When this determination is made, take care to avoid losing any part of the sample; return the entire sample, including the dust of fracture, to the testing machine for the final 400 revolutions required to complete the test.

NOTE 6—Elimination of washing after test will seldom reduce the measured loss by more than about 0.2 % of the original sample mass.

10. Calculation

10.1 Calculate the loss (difference between the original mass and the final mass of the test sample) as a percentage of the original mass of the test sample. Report this value as the percent loss (Note 7).

NOTE 7—The percent loss determined by this test method has no known consistent relationship to the percent loss for the same material when tested by Test Method C 535.

11. Report

11.1 Report the following information:

11.1.1 Identification of the aggregate as to source, type, and nominal maximum size;

11.1.2 Grading designation from Table 1 used for the test; and

11.1.3 Loss by abrasion and impact of the sample expressed to the nearest 1 % by mass.



A-7-6 Designation: C 295 - 97
Standard Guide for Petrographic Examination of
Aggregates for Concrete

A-7-6

1. Scope

1.1 This guide outlines procedures for the petrographic examination of samples representative of materials proposed for use as aggregates in cementitious mixtures or as raw materials for use in production of such aggregates. This guide is based on Ref (1).

1.2 This guide outlines the extent to which petrographic techniques should be used, the selection of properties that should be looked for, and the manner in which such techniques may be employed in the examination of samples of aggregates for concrete.

1.3 The rock and mineral names given in Descriptive Nomenclature C 294 should be used, insofar as they are appropriate, in reports prepared in accordance with this guide.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are provided for information purposes only.

1.5 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 33 Specification for Concrete Aggregates

3. Petrographic examination of aggregate considered for use in hydraulic-cement concrete is one aspect of the evaluation of aggregate, but petrographic examination is also used for many other purposes. Petrographic examinations provide identification of types and varieties of rocks present in potential aggregates. However, as noted above, identification of every rock and mineral present in an aggregate source

is not required.

3.1 The petrographic examination should establish whether the aggregate contains chemically unstable minerals such as soluble sulfates, unstable sulfides that may form sulfuric acid or create distress in concrete exposed to high temperatures during service, or volumetrically unstable materials such as smectites (formerly known as the montmorillonite-saponite group of minerals or swelling clays). Specifications may limit the quartz content of aggregates for use in concrete that may be subject to high temperature (purposefully or accidentally) because of the conversion to beta-quartz at 573°C (1063°F), with accompanying volume increase.

3.2 Petrographic examination should identify the portion of each coarse aggregate that is composed of weathered or otherwise altered particles and the extent of that weathering or alteration, whether it is severe, moderate, or slight, and should determine the proportion of each rock type in each condition.

If the concrete in which the aggregate may be used will be exposed to freezing and thawing in a critically saturated condition, finely porous and highly weathered or otherwise altered rocks should be identified because they will be especially susceptible to damage by freezing and thawing and will cause the aggregate portion of the concrete to fail in freezing and thawing. This will ultimately destroy the concrete because such aggregates cannot be protected by adequately air-entrained mortar. Finely porous aggregates near the concrete surface are also likely to form popouts, which are blemishes on pavements and walls.

3.3 Petrographic examinations may also be used to determine the proportions of cubic, spherical, ellipsoidal, pyramidal, tabular,

flat, and elongated particles in an aggregate sample or samples. Flat, elongated, and thin chip-like particles in aggregate increase the mixing water requirement and hence decrease concrete strength.

3.4 Petrographic examination should identify and call attention to potentially alkali-silica reactive and alkali-carbonate reactive constituents, determine such constituents quantitatively, and recommend additional tests to confirm or refute the presence in significant amounts of aggregate constituents capable of alkali reaction in concrete. See Specification C 33. Alkali-silica reactive constituents found in aggregates include: opal, chalcedony, cristobalite, tridymite, highly strained quartz, microcrystalline quartz, volcanic glass, and synthetic siliceous glass. Aggregate materials containing these constituents include: glassy to cryptocrystalline intermediate to acidic volcanic rocks, some argillites, phyllites, graywacke, gneiss, schist, gneissic granite, vein quartz, quartzite, sandstone, and chert. Criteria are available for identifying the minerals in the list above by their optical properties or by XRD (2),(3). Criteria are available for identifying rocks by their mineral composition and texture (4). Examination in both reflected and transmitted light may be necessary to provide data for these identifications.

