



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO GEOLÓGICO DEL ABRA TOPOGRÁFICO DE TACAGUA Y  
GEOTECNIA DETALLADA DE LOS KM 0 AL 4  
DE LA AUTOPISTA CARACAS-LA GUAIRA**

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Eudo E. Villegas R. para  
Optar al título de Ingeniero Geólogo

Caracas, febrero de 2006



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO GEOLÓGICO DEL ABRA TOPOGRÁFICO DE TACAGUA Y  
GEOTECNIA DETALLADA DE LOS KM 0 AL 4  
DE LA AUTOPISTA CARACAS-LA GUAIRA**

**Tutor Académico:** Ing. Feliciano De Santis

**Cotutor Académico:** Ing. Ricardo Alezones

**Tutor Industrial:** Ing. Daniel Salcedo.

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Eudo E. Villegas R. para  
Optar al título de Ingeniero Geólogo

Caracas, febrero de 2006

## AGRADECIMIENTOS

Mis mejores agradecimientos a las personas que ayudaron a que este trabajo se pudiera realizar en hora buena.

En primer lugar quisiera agradecer a mi Madre por todo el enorme esfuerzo que ha realizado para que yo pudiera haber logrado terminar la carrera y obtener el título de Ingeniero Geólogo a pesar de las limitantes y contratiempos.

A mis hermanos por ser apoyo y ejemplo fundamental para mi persona.

A la familia Villegas Velazquez por haberme prestado apoyo en los momentos más difíciles de mi carrera y vida.

A la familia Miró por toda la ayuda prestada durante el último año.

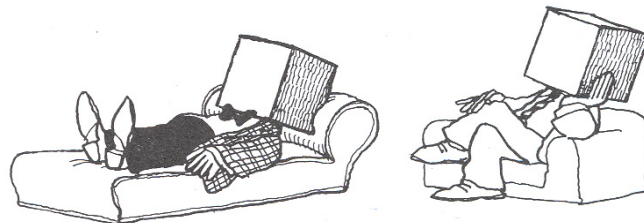
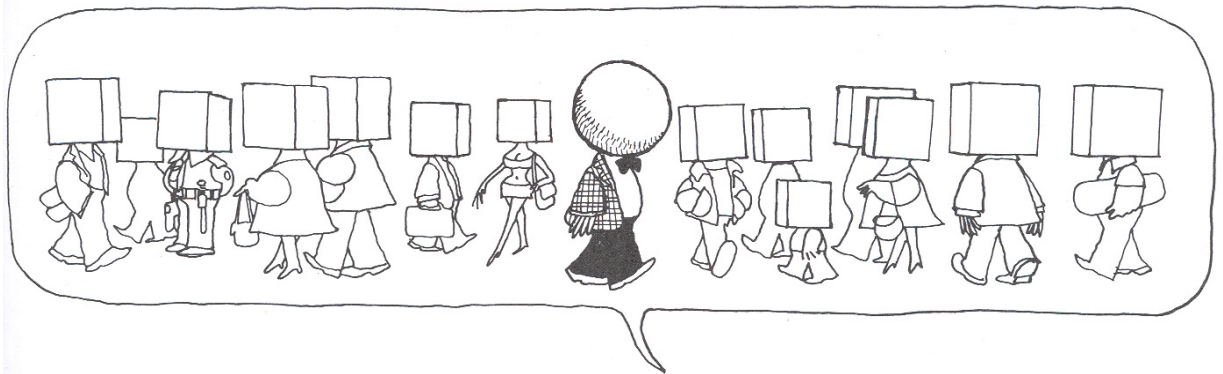
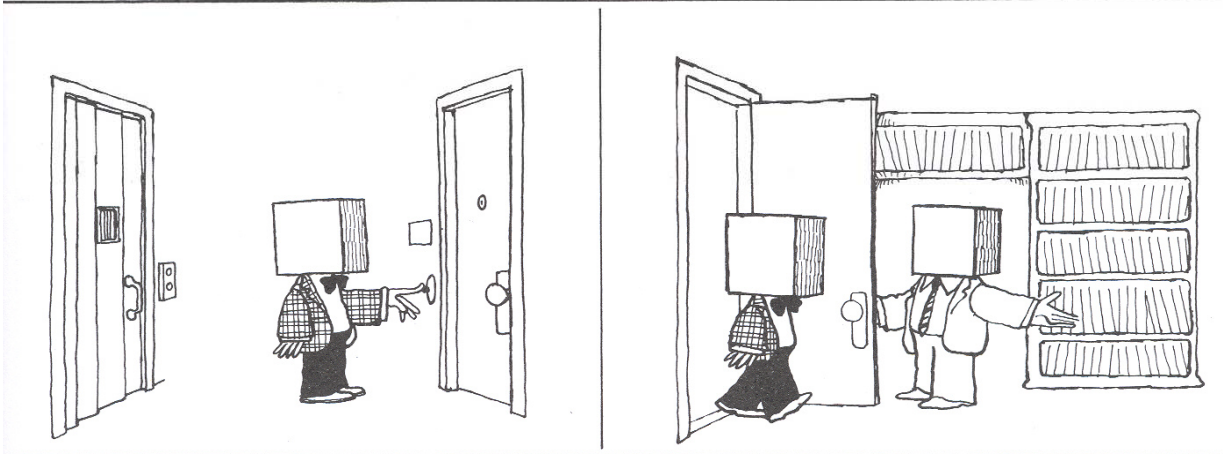
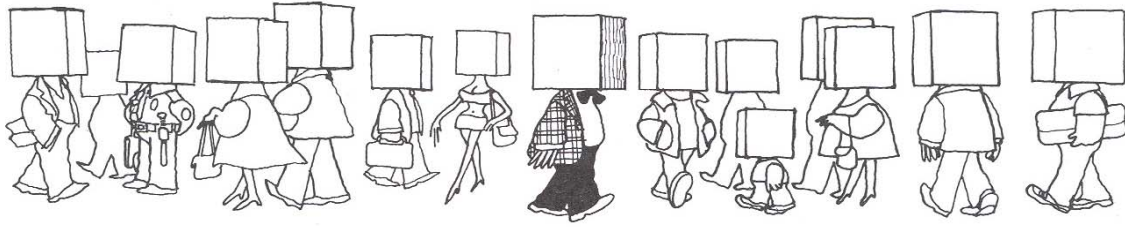
A la Universidad Central de Venezuela por servirme de base para mi formación como profesional y como persona.

Al profesor Ricardo Alezones por estar siempre ahí para cualquier consulta requerida durante toda mi carrera y en especial durante la realización de este trabajo.

Al profesor Daniel Salcedo a quien conocí cuando buscaba un tema para tesis y me abrió las puertas para trabajar en este interesante problema. Siempre estuvo dispuesto a prestar sus conocimientos e información técnica cada vez que lo requerí.

A todos mis amigos, compañeros de clases y profesores que en verdad me apoyaron.

EEVR



Tomado de QUINO, "Humano se nace" (2004)

**Villegas R. Eudo E.**

**GEOLOGÍA DEL ABRA TOPOGRÁFICO DE TACAGUA  
Y GEOTECNIA DETALLADA DE LOS KM 0 AL 4  
DE LA AUTOPISTA CARACAS LA GUAIRA**

**Tutor académico: Prof. Feliciano De Santis; Cotutor académico: Prof. Ricardo Alezones  
Tutor industrial: Ing. Daniel Salcedo. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.  
Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2006, 166 pag.**

Palabras Claves: Tacagua, Autopista, Falla, Deslizamientos, Amenaza.

**RESUMEN**

En este trabajo se recopila e integra los datos geológicos y geotécnicos contenidos en informes técnicos, trabajos inéditos y publicaciones, así como el que se pudo obtener en campo para conocer y evaluar el estado de amenaza, en que se encuentra sectores los 4 primeros kilómetros de la Autopista Caracas- La Guaira, en función de las variables geológicas y geotécnicas que la afectan.

El abra topográfico de Tacagua representa un valle entallado por el poder erosivo de La Quebrada Tacagua, que busca los planos de debilidad representados por el material brechado producto del sistema activo de la falla Tacagua-El Ávila. El paso de la Placa Caribe por la parte septentrional de Venezuela ha originado el levantamiento orogénico de la Cordillera de la Costa y el fallamiento regional, que ha permitido a esta garganta epigénica convertirse en un enlace bastante accidentado entre Caracas y La Guaira.

Los 4 primeros kilómetros de la autopista Caracas-La Guaira fueron construidos realizando cortes a mitad de ladera en rocas meta-sedimentarias, en su mayoría calizas foliadas y esquistos cuarzo micáceos calcáreos, con buzamiento general en la misma dirección de la ladera donde se ubica la vía.

En los cerros que rodean a la autopista desde el año 1971 se han estado asentando viviendas informales sin ningún tipo de control en cuanto a la canalización de las aguas servidas, dejándolas infiltrar produciendo otro factor que pudo ser detonante de alguno de los procesos de geodinámica superficial observados.

Se realizó un inventario de los deslizamientos evidentes, así como un estudio en detalle de cada movimiento de masa, por medio de fotointerpretación, trabajo de campo e información obtenida en la bibliografía, obteniendo que en el tramo estudiado de la vía existen más de 10 problemas de deslizamientos de diversas características, así como problemas menores como: Socavación del terraplén de la vía, hundimientos del asfalto, fallas de borde, caída de bloques etc.

Utilizando fundamentos teóricos obtenidos en la bibliografía y adaptados para que coincidan con el área estudiada, se evaluó el estado de amenaza en el que se encuentra los primeros 4 kilómetros de La Autopista Caracas-La Guaira y alrededores en función de las variables, litológicas, estructurales, topográfica y urbanísticas presentes, zonificando áreas de igual magnitud de amenaza en cartografía a escala 1:5.000.

# ÍNDICE GENERAL

---

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	I
<b>RESUMEN</b>	III
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	VIII
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	IX
<b>CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN</b>	1
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS Y ALCANCES	2
OBJETIVOS GENERALES	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
ALCANCE	2
ÁREA DE ESTUDIO Y VÍAS DE ACCESO	3
<i>Dominio geográfico, toponimias y localidades y vías de acceso</i>	3
METODOLOGÍA DE TRABAJO	5
<i>Etapa compilatoria</i>	5
<i>Etapa de campo</i>	6
<i>Etapa de laboratorio</i>	6
<i>Etapa de oficina</i>	6
TRABAJOS PREVIOS	8
<i>Trabajos geológicos</i>	8
<i>Trabajos geotécnicos</i>	10
<i>Trabajos tectónicos</i>	11
<b>CAPÍTULO II.- GEOGRAFÍA FÍSICA</b>	14
FISIOGRAFÍA	14
DRENAJES	15
CLIMA	16
PRECIPITACIÓN	17
INSOLACIÓN	17
EVAPORACIÓN	18
VEGETACIÓN	18
ALTERACIÓN ANTRÓPICA SUPERFICIAL	20
<b>CAPÍTULO III.- GEOLOGÍA REGIONAL</b>	22
GENERALIDADES	22
LITOLOGÍA	24
AUGENGNEIS DE PEÑA DE MORA (APM)	25
ASOCIACIÓN SAN JULIÁN (ASJ)	26
ASOCIACIÓN METASEDIMENTARIA CARACAS (AMC)	26
<i>Esquistos Las Brisas (CaB)</i>	26
<i>Esquistos las Mercedes (CaM)</i>	26

ASOCIACIÓN METAMÓRFICA DE LA COSTA	27
<i>Mármol de Antímano (CA)</i>	27
<i>Esquistos de Tacagua (CT)</i>	29
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	30
CICLOS TECTÓNICOS (MESOZOICO Y CENOZOICO)	31
<i>Ciclo Mesozoico</i>	31
<i>Ciclo Cenozoico</i>	31
<i>Neotectónica</i>	32
CONSIDERACIONES HISTÓRICAS	34
<b>CAPÍTULO IV.- GEOLOGÍA DE SUPERFICIE</b>	35
UNIDAD I.- ESQUISTOS CUARZO-MUSCOVÍTICOS-GRAFITOSO Y ESQUISTOS ANFIBOLÍTICO-CUARZO-MICÁCEO	36
UNIDAD II.- MARMOLES Y ESQUISTOS CALCÁREOS	37
UNIDAD III.- ESQUISTOS CUARZO-MICÁCEO-FELDESPÁTICOS Y CALIZAS.	43
SUELOS	45
<i>Definiciones</i>	45
<i>Suelo Vegetal</i>	46
<i>La Meteorización (espesores B y C)</i>	47
<i>Suelos transportados naturalmente</i>	50
<i>Rellenos</i>	51
<i>Botes</i>	51
GEOMORFOLOGÍA	51
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL	52
<i>Estructuras mayores</i>	52
<i>Estructuras menores</i>	52
<i>Diaclasas</i>	57
<i>Fallas</i>	58
<i>Fallas activas</i>	59
AMENAZA SÍSMICA	63
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	64
<b>CAPÍTULO V.- TALUDES, CONSIDERACIONES TEÓRICAS</b>	65
ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN TALUD	65
NOMENCLATURA DE UN DESLIZAMIENTO	66
DIMENSIONES	67
CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE MASAS	69
CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL	78
<b>CAPÍTULO VI.-GEOTECNIA</b>	84
INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS VINCULADOS CON LA AUTOPISTA	85
INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS EN LA CARRETERA VIEJA CARACAS-LA GUAIRA	85
INVENTARIO DE PROBLEMAS LOCALES	86
FALLAS DE BORDE	86

HUNDIMIENTOS O LEVANTAMIENTOS EN LA VÍA	88
SOCAVACIÓN DE LOS DRENAJES	88
CAÍDA DE BLOQUES O DESPRENDIMIENTOS DE MATERIAL SUPERFICIAL	89
MOVIMIENTOS DE MASAS DE GRAN MAGNITUD	90
DESLIZAMIENTO KM 0+600	90
<i>Configuración del deslizamiento</i>	90
<i>Pantalla de pilotes</i>	97
DESLIZAMIENTO KM 0+960	99
DESLIZAMIENTO 1+400 (2006)	105
DESLIZAMIENTO 1+700 (1971)	105
DESLIZAMIENTO BARRIO 19 DE ABRIL	107
DESLIZAMIENTO BARRIO OROPEZA CASTILLO	109
DESLIZAMIENTOS 3+000	110
DESLIZAMIENTO PILA SUR DEL NO. 1	111
<i>Exploración del subsuelo e instrumentación superficial y profunda</i>	117
<i>Galerías exploratorias</i>	119
<i>Obras realizadas</i>	124
<i>Algunas soluciones propuestas</i>	125
REPERFILAMIENTO DEL TALUD EN EL ESTRIBO NORTE DEL VIADUCTO NO. 1	128
DESLIZAMIENTO PLAN DE MANZANO	130
DESLIZAMIENTO PDVSA CANTINAS	130
OTROS DESLIZAMIENTOS	132
<b>CAPÍTULO VII.- ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA</b>	133
SUSCEPTIBILIDAD	135
MAPA DE INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS	137
MAPA DE PENDIENTES	139
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS	142
AMENAZA	143
<i>Mapas de amenaza</i>	146
<i>Análisis de amenaza a deslizamientos en la Unidad I</i>	147
<i>Análisis de amenaza a deslizamientos en la Unidad II</i>	151
<i>Análisis de amenaza a deslizamientos en la Unidad III</i>	153
<b>CONCLUSIONES</b>	156
<b>BILIOGRAFÍA</b>	163
<b>ANEXO I.- Mapa de Geología Regional</b>	
<b>ANEXO II.- Mapa Topográfico</b>	
<b>ANEXO III.- Mapa de Geología Local</b>	
<b>ANEXO IV.- Mapa de Procesos de Geodinámica Superficial</b>	
<b>ANEXO V.- Mapa de Pendientes</b>	
<b>ANEXO VI.- Mapa de Amenaza</b>	