3.5 Petrography examination may be directed specifically at the possible presence of contaminants in aggregates, such as synthetic glass, cinders, clinker, or coal ash, magnesium oxide, calcium oxide, or both, gypsum, soil, hydrocarbons, chemicals that may affect the setting behavior of concrete or the properties of the aggregate, animal excrement, plants or rotten. Vegetation and any other contaminant that may prove undesirable in concrete.

4.10 These objectives, for which this guide was prepared, will have been attained if those involved with the evaluation of

aggregate materials for use in concrete construction have

reasonable assurance that the petrographic examination results wherever and whenever obtained may confidently be compared.

4. Sampling

4.1 Samples for petrographic examination should be taken by or under the direct supervision of a geologist familiar with the requirements for random sampling of aggregates for concrete and in general following the requirements of Practice D 75. Information on the exact location from which the sample was taken, the geology of the site, and other pertinent data should be submitted with the sample. The amount of material actually studied in the petrographic examination will be determined by the nature of the examination to be made and the nature of the material to be examined, as discussed below.

4.1.1 Undeveloped quarries should be sampled by means of cores drilled through the entire depth expected to be exploited. Drilling of such cores should be in a direction that is essentially perpendicular to the dominant structural feature of the rock. Massive material may be sampled by "NX" (53-mm (2 1/8-in.) diameter) cores. Thinly bedded or complex material should be represented by cores not less than 100 mm (4 in.) in diameter. There should be an adequate number of cores to cover the limits of the deposit proposed for the project. The entire footage of the recovered core should be included in the sample and accurate data given as to elevations, depths, and core losses.

4.1.2 Operating quarries and operating sand and gravel deposits, in which stock piles of the material produced are

available, should be represented by not less than 45 kg (100 lb) or 300 pieces, whichever is larger, of each size of material to be examined. Samples from stock piles should be composed of representative portions of larger samples collected with

due consideration given to segregation in the piles.

4.1.3 Exposed faces of nonproducing quarries, where stock piles of processed material are not available, should be represented by not less than 2 kg (4 lb) from each distinctive stratum or bed, with no piece having a mass less than 0.5 kg (1 lb), or by a drilled core as described above.

4.1.4 Undeveloped sand and gravel deposits should be sampled by means of test pits dug to the anticipated depth of future economic production. Samples should consist of not less than the quantities of material indicated in Table 1, selected so as to be representative of the deposits.

7. The number of particles of each sieve fraction to be examined will be fixed by the required precision of determination of the less abundant constituents. Assuming that the field sampling and laboratory sampling procedures are accurate and reliable, the number of particles examined, identified, and counted in each sieve fraction will depend on the required accuracy of the estimate of constituents present in small quantities. The numbers given in this method are minimal.

5. Record:

5.1 Notes should be taken during the examination. Each rock type should be described; the relevant features may include the following:

5.1.1 Particle shape,

5.1.2 Particle surface texture,

5.1.3 Grain size,

5.1.4 Internal structure, including observations of pore space, packing of grains, cementation of grains,

5.1.5 Color,

5.1.6 Mineral composition,

5.1.7 Significant heterogeneities,

5.1.8 General physical condition of the rock type in the sample,

5.1.9 Coatings or incrustations, and

5.1.10. Presence of constituents known to cause deleterious chemical reaction in concrete.

5.2 Particle counts should be recorded so that tables can be made for inclusion in the report. When the examination has been completed, the notes should contain enough information to permit the preparation of tables and descriptions. Tables should be prepared showing the composition and condition of the samples by sieve fractions, and the weighted average composition, based on the grading of the sample as received and on the distribution of constituents by sieve fractions.

Descriptions of constituent groups should be prepared containing the relevant features among those enumerated in the preceding list.