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1.1	Ubicación del área de estudio	4
2.1	Vista de la ciudad de Caracas	14
2.2	Hojas y flores de árboles comunes en el área de estudio	18
3.1	Distribución de las tres asociaciones metamórficas	22
3.2	Vista aérea del Valle de Tacagua	23
3.3	Tabla de correlación de la Cordillera de la Costa	25
4.1	Imagen satelital de los primeros 4 km de la Autopista Caracas-La Guaira	35
4.3	Petrografía: Gneis cuarzo micáceo anfibolítico	36
4.4	Petrografía: Esquisto anfibolítico cuarzo micáceo grafitoso	37
4.5	Petrografía: Esquisto cuarzo muscovítico	37
4.7	Afloramiento del mármol de la unidad II	38
4.8	Afloramiento del mármol de la unidad II	39
4.9	Mármol fracturado	39
4.10	Petrografía: Mármol con minerales orientados	40
4.11	Petrografía: Esquisto calcáreo cuarzo feldespático	40
4.12	Petrografía: Esquisto cuarzo micáceo granatífero	40
4.13	Petrografía: Esquisto cuarzo muscovítico grafitoso	40
4.14	Petrografía: Mármol con presencia de cuarzo	41
4.15	Petrografía: Gneis cuarzo micáceo	41
4.15	Perfiles de perforaciones realizadas en las unidades I y II	42
4.15	Muestras de una perforación realizada en el estribo sur del Viaducto No 1	43
4.16	Afloramiento de esquistos de la unidad III	44
4.17	Afloramiento de esquistos de la unidad III	44
4.18	Afloramiento de esquistos de la unidad III	45
4.19	Perfil de meteorización típico de la unidad II	47
4.20	Petrografía: Gneis muy alterado	49
4.21	Tipos de deslizamientos en roca meteorizada	49
4.22	Ciclografía: Concentración de polos y roseta de la foliación en la unidad I	53
4.23	Ciclografía: Concentración de polos y roseta de las diaclásas en la unidad I	53
4.24	Orientación general de los planos de debilidad en la unidad I	53
4.25	Ciclografía: Concentración de polos y roseta de la foliación en la unidad II	54
4.26	Ciclografía: Concentración de polos y roseta de las diaclásas en la unidad II	54
4.27	Orientación general de los planos de debilidad en la unidad II	55
4.28	Afloramiento de un anticlinal en un corte realizado para la vía de contingencia	56
4.29	Afloramiento de los mármoles de la unidad II	56
4.30	Ciclografía: Concentración de polos y roseta de la foliación en la unidad III	57
4.31	Ciclografía: Concentración de polos y roseta de las diaclásas en la unidad III	57
4.32	Orientación general de los planos de debilidad en la unidad III	57
4.33	Afloramiento de una falla dejado por el corte de la vía de contingencia	59
4.34	Planos de fallas donde se observan dos direcciones de estrías	59
4.35	Traza activa de la Falla Tacagua-El Ávila	61
5.1	Nomenclatura de taludes y laderas	65
5.2	Nomenclatura de un deslizamiento	66
5.3	Dimensiones de los movimientos en masa	69
5.4	Algunos mecanismos de falla por caída	70
5.5	Volteo o inclinación	70

5.6	Ejemplo de volteo	71
5.7	Proceso de reptación	71
5.8	Deslizamientos en suelos blandos	72
5.9	Deslizamiento rotacional típico	73
5.10	Deslizamiento por traslación	75
6.1	Esquema del proceso constructivo de La Autopista Caracas-La Guaira	84
6.2	Fotos panorámicas de los primeros 4 km de la autopista	85
6.3	Construcción de muro cantiliver	87
6.4	Problemas de fallas de borde	87
6.5	Problemas de socavación	88
6.6	Afloramiento donde se evidencia caída de bloques	89
6.7	Afloramiento donde se evidencia caída de bloques	89
6.8	Caída de bloques en un corte de la vía de contingencia	90
6.9	Foto aérea y topografía del deslizamiento 0+600	91
6.10	Deformación mostrada por un inclinómetro en el deslizamiento 0+600	91
6.11	Perfil generalizado del deslizamiento 0+600	93
6.12	Formula general del factor de seguridad por desplazamientos planares	95
6.13	Calculo determinístico de los valores pico del material de deslizamiento	96
6.14	Valores de empuje en función del factor de seguridad en el deslizamiento 0+600	97
6.15	Geometría de la primera etapa de la pantalla de pilotes	98
6.16	Desplazamiento acumulado por los dos inclinómetros del deslizamiento 0+600	99
6.17	Fotos de la falla de borde en el 0+860 en 1984	100
6.18	Fotografía aérea y topografía de las pantallas Autopista y Paramaconi	100
6.19	Caída de agua sobre la pantalla autopista	102
6.20	Perfil generalizado de un posible deslizamiento en la progresiva 0+860	103
6.21	Cálculo del factor de seguridad por deslizamiento en el km 0+860	104
6.22	Deslizamiento reciente de la progresiva 1+400	105
6.23	Fotografías aéreas del deslizamiento de 1971	106
6.24	Topografía y foto en helicóptero de la zona donde ocurrió el deslizamiento de 1971	106
6.25	Foto en helicóptero de los deslizamientos 19 de Abril y Oropeza Castillo	107
6.26	Fotos de los deslizamientos 19 de Abril y Oropeza Castillo	108
6.27	Fotos aéreas de 1978 y anterior del lugar del deslizamiento 19 de Abril	108
6.28	Topografía de los deslizamientos 19 de Abril y Oropeza Castillo	109
6.29	Fotos de 1974 y 1981 de deslizamientos en el Barrio Nueva Esparta	111
6.30	Dibujo esquemático del Viaducto No. 1	112
6.31	Dos vistas del viaducto en ángulos diferentes	112
6.32	Fotografía aérea de 1936 del lugar donde se fundó el estribo sur del Viaducto No 1	113
6.33	Fotografía aérea de la vía recién inaugurada	113
6.34	Foto de 1971 del estribo sur del Viaducto no 1	114
6.35	Fotografía aérea y topografía del deslizamiento del Barrio Nueva Esparta	114
6.36	Mapa de ubicación de las perforaciones, puntos de control topográfico, y plano de las galerías exploratorias en el estribo sur del Viaducto No 1.	115
6.37	Límite este del deslizamiento del Barrio Nueva Esparta (enero de 2006)	117
6.41	Desplazamientos mostrados por tres inclinómetros colocados en es estribo sur del Viaducto No 1	118
6.42	Infografía del Diario El Universal del 08 de diciembre de 2005	119
6.43	Ascenso del la clave del arco del Viaducto No 1, y curva de tendencia del movimiento extrapolado hacia el pasado	119
6.44	Condiciones iniciales de las galerías exploratorias y su estado para agosto de 2005	121
6.45	Perfil generalizado del deslizamiento del Barrio Nueva Esparta	123
6.46	Esquema de la pantalla atirantada colocada en 1987 en el estribo sur del Viaducto No 1	124
6.47	Simetría del perfil de deformación del arco antes y después de soltar las juntas	125
6.48	Solución propuesta por el Ing. Arnal	126
6.49	Plano del proyecto de construcción de un terraplén de contrafuerte	127
6.50	Terraplén propuesto por el Ing. Juan Otaola	127
6.51	Fotos de 1976 y 1983 del reperfilamiento del talud en el estribo norte del Viaducto No 1	129
6.52	Foto aérea y en helicóptero del reperfilamiento del talud estribo norte del Viaducto No	129

	1	
6.53	Foto de enero de 2006 del talud reperfilado	130
6.54	Medición de inclinómetros colocados en la planta PDVSA Cantinas	131
6.55	Imagen satelital de la planta PDVSA Cantinas	131
7.1	Gráfico de pendientes representativas del área	140
7.2	Vista satelital del Valle de Tacagua	141
7.3	Porcentaje que ocupan los rangos de pendientes en el área de estudio	142
7.4	Representación de los planos de debilidad y taludes de la unidad I	148
7.5	Porcentaje del área que ocupan las amenazas de la unidad I	150
7.6	Representación de los planos de debilidad y taludes de la unidad II	151
7.7	Porcentaje del área que ocupan las amenazas de la unidad II	153
7.8	Representación de los planos de debilidad y taludes de la unidad III	153
7.9	Porcentaje del área que ocupan las amenazas de la unidad III	155

## ÍNDICE DE TABLAS

---

<b>Tabla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
3.1	Resumen de ciclos tectónicos	31
3.2	Evidencias indirectas del levantamiento tectónico reciente en la Cordillera de la Costa	32
4.1	Descripción del perfil de meteorización para rocas metamórficas	48
4.2	Forma espectral y factor de corrección	63
4.3	Descripción del grado de meteorización	65
4.4	Estimación en campo de la resistencia a la compresión sin confinar	65
4.5	Grado de fracturamiento de las rocas en función del número de diaclasas	65
4.6	Clasificación ingenieril de las rocas	65
5.1	Glosario de nombre para caracterización de movimientos de masas	78
5.2	Escala de velocidad de movimiento	80
6.1	Dimensiones del deslizamiento 0+600	92
6.2	Dimensiones del deslizamiento 1971	107
6.3	Dimensiones del deslizamiento 19 de Abril	109
6.4	Dimensiones del deslizamiento Oropeza Castillo	110
6.5	Dimensiones del deslizamiento Estribo Sur Viaducto No 1	122
6.6	Dimensiones del deslizamiento de PDVSA Cantinas	132
7.1	Criterio para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos	135
7.2	Inventario de deslizamientos ocurridos en los primeros 4 km de la Autopista Caracas-La Guaira	137
7.3	Inventario de algunos deslizamientos ocurridos en los alrededores de la Autopista	138
7.4	Clasificación utilizada para elaborar el mapa de pendientes	140
7.5	Pesos de los diferentes factores a tener en cuenta en la evaluación de amenazas a deslizamientos	144
7.6	Estudio de la amenaza por deslizamientos en la Unidad I	148
7.7	Estudio de la amenaza por deslizamientos en la Unidad II	151
7.8	Estudio de la amenaza por deslizamientos en la Unidad III	154

## CAPÍTULO I

---

En este Capítulo se describen los problemas a tratar en esta investigación, así como los objetivos y alcances que abarcan su desarrollo, el marco geográfico por medio de la presentación del área de estudio y sus vías de acceso, y la metodología de trabajo empleada en base al marco geológico a través de la compilación de trabajos geológicos y geotécnicos previos de la región, sumado al aporte de los estudios de campo llevados para esta investigación.

### 1.-INTRODUCCIÓN

La Autopista Caracas-La Guaira es sin duda alguna una obra maestra de la ingeniería. Fue inaugurada el 2 de diciembre de 1953 y posee una extensión de 17 km. Esta obra se convirtió en una de las más importantes arterias viales del país por permitir la conexión entre la capital con La Guaira, ciudad en la que se encuentra el puerto más cercano y también el principal aeropuerto del país. Aunque ambas poblaciones están muy cercanas, entre ellas existe un desnivel de más de 900 metros y una serranía con topografía muy abrupta. La vía discurre por el único abra topográfico que existe en la cordillera, el cual incluye el estrecho y profundo cauce del río o Quebrada Tacagua.

En general, la geología es muy compleja como consecuencia de la tectónica caribeña. De esto se deriva una serranía bastante deformada y estructurada, compuesta de rocas por lo general metamórficas con mineralogía muy variada.

Los más graves problemas de la vía se encuentran en los primeros 4 kilómetros (donde está enfocado el presente estudio geotécnico) debido a la interacción del accidentado relieve compuesto de rocas metamórficas (calizas marmoleadas, esquisto cuarzo-moscovítico-calcítico grafitoso y anfibolitas granatíferas) con perfiles de meteorización muy marcados y profundos, producido por la acción de los agentes exógenos naturales y antrópicos sobre algunos componentes mineralógicos de la roca como grafito, calcita y pirita; que crean inestabilidad en las laderas de estos relieves. Posiblemente la Falla de Tacagua y su sistema de ramificaciones ha contribuido con los problemas geotécnicos en forma pasiva o activa.

## 1.1.- Objetivos y Alcance

### 1.1.1.-Objetivos Generales

Recopilar e integrar los datos geológicos y geotécnicos contenidos en informes técnicos, trabajos inéditos y publicaciones, así como los obtenidos en campo para conocer y evaluar el estado de amenaza en que se encuentran los 4 primeros kilómetros de la Autopista Caracas-La Guaira y alrededores, en función de las variables geológicas y geotécnicas que la afectan.

### 1.1.2.- Objetivos Específicos

- Integrar los datos geológicos del valle de Tacagua, así como la información geotécnica que se obtengan de trabajos realizados en el área de ubicación de la autopista
- Enriquecer la información obtenida con trabajo de campo e interpretación personal por medio de fotogeología y otras herramientas geológicas.
- Elaborar la respectiva cartografía geológica y geotécnica a escala conveniente que permita visualizar las variables que afectan la vialidad.
- Estudiar el posible estado de amenaza de la vía y alrededores en forma cualitativa, utilizando algunos parámetros geológicos, geotécnicos, topográficos y urbanísticos obtenidos en campo, en recopilación bibliográfica y en fotointerpretación.

### 1.1.3 Alcance

Con esta investigación se logró unificar y alimentar datos geológicos y geotécnicos integrando la información obtenida y publicada por diversos autores, completando con geología de campo. Se obtuvo como resultado una base de datos de los diversos factores geológicos y geotécnicos que afectan a la vialidad, estudiando cada tramo que se encontraba afectado.

Se elaboró una cartografía geológica a escala 1:25.000 del área de estudio, así como también diversa cartografía de mapas temáticos a escala 1:5.000 de los primeros 4 km de la autopista, conteniendo el inventario de procesos geodinámicos, la geología de superficie local, los rangos de pendientes de la zona y la amenaza que estos traen para las obras civiles ahí construidas, así como para las personas que las habitan, utilizando la información obtenida en trabajos previos, alimentada con interpretación fotogeología y levantamientos de campo.

Se realizó un estudio geotécnico basado en herramientas de campo y oficina en cada lugar de posible inestabilidad geológica, tratando de obtener las posibles causas.

#### 1.1.4.- Área de estudio y vías de acceso

**Dominio geográfico:** Ubicada en la zona septentrional central de Venezuela específicamente al noroeste de la ciudad de Caracas entre las coordenadas geográficas  $10^{\circ} 30'$  a  $10^{\circ} 40'$  de latitud norte y los  $67^{\circ} 02'$  a  $66^{\circ} 56'$  de longitud Oeste, y UTM entre  $1164^{000}$  a  $1172^{000}$  latitud Norte y  $718^{000}$  a  $726^{000}$  al oeste del huso 19, perteneciente a la Serranía del Litoral. El paso de la autopista se extiende desde Catia hasta el aeropuerto de Maiquetía y está definido por las trazas del Sistema de Fallas Tacagua-El Ávila, coincidiendo ambos lineamientos en algunos sectores.

**Toponimias y localidades:** Dentro del Valle de Tacagua se encuentran los Barrios Gramoven, Federico Quiroz, 19 de Abril, Oropeza Castillo, Nueva Esparta, las plantas de almacenamiento PDVSA Cantinas, Lagoven así como barrios ubicados por el paso de la carretera Caracas-La Guaira: Plan de Manzano, La Línea, La Pedrera, El Porvenir, Ojo de Agua y la Quebrada Tacagua.

**Vías de acceso:** La principal vía de acceso del área de estudio la representa la misma Autopista Caracas-La Guaira a través de su recorrido, del resto y para obtener una mejor panorámica del problema, se contó con el paso por la carretera vieja Caracas-La Guaira, así como también por las calles que conducen a los barrios de las periferias.