6. Report

6.1 The report of the petrographic examination should summarize the essential data needed to identify the sample as to source and proposed use, and include a description giving the essential data on composition and properties of the material as revealed by the examination. The report should record the test procedures employed, and give a description of the nature and features of each important constituent of the sample, accompanied by such tables and photographs as may be required. The findings and conclusions should be expressed in terms likely to be intelligible to those who must make decisions as to the suitability of a material for use as concrete aggregate.

6.2 When the sample has been found to possess properties or constituents that are known to have specific unfavorable effects in concrete, those properties or constituents should be described qualitatively and, to the extent practicable, quantitatively. The unfavorable effects that may be expected to ensue in concrete should be mentioned. When appropriate, it should be stated that a given sample was not found to contain any undesirable features.

A-7-7 Designación: NCh - 1511
Áridos para morteros y hormigones –
Determinación del Coeficiente volumétrico medio de las grava

1 Alcance y campo de aplicación

1.1 Esta norma establece el procedimiento para determinar el coeficiente volumétrico medio de las gravas.

1.2 Esta norma se aplica a las gravas de densidad real entre 2 000 y 3 000 kg/m³ que se utilizan en la elaboración de hormigones.

1.3 Esta norma establece dos procedimientos para determinar la suma de los volúmenes reales (*V*) de las partículas que constituyen un árido: un procedimiento volumétrico aplicable a los casos corrientes y un procedimiento gravimétrico aplicable como contra ensayo en casos de controversia.

2 Referencias

NCh163 Áridos para morteros y hormigones - Requisitos generales.

NCh164 Áridos para morteros y hormigones - Extracción y preparación de muestras.

NCh165 Áridos para morteros y hormigones - Tamizado y determinación de la granulometría.

3 Terminología

3.1 coeficiente volumétrico de una partícula: coeficiente entre el volumen real (*V*) de una partícula y el volumen de una esfera de diámetro igual a la mayor dimensión (*N*) de dicha partícula.

3.2 coeficiente volumétrico medio (C): coeficiente entre la suma de los volúmenes reales (*V*) de las partículas que constituyen un árido y la suma de los volúmenes ($\Sigma \pi N^3/6$) de las respectivas esferas circunscritas.

3.3 Otros términos aparecen definidos en NCh163.

4 Aparatos

4.1 Aparatos para determinar *V*

a) Método volumétrico

Una probeta graduada en cm³ (ml) con una capacidad mínima de 500 cm³ y un diámetro interior igual o mayor que el tamaño máximo absoluto del árido;

b) Método gravimétrico

Los aparatos indicados en NCh1117.

4.2 Aparato para determinar *N_i*

Un pie de metro.

5 Muestreo

Las muestras se deben extraer y preparar de acuerdo con NCh164.

6 Acondicionamiento de la muestra de ensayo

6.1 Efectuar previamente el ensayo de tamizado de acuerdo con NCh165, registrando el tamaño máximo absoluto (*Da*).

6.2 Reducir por cuarteo el material mayor que 5 mm (\approx ASTM N°4) al tamaño de muestra de ensayo que se indica en tabla.

| Tamaño mínimo de la muestra de ensayo | |
|---|--------------------------------|
| Tamaño máximo absoluto del árido, <i>D_a</i> mm | Tamaño mínimo de la muestra, g |
| 80 (=ASTM 3") | 1500 |
| 40 (=ASTM 1 1/2") | 500 |
| 20 (=ASTM 3/4") | 250 |

NOTA - Para tamaños máximos intermedios, los tamaños de muestra pueden interpolarse. Por ejemplo, para *Da* = 50 mm corresponden 750 g de muestra, y para *Da* = 25 mm corresponden 300 g.

7 Ensayo

7.1 Determinar la suma de los volúmenes reales (*V*) de las partículas mediante el procedimiento volumétrico siguiente:

a) acondicionar la muestra al estado saturado superficialmente seco, de acuerdo con NCh1117;

b) colocar en la probeta graduada un volumen de agua que garantice que la

muestra va a quedar completamente sumergida. Registrar el volumen correspondiente como V_1 , aproximando a 1 cm³ (1 ml);

c) sumergir la muestra en el agua de la probeta. Agitar el agua de modo de eliminar las burbujas de aire. Registrar el volumen total del agua más la muestra sumergida como V_2 , aproximando a 1 cm³ (1 ml);

d) calcular V como el volumen de agua desplazada de acuerdo con la fórmula siguiente aproximando a 1 cm³ (1 ml);

$$V = V_2 - V_1 \text{ cm}^3$$

en que:

V = suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra, cm³;

V_1 = volumen del agua en la probeta, cm³;

V_2 = volumen del agua más la muestra sumergida en la probeta, cm³.