## 1.2 Metodología de trabajo

El trabajo realizado consta de etapas desarrolladas en forma sistemática para garantizar su mejor entendimiento, y poder de forma ordenada, obtener el mejor resultado posible.

### 1.2.1 Etapa compilatoria

Esta etapa consistió en la recopilación e integración de la información cartográfica, geológica, geotécnica, estructural y urbanística existente (publicada y/o inédita) de la zona objeto de estudio y su entorno, contenida en informes técnicos, trabajos especiales de grado, publicaciones diversas, congresos geológicos y geotécnicos y cualquier otro tipo de fuente de información.

Mapas y fotografías aéreas utilizadas:

- Mapas topográficos a escala 1:25.000, hojas: 6747-I-NE, 6747-I-SE, 6847-IV-NO y 6847-IVSO.
- Mapas geológicos compilado a partir de trabajos especiales de grado realizados en el Departamento de Geología, Escuela de Geología Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela y Funvisis 2001.
- Ortofotomapas a escala 1:25.000, hojas: 6747-I-NE, 6747-I-SE, 6847-IV-NO y 6847-IVSO.
- Mapa geológico y mapa de procesos geodinámicos. Estudio de impacto ambiental, sistema vial Caracas-La Guaira. INGEOTEC 1997.
- Fotografías aéreas: misión No 030198, fotos 5294-5296 (año 1978), 0304165 (1983), 0304125 (1976), 0304124 (1074), 030491 (1971), 0304-E-8 (1954), 0304-8-38 (1936), No 75-240, E.8-288-212-270, 0304165 (1983), 0304162-212 (1981), 0304129-22-818-819 (1977), 0304125-1976, 030491 (1971), y 9331-9328-9266-9175-9148-9124-(2000).



Para el trabajo fue utilizada la bibliografía reportada al fin de este capítulo, así como informes técnicos aportados por la empresa INGEOTEC C.A. con la información de los diversos trabajos realizados en el área.

### **1.2.2 Etapa de campo**

Esta etapa consistió en realizar diversas salidas de campo para el reconocimiento de las unidades de estudio y la recolección de muestras para generar un análisis geológico, geotécnico, petrográfico, etc. y así poder complementar la información obtenida en los trabajos previos. El lugar preciso que se visitó dependió de la etapa compilatoria y la información obtenida en la fotointerpretación.

### **1.2.3 Etapa de laboratorio**

En esta etapa se efectuaron los análisis petrográficos y ensayos geotécnicos de las muestras tomadas en la etapa de campo, para obtener la caracterización geológica y geotécnica de las rocas y suelos encontrados, así como sus parámetros geomecánicos intrínsecos.

### **1.2.4 Etapa de oficina**

En esta etapa se compiló la información ya obtenida para analizar y calcular las variables que están causando inestabilidad en el trazo de la vía, así como para mostrar en forma gráfica el entorno geológico y geotécnico que la afecta, entre las actividades de oficina realizadas se encuentran:

- Trabajo fotogeológico para relacionar la información obtenida en la bibliografía con la observada en la interpretación geomorfológica, también para interpretar en fotos recientes y antiguas los procesos geodinámicos que puedan estar causando inestabilidad en la vía.
- Análisis petrográfico de las muestras, así como estructural y geotécnico de la información obtenida en campo.

- Elaboración de un mapa geológico-geomorfológico del área a escala 1:25.000, contentivo de las unidades litoestratigráficas a estudiar, así como de la información estructural pertinente y su relación con la fisiografía.
- Elaboración de un mapa a escala 1:5.000 con el trazado de la vía en los primeros 4 km, conteniendo información de geología regional, geología local (unidades informales), geología estructural, drenajes y urbanismo.
- Elaboración de un mapa a escala 1:5.000 que contiene un inventario de procesos de geodinámica superficial que están afectando a la vía en los primeros cuatro kilómetros.
- Elaboración de un mapa a escala 1:5.000, donde se sectoriza el área según los rangos de pendientes en los primeros 4 km de la autopista.
- Elaboración de un mapa a escala 1:5.000, con la zonificación del área según el nivel de amenaza a los deslizamientos al que se encuentran expuestas las obras civiles y las personas que las habitan.
- Elaboración de perfiles a escala 1:2.000 y 1:2.500, donde se muestra la topografía, composición litológica, profundidad de planos de deslizamiento, presencia de agua, y demás, que permitió servir de partida a la cuantificación de la geometría de los deslizamientos y de los parámetros que se tomaron en cuenta para realizar cálculos pertinentes.
- Elaboración del escrito o Libro de Tesis explicativo del trabajo realizado, cumpliendo con las exigencias requeridas por el Departamento de Geología de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela.

### 1.3.- Trabajos previos

Fueron clasificados bajo 3 categorías: geológicos, geotécnicos y tectónicos.

#### 1.3.1.- Trabajos geológicos

HUMBOLDT (1882) describe los pormenores de la horrible catástrofe del terremoto del 26 de Marzo de 1812 y comenta sobre las primeras ideas de carácter geológico regional en notas publicadas en ocasión de la ruina de Caracas en los diferentes periódicos capitalinos: *“Que el cerro de La Silla es un volcán apagado, que se hayan muchas sustancias volcánicas en el camino de La Guaira a Caracas, que las rocas no presentan allí ninguna estratificación regular y que todas tienen las señales del fuego”*. Doce años antes de la gran catástrofe BONPLAND y HUMBOLDT hacen investigaciones mineralógicas en el macizo de El Ávila y describen la geología de los alrededores de Caracas: hayando gneis y esquistos micáceos que contienen bancos de caliza y rocas verdes. Comparan estas litologías y estructuras con otras partes del mundo, reportando no encontrar basalto, ni traquitas y en general vestigio alguno de un volcán apagado.

AGUERREVERRE & ZULUAGA (1937) realizan el primer estudio geológico de carácter regional y contemporáneo de la Cordillera de la Costa. Postulan un núcleo de rocas augengneísicas y graníticas denominado Granito de Sebastopol y las rocas suprayacentes a este grupo las describen como metamórficas, acompañadas de numerosas intrusiones ácidas. También señalan un protolito que en su mayoría es de origen sedimentario y establecen la primera nomenclatura estratigráfica, proponiendo una columna generalizada de la denominada Serie Caracas, que luego elevan a Grupo Caracas.

DENGO (1950) publica un resumen de la geología de Caracas, donde analiza al Grupo Caracas; lo amplía incluyendo a las Formaciones Tacagua y Antímano.

DENGO (1951) publica el trabajo “Geología de la región de Caracas” el cual incluye el mapa geológico de Caracas y sus alrededores.

SMITH (1952) con el estudio geológico de la región de Los Teques, amplía en área y en descripción al Grupo Caracas.

FEO CODECIDO (1962) se basa en los trabajos de DENGÓ (1950), para extender las formaciones del Grupo Caracas hasta la zona de Cabo Blanco.

SEIDERS (1965) describe rocas del Grupo Caracas, que considera como una secuencia estratigráfica en la zona del estado Miranda en su parte central.

MORGAN (1969) estudia en Valencia a las anfibolitas eclogíticas, similares a las de la zona Carayaca-Quebrada de Tacagua.

WHERMANN (1969) realiza la geología de la Colonia Tovar-Guatire.

URBANI (1969) hace un hallazgo de fósiles en las rocas metamórficas en la parte central de la Cordillera de la Costa.

VIGNALI (1972) analiza estructuralmente la Península de Macanao, su evolución tectónica y la correlación con toda la Cordillera de la Costa y realiza la geología del área del Granito de Guaremal y rocas asociadas en el estado Carabobo.

WHERMANN (1972) realiza un estudio detallado de litologías y estructuras de los alrededores de Caracas.

ARAUJO (1975) estudia la geología de los ríos Chuspa y Aguas Calientes, Cordillera de La Costa, D.F.

LOUREIRO (1978) estudia la geología de la cuenca del Río Oricao, D.F.

ARREAZA (1978) realiza el estudio geológico entre la carretera El Junquito y el Río Mamo, D.F.

URBANI (1978) realiza la recopilación de edades de las distintas litologías de la Cordillera de La Costa.

TALUCKDAR & LOUREIRO (1982) realizan un trabajo sobre la historia metamórfica de la parte norte-central de la Cordillera de La Costa entre Carayaca y Puerto Cruz, proponen un modelo de evolución del sistema montañoso.

OSTOS (1981) en un estudio geológico del Parque Nacional El Ávila en su extremo oeste, propone un modelo de la evolución tectónica del sistema montañoso.

### **1.3.2.- Trabajos Geotécnicos**

AGUERREVERRE & RIVAS (1837) son los encargados de realizar las obras preliminares de la carretera entre Caracas y La Guaira en el flanco norte del Valle de Tacagua donde la Junta de Caminos les recomendó que salvaran a todo trance los peñones de Paují y de Mora. La pica quedó terminada y con esto un gran conocimiento de las condiciones geológicas locales del lado oeste de El Ávila.

La empresa del ferrocarril de La Guaira a Caracas (1883), hace un plano de la vía férrea donde se puede observar el detalle del relieve por donde corre el tren y la Quebrada de Tacagua es llamada Río Tacagua.

WESTON GEOPHYSICAL ENGINEERS INT. INC. (1970) hacen un estudio geotécnico del Barrio Gramovén y presentan sondeos profundos, ubicados en el flanco Sur del Valle de Tacagua.

FUNVISIS (1981) presenta un estudio de los siniestros hidro-geotécnicos ocurridos entre Junio y Julio de 1981 en Alta Vista (Catia) .

TRUZMAN (1990) estudia la meteorización de las rocas metamórficas que afloran en los alrededores de Caracas.

INGEOTEC C.A. (1992) presenta 5 informes técnicos de las condiciones geotécnicas de la galería exploratoria del viaducto N° 1 en la Autopista Caracas-La Guaira.

### **1.3.3 Trabajos Tectónicos**

CENTENO GRAU (1940) realiza un estudio sobre la sismicidad histórica de Caracas.

El Instituto Nacional de Minería y Geología (1947) en colaboración con la Universidad de Princeton, inicia un estudio detallado de la Cordillera de La Costa, donde la región de Caracas fue estudiada por DENGÓ (1951)

HESS (1953) publica un trabajo llamado “Investigaciones Geofísicas y Geológicas en la región del Caribe”, e indica que la mejor zona donde la estructura e historia geológica de las rocas metamórficas ofrece perspectiva a la solución de los problemas tectónicos del área del Caribe, es en la Cordillera de La Costa Venezolana.

DENGÓ (1951) presenta el primer mapa tectónico de la región de Caracas.

MENÉNDEZ (1966) reconoce cuatro fajas tectónicas en las montañas occidentales del Caribe y señala que las estructuras presente en dichas fajas, fueron el resultado de un solo ciclo tectónico Cretácico Tardío-Terciario Temprano.

BELL (1968) amplía a ocho las cuatro fajas tectónicas postuladas por MENÉNDEZ (*op. cit.*).

FIEDLER (1972) estudia el Sismo de Caracas de 1967 e indica los rumbos de falla que pudieron tener relación con la falla que originó ese terremoto.

MOLNAR & SIKES (1969) señalan en la región del Caribe la ocurrencia de fallas transcurrentes dextrales a lo largo de la costa venezolana como consecuencia de la interacción de las Placas Caribe y Suramérica.

SANTAMARIO Y SCHUBERT (1975) hacen un trabajo sobre el límite de Placas Caribe y Suramérica.

RIAL (1973) estudia la Fosa de Tacagua, considerando los movimientos de la Falla de Tacagua como causante del Terremoto de Caracas de 1967.

SINGER (1977) muestra evidencia geomorfológica de actividad tectónica reciente entre 1100 y 1500 años a lo largo de accidentes NW-SE (Falla de Chacaíto) en base al análisis de depósitos correlativos de formaciones cuaternarias.

SELLIER DE CIVRIEUX (1977) en base a características geomorfológicas y micropaeontológicas observadas en la plataforma y talud continental del Mar Caribe frente a la costa central de Venezuela, indica que esta región es tectónicamente inestable, con movimientos corticales recientes, que se han superpuesto a las oscilaciones eustáticas del nivel del mar del Pleistoceno y principios del Holoceno. Acota que en la meseta de Playa Grande, cerca de Maiquetía, los indicios son de emergencia local reciente.

SUAREZ & NABELEK (1990) analizan el sismo de 1967 y establecen cuatro mecanismos focales para los cuatro principales eventos.

GONZALEZ DE JUANA (1978) ubica la Cordillera de La Costa entre dos grandes líneas de falla; la falla de La Victoria y su prolongación lateral al sur y la Falla de San Sebastián al norte. A esta última la integra al sistema del caribe la cual asocia los Sistemas de Falla del Ávila y Macuto.

RIAL (1978) establece un mecanismo focal para el Terremoto de Caracas de 1967, y lo asocia al sistema de fallas de Tacagua.

SUBIETA & DELAIR (1978) estudian la tectónica de la Cordillera de La Costa en su parte norte central.

FANTI *et al.* (1980) presentan un estudio de la tectónica y sismicidad del área de Caracas y sus alrededores.

FUNVISIS (1983) realiza una evaluación de riesgo sísmico para el Proyecto Ferro-car.

FUNVISIS (1993) realiza una evaluación neotectónica en la galería superior del estribo Caracas del Viaducto N° 1 de la Autopista Caracas-La Guaira.

SCHUBERT (1993) en base a un estudio preliminar de fotografías aéreas, estima que la zona de falla de Tacagua es una estructura geológicamente activa y potencialmente generadora de sismos importantes.

## CAPITULO II

---

### 2.- GEOGRAFÍA FÍSICA

En este capítulo se presentan las características fisiográficas, hidrológicas, climáticas y de vegetación del área de estudio y su entorno, con el fin de integrar las diversas variables que la afectan pudiendo servir de ayuda para el entendimiento del problema.

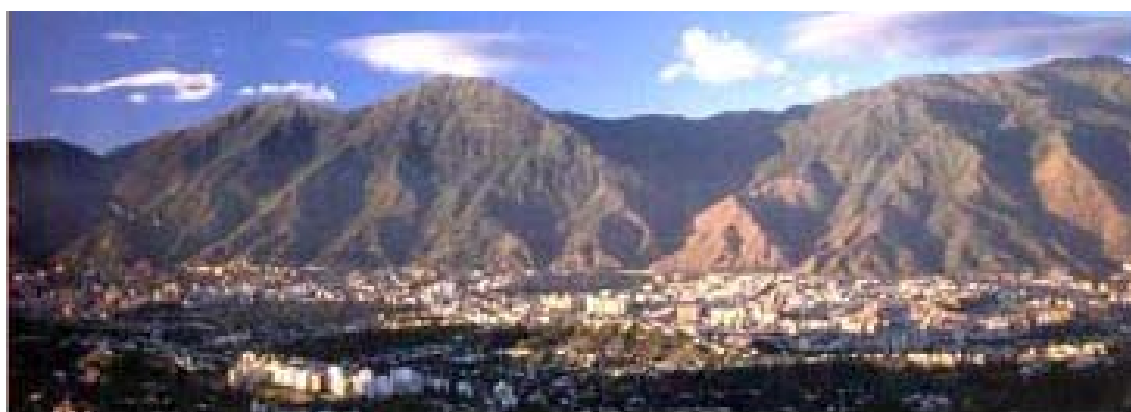


Figura 2.1.-Vista de la ciudad de Caracas

#### 2.1.- Fisiografía

El área de estudio comprende el abra topográfico de Tacagua y su entorno, que ocupa un área aproximada de 25 km<sup>2</sup> producido por la amplia actividad tectónica caribeña, formadora de la Cordillera de la Costa Venezolana y moldeada por los entes exógenos característicos de zona subtropical. El valle es paralelo en ciertos sectores a la traza de la Falla de Tacagua y posee orientación general N45°W entre las coordenadas reticulares (1.170.500; 716.000) en el Norte cerca de Maiquetía y (1.164.000 ; 722.000) al Sur entrando a Caracas, en donde se convierte en la falla de El Ávila atravesando a Caracas por el Norte. La característica principal es la presencia de topografía abrupta, con valles en forma de “V”, con elevaciones entre 50 y 200 m del lado La Guaira y 900 a 1500 m en Caracas.