7.2 En casos de controversia se deben efectuar contra ensayos, determinando la suma de los volúmenes reales de las partículas (V) mediante el procedimiento gravimétrico siguiente:

B = masa del árido saturado superficialmente seco (pesada al aire), kg.

7.3 Determinar los valores de N_i para el total de partículas de la muestra mediante el procedimiento de medición directa siguiente:

a) medir con el pie de metro la mayor dimensión de cada partícula (N_i) y registrarla en centímetros, aproximando a 0,1 cm;

b) calcular y registrar el valor $\sum N_i^3$, aproximando a 0,1 cm.

8 Expresión de resultados

8.1 Calcular el coeficiente volumétrico medio para cada ensayo de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,01

$$C = \frac{1,91V}{\sum N_i^3}$$

en que:

C = coeficiente volumétrico medio;

1,91 = factor correspondiente al valor inverso de $\pi/6$;

V = suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra, cm³;

N_i = mayor dimensión de cada partícula de la muestra, cm.

8.2 Calcular el coeficiente volumétrico medio de un árido como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.

9 Informe

El informe debe incluir lo siguiente:

a) nombre del solicitante;

b) procedencia de la muestra y lugar de extracción;

c) tamaño máximo absoluto de la grava, D_a ;

d) procedimiento empleado en la determinación del volumen total de partículas (volumétrico o gravimétrico);

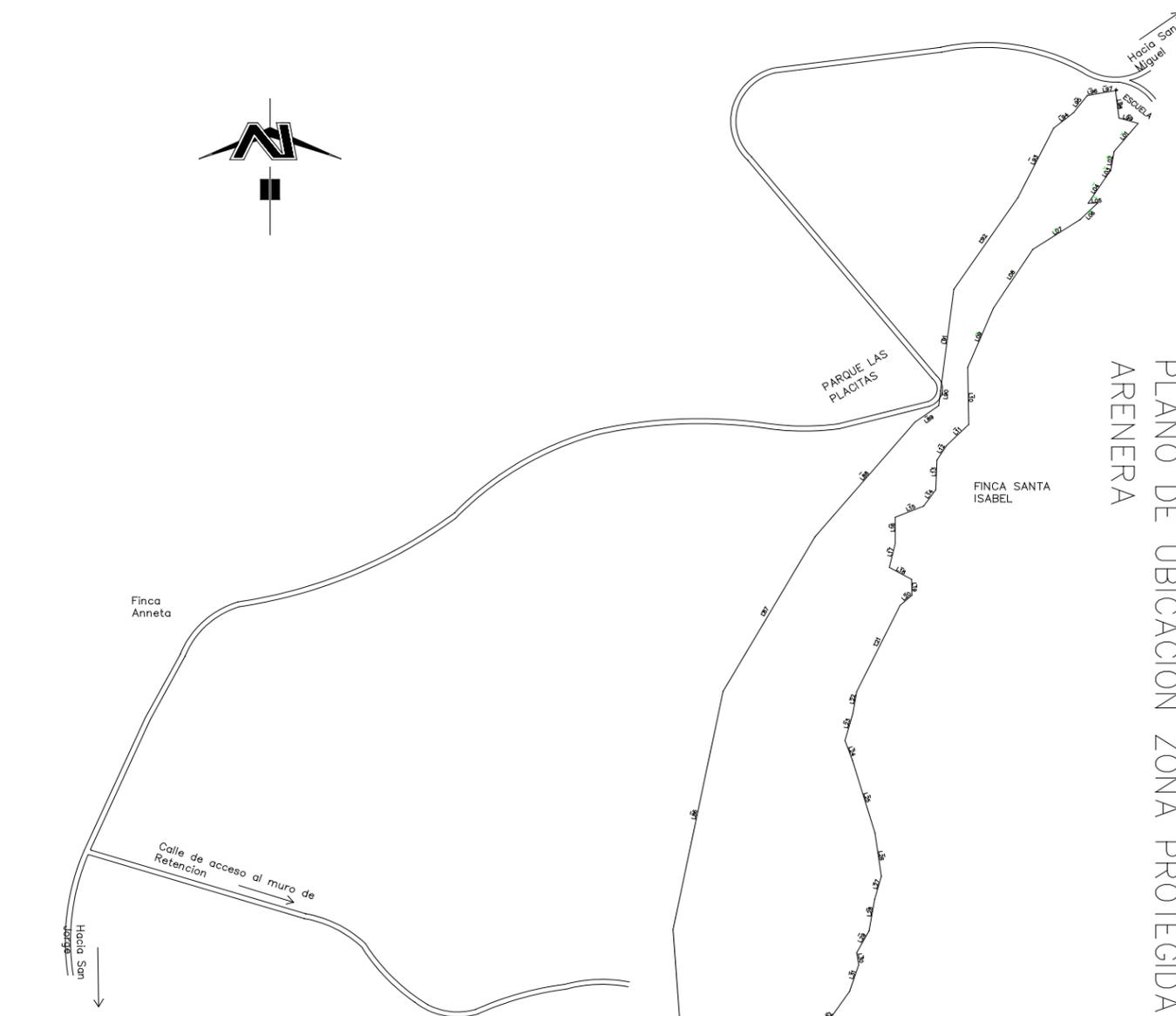
e) el resultado del ensayo;

f) fecha de ensayo;

g) cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido;

h) la referencia a esta norma.

PLANO DE UBICACION ZONA PROTEGIDA Y QUEBRADA LA ARENERA



| linea | Distancia | Rumbo |
|-------|-----------|-------------|
| L01 | 50.9300 | S39°11'57"W |
| L02 | 27.3300 | S09°29'48"W |
| L03 | 10.6300 | S34°09'12"W |
| L04 | 44.4800 | S32°51'02"W |
| L05 | 12.7100 | N88°22'35"E |
| L06 | 33.1500 | S45°01'28"W |
| L07 | 75.9000 | S56°24'07"W |
| L08 | 97.9400 | S32°21'52"W |
| L09 | 90.3200 | S22°19'53"W |
| L10 | 80.6500 | S00°48'36"E |
| L11 | 41.8000 | S44°56'31"W |
| L12 | 24.1900 | S31°51'26"W |
| L13 | 42.1100 | S02°17'59"W |
| L14 | 28.0300 | S35°02'03"W |
| L15 | 41.1300 | S67°28'09"W |
| L16 | 37.0600 | S00°07'25"W |
| L17 | 34.6700 | S13°02'03"W |
| L18 | 34.2300 | S60°42'05"E |
| L19 | 22.5200 | S01°08'41"E |
| L20 | 21.3400 | S48°04'36"W |
| L21 | 134.7100 | S25°32'44"W |
| L22 | 31.3100 | S09°28'06"W |
| L23 | 39.7500 | S15°13'43"W |
| L24 | 29.7000 | S19°33'04"E |
| L25 | 106.4300 | S16°26'40"E |
| L26 | 61.8700 | S08°01'10"E |
| L27 | 33.7000 | S15°35'42"W |
| L28 | 45.2400 | S09°26'23"W |
| L29 | 34.8600 | S28°36'05"W |
| L30 | 17.4500 | S09°31'57"E |
| L31 | 39.4200 | S17°59'04"W |
| L32 | 93.4900 | S34°07'55"W |
| L33 | 73.5800 | S20°32'00"E |
| L34 | 68.9400 | S51°28'40"E |
| L35 | 45.2700 | S23°43'01"W |
| L36 | 12.9600 | S19°11'24"E |
| L37 | 35.7400 | S24°24'25"E |
| L38 | 58.8900 | S23°38'40"E |
| L39 | 21.7400 | S61°55'33"E |
| L40 | 15.3100 | S32°52'12"E |
| L41 | 32.0300 | S24°34'22"E |
| L42 | 18.0000 | N87°57'45"E |
| L43 | 25.1000 | S12°16'52"E |
| L44 | 46.7800 | S14°24'27"E |
| L45 | 29.2500 | S00°22'20"E |
| L46 | 36.0800 | S03°32'37"E |
| L47 | 34.4400 | S01°13'50"E |
| L48 | 18.1400 | S42°03'02"E |
| L49 | 46.6800 | S07°42'24"E |
| L50 | 34.2000 | S05°15'02"E |