El relieve se presenta muy accidentado, dominado por filas paralelas en dirección aproximada N30°E, por lo general las pendientes de las laderas Sur son más empinadas que las del Norte. Se evidencian una serie de antiformes y sinformes asimétricos limitados o cortados por la traza de alguna de las fallas del sistema.



La interacción entre litología, neotectonismo, y agentes exógenos han producido inestabilidad superficial, sobretodo en las laderas al Sur en donde se encuentra la autopista; sumado a que para el momento de su construcción se realizaron movimientos de tierra y en épocas más antiguas se explotó la zona para diversos usos comerciales, que aceleraron los procesos de geodinámica superficial.

## **2.2.- Drenajes**

La quebrada Tacagua representa el drenaje principal al que tributan todas las quebradas pertenecientes a la cuenca hidrográfica que abarca unos 150 km<sup>2</sup> y se extiende desde el Km 0+000 de la Autopista Caracas-La Guaira, sigue por las Estribaciones y Filas del Sur-Oeste hasta el Alto de Iripa, pasando por el cerro de las Piñas, sigue el valle confinado en forma de “V” del abra topográfico hasta los límites al norte en el Mar Caribe desde la Punta de la Calera hasta el Faro de Cabo Blanco. Además del aporte hidráulico de las aguas de escorrentía, se suma que por todo el cauce de la quebrada existen asentamientos humanos informales e industriales que aportan aguas contaminadas constantemente.

El patrón de drenaje general en la cuenca es dendrítico característico de las rocas metamórficas de la Cordillera de la Costa, aunque a escala local las fallas geológicas y diaclasas controlan el drenaje haciendo que tribute a la quebrada Tacagua en ángulo recto con drenajes alineados.

El aporte sedimentario de los tributarios de la quebrada Tacagua es bastante alto, con grandes fluctuaciones en los diversos períodos de precipitación del año. Destaca el aporte de sedimentos provenientes de los coluviones provocados por los deslizamientos y botes poco controlados de material removido, así como la basura que se acumula en las quebradas de los barrios circundantes, que terminan en el talweg de la quebrada, que en algunos casos son cuerpos bastante voluminosos y pesados (colchones, artefactos eléctricos, etc.).

La configuración del valle con un lecho relativamente ancho, hace que en algunos sectores el cauce de la quebrada sea anastomosado, teniendo quiebres por el dominio de la litología estructurada en las rocas meteorizadas de las Calizas de Antímano. El trazo de la quebrada y muchos de sus tributarios ha sido modificado por el hombre en busca de espacio donde desarrollar obras tanto planificadas como informales.

La configuración de los valles donde pasan los afluentes a la quebrada principal, son estrechos en forma de “V”, con mediano recorrido al Norte y saltos de entre 5 y 10 metros, los que se encuentran al Sur tienen corto recorrido y están bastante modificados por los movimientos de tierra de La Autopista Caracas-La Guaira.

Son notables las estructuras de erosión en la base del terraplen que comprende la autopista, en donde se modificó el drenaje natural canalizándolo por debajo de la autopista y desembocando sobre la ladera a la derecha de la vía (sentido La Guaira), lo que ha ocasionado socavamientos responsables de las fallas de borde encontradas a lo largo del recorrido.

### **2.3.- Clima**

Según ZAMBRANO (1970), el tipo climático es “tropical cálido con estación lluviosa hasta Noviembre”, siendo Caracas de piso térmico subtropical con alturas que oscilan entre 800 m y 1500 m, mostrando las siguientes características de temperatura:

#### 2.3.1.- Temperatura:

- Media anual: 18 °C.
- Media mensual máxima: 31 °C.
- Media mensual mínima: 17 °C.
- La estación más calurosa se presenta después del solsticio de verano (finales de Junio)
- Oscilación media de la temperatura diaria: 8 °C.

En función de la altura y de las condiciones topográficas del área en estudio, se observa una diferenciación del clima señalado a partir de 1000-1200 m. así como también de acuerdo a diversos microclimas que dependen, por lo esencial, del tiempo de exposición de las laderas al sol.

### 2.3.2 Precipitación :

- Precipitación media anual: 600 a 800 mm. (cercano a 600 en los últimos 5 años)
- Un solo máximo de precipitación al año y la estación lluviosa se corre hasta el final del otoño (Noviembre)
- 8 a 9 meses de lluvia: Mayo a Diciembre-Enero
- 3 a 4 meses de sequía: (mensual inferior a 60 mm.)
- Humedad relativa media anual: 80 a 85%.

En Caracas los períodos de máxima precipitación corresponde al de mayor vulnerabilidad en asentamientos humanos. MENDEZ *et al.* (1983) correlacionó las precipitaciones y deslizamientos ocurridos en el área metropolitana de Caracas, donde demostró que “la ocurrencia mas frecuente de éstos, coincide por lo general con la ubicación de los períodos de lluvia máxima en el ciclo climático anual local, es decir con los meses de Mayo a Julio y de Septiembre a Noviembre”, tomando el valor de 70 mm/día como crítico, en donde se comienzan a evidenciar los problemas de inestabilidad.

### 2.3.3.- Insolación

La insolación para el área de Caracas es variable debido a que este parámetro climático es función de la exposición a los rayos solares y el tiempo en que estos insiden. Lo irregular de la topografía caraqueña hace que sean diferentes las mediciones de insolación para algunas áreas, ya que en el valle los rayos solares afectan las 12 horas del día, y en las laderas de las montañas en una hora específica que depende de la posición relativa del Sol. Otros factores que influyen en la insolación diaria son la nubosidad y la contaminación. Los valores de insolación para los años de 1999 al 2003 estuvieron entre los 6 y 8 horas pico solar (HPS) característico de zonas subtropicales con clima templado.

### 2.3.4.- Evaporación

La evaporación para Caracas está entre los 400 y 600 mm por año, estando su máximo entre los meses de Enero y Abril con una media entre 60 y 70 mm.

## 2.4.- Vegetación

La vegetación es variable y esta dispuesta en franjas horizontales que dependen de la altitud denominadas pisos climáticos. En el nivel inferior se localizaban "Bosques Secos Tropicales" (AGUILERA, 1981) en el cual se encuentra vegetación herbácea, de sabana y espinares. Esta asociación se extiende desde el nivel del mar hasta una altitud variable entre los 400 y los 1000 m. En niveles topográficos superiores a 1000 y 1200 m se ubicaban "Bosques Húmedos" (AGUILERA, *op cit*), "Humedos Tropófilos" y hasta "Bosques Pseudo Nublados" muy exigentes en humedad y que sacaban provecho de la existencia de reservas de agua fácilmente utilizables en las cubiertas de materiales saprolitizados, porosos, asociados a morfologías relictuales de origen residual y ubicadas encima de 1200-1500 m. en la figura 2.2, se observan algunos de los árboles mas frecuentes en el área.