| linea | Distancia | Rumbo |
|-------|-----------|-------------|
| L51 | 30.7600 | S05°58'19"E |
| L52 | 7.0100 | S65°17'57"E |
| L53 | 29.3500 | N42°25'05"E |
| L54 | 19.6200 | N71°56'38"E |
| L55 | 19.7100 | N01°42'56"E |
| L56 | 31.1000 | N16°33'10"E |
| L57 | 18.2600 | N57°21'46"E |
| L58 | 24.5800 | S80°29'30"E |
| L59 | 34.7600 | S56°18'34"E |
| L60 | 50.5700 | S03°04'59"E |
| L61 | 53.4900 | S15°47'43"E |
| L62 | 76.1400 | S15°58'16"E |
| L63 | 18.8200 | S49°18'34"W |
| L64 | 17.1300 | S07°51'04"W |
| L65 | 30.1700 | S70°36'15"E |
| L66 | 32.8200 | S09°31'21"E |
| L67 | 16.7000 | S49°20'48"W |
| L68 | 33.6700 | S21°01'27"E |
| L69 | 23.1400 | S23°51'43"E |
| L70 | 37.8200 | S43°19'43"W |
| L71 | 43.1500 | S31°56'26"W |
| L72 | 19.3900 | S04°33'18"W |
| L73 | 46.2800 | S13°48'07"E |
| L74 | 9.8000 | S09°09'18"E |
| L75 | 30.4900 | S46°34'52"W |
| L76 | 23.8700 | S45°15'17"W |
| L77 | 29.1200 | S07°32'15"W |
| L78 | 18.8200 | S03°19'12"W |
| L79 | 45.8700 | S50°39'12"W |
| L80 | 21.4100 | S33°07'33"W |
| L81 | 61.1000 | S32°36'10"W |
| L82 | 288.9700 | N32°25'52"W |
| L83 | 427.9296 | N19°19'10"W |
| L84 | 358.2400 | N15°37'37"W |
| L85 | 341.8100 | N03°56'32"W |
| L86 | 342.6100 | N11°16'38"E |
| L87 | 250.2181 | N29°22'56"E |
| L88 | 209.6450 | N39°31'40"E |
| L89 | 39.0000 | N53°58'21"E |
| L90 | 21.1500 | N06°47'20"E |
| L91 | 144.4330 | N07°04'40"E |
| L92 | 154.7600 | N33°32'10"E |
| L93 | 109.2131 | N25°59'33"E |
| L94 | 34.4400 | N50°18'03"E |
| L95 | 30.0000 | N36°52'11"E |
| L96 | 16.2800 | N79°22'49"E |
| L97 | 22.3600 | N79°41'42"E |
| L98 | 38.7600 | S06°40'00"E |
| L99 | 26.9583 | S73°18'03"E |

Area = 496900.1383
M2, Perimeter =
5982.4151 M

| | | |
|---|---|--|
| UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL (FMO) | CONTENIDO: PLANO DE UBICACION ZONA PROTEGIDA Y QUEBRADA LA ARENERA | |
| PRESENTAN: RONALD ALFREDO GONZALEZ MARTINEZ GILBERTO ALEXANDER VELAZQUEZ ALVARES GERMAN ERNESTO ZELAYA TORRES | FECHA: MAYO DE 2010 | |
| TEMA: ESTUDIO GEOMECANICO DEL MATERIAL DE ARRASTRE EN QUEBRADA LA ARENERA, CANTON EL VOLCAN, CASERIO LOS CARRETOS, JURISDICCION DE SAN MIGUEL. | ANEXO A-8 | |