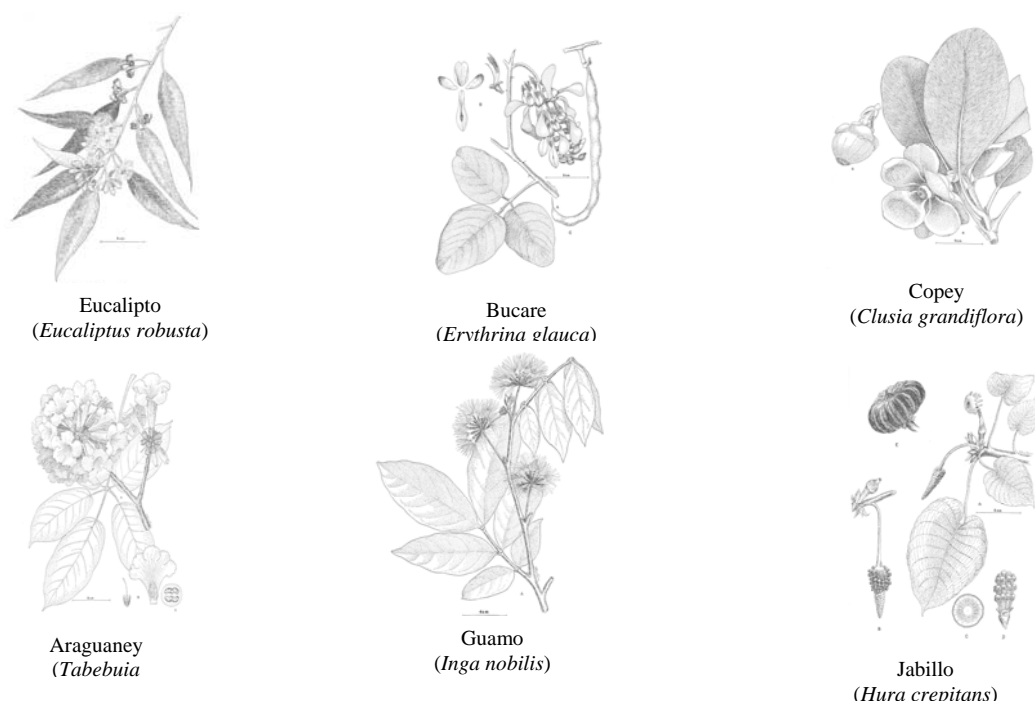


Figura 2.2.- hojas y flores de árboles comunes en el área de estudio

### 2.4.1.-Descripción de los árboles comunes, ARISTEGUIETA (1962)

*Eucaplipto*: Nativo de Australia, corresponden a árboles grandes de 15 o más metros de alto de tronco recto y copa estrecha. Las flores son blancas más o menos llamativas. Las hojas son simples, alternas (opuestas durante la juventud). La madera es dura. El sistema radical es superficial. El crecimiento es bastante rápido y la duración es media hasta larga. Sin embargo, en muchos casos los eucaliptos mueren a los pocos años de plantados, debido principalmente a

que estos árboles necesitan gran cantidad de agua. En algunas regiones han sido utilizados para desecar pantanos, de allí que aquellos eucaliptos plantados en sitios secos, crecen vigorosamente al comienzo, pero al no encontrar agua suficiente mueren.

*Jabillo*: Árbol nativo grande, de más de 20 m de alto, de copa ancha y semiglobosa. Flores no llamativas. Las hojas son grandes, acorazonadas, largamente pecioladas, simples, alternas. La madera es semidura. El sistema radical es poco profundo. El crecimiento es mediano hasta rápido; el jabillo es un árbol de mucha duración.

*Copey*: Del género *Clusia*, dominante en la fauna venezolana, es árbol de 10 – 15 m de alto, de copa ancha y aparaguada. Las raíces son superficiales. El crecimiento es mediano y es árbol de gran duración. Por su modo de vida, la gran mayoría de especies de *Clusia* son plantas epifitas o de lugares rocosos, al menos durante su juventud, de allí en muchos casos, además del nombre popular de Copey que comunmente reciben, se les conozca también bajo el nombre de Matapalo.

*Bucare*: Árbol nativo de más de 20 m de alto. La madera es relativamente blanda. El sistema radical es poco profundo. El crecimiento es mediano hasta rápido y son árboles de mucha hasta mediana duración.

*Guamo*: Es un árbolito de uno 4 a 8 m de altura de copa globosa y flores blancas bastantes llamativas. Las hojas son compuestas pinadocompuestas. La madera es semidura. El sistema radical es profundo. El crecimiento y la duración son medios.

*Araguaney*: Plantas nativas de tamaño mediano, 8 – 12 m de alto, de tronco bien definido. La madera es dura. El sistema radical es profundo y el crecimiento es lento.

## **2.5.- Alteración Antrópica Superficial.**

El valle de Tacagua ha sufrido modificaciones que han alterado el medio ambiente desde la época de la colonia, según FIGUEROA (1985) y CUNILL (1987) en orden cronológico se muestra los eventos de mayor relevancia:

1777.- Con la instalación de la compañía Guipuzcoana en Venezuela (1730) se auspició la creación de un nuevo puerto en madera y se fomentó la navegación mediante un proyecto que

contemplaba el uso de árboles que crecían cerca de las costas de Caracas para la construcción de Buques.

1825.- En un proyecto fracasado de colonización de zonas despobladas e improductivas, el régimen de la Gran Colombia permitió la inmigración de 200 colonos escoceses que se establecieron en la zona de Topo de Tacagua, al NW de Caracas.

1834.- La penetración de grupos campesinos (carboneros) hacia la zona Oeste de Caracas fue degradando la vegetación y la fauna del pie de monte avileño y la mayor densificación de población y utilización del suelo en los suburbios caraqueños va acarreado un crecimiento en la destrucción del ambiente. A ello se le suma la utilización continua de la quema para habilitar potreros.

1845.- Existe un rancharío menor en las fueras de Caracas que va tomando importancia con la apertura de la carretera.

1851.- En la zona de influencia existen varios asentamientos dispersos de 14.000 personas.

1852.- Se observa la ocupación por la población carbonera en toda la zona hasta la altura de la Silla de Caracas. Veinte años más tarde la destrucción ambiental está desencadenada, pues los carboneros han llegado hasta Cachimbo a 1675 m de altura.

1883.- Con la inauguración del ferrocarril Caracas-La Guaira los suburbios medios pierden importancia por no ser tocados por ninguna estación, aunque se refuerzan pequeños focos de población en los puntos donde se producen los cambios de vía férrea, para tomar agua o carbon: Curucuti, Guaracarumbo, Peña de Mora y Ojo de Agua.

1952.- Para la construcción de la autopista Caracas-La Guaira se requirió realizar un enorme movimiento de tierra observable en fotografías aéreas, en donde se cortaron las laderas de las montañas, y se depositó el material a los lados de la vía, moviendo el curso de la Quebrada Tacagua en algunos sectores hacia el norte.

1960.- Se comienza a poblar las laderas de los cerros de las zonas con viviendas informales, acelerando con el tiempo el crecimiento demográfico, produciendo la realidad que hoy se vive.

## CAPITULO III

---

### 3.- GEOLOGÍA REGIONAL

En este capítulo se presentan las características geológicas regionales generales, basadas en documentación recopilada.

#### 3.1.- Generalidades

La región norcentral de Venezuela, se encuentra dentro del marco tectónico del Caribe meridional, que corresponde a la interacción entre las placas Caribe y Suramericana, lo cual ha producido el levantamiento de la Cordillera de la Costa, que consta, según el concepto de Urbani & Ostos (1989), Urbani (2000), Urbani, Rodríguez & Vivas (2001) y Barboza & Rodríguez (2001) de tres fajas de unidades fácilmente cartografiables y bien distinguibles en el campo y laboratorio, además formados en espacio y tiempo diferentes, e igualmente de orígenes y contextos geodinámicos distintos, estas son:

Norte: Asociación Metamórfica de la Costa	Mesozoico
Centro: Asociación Metamórfica Ávila	Paleozoico-Precámbrico
Sur: Asociación Metasedimentaria Caracas	Mesozoico

En la figura 3.1, se representa un mapa geológico simplificado donde se muestra la distribución de dichas asociaciones. Los contactos entre ellas son tectónicos, con fallas de ángulo alto en los sistemas de orientación este-oeste y noroeste-sureste y movimiento normal y/o dextral. También hay fallas con una tendencia noreste-suroeste que generalmente se ha interpretado como inversas, tanto de ángulo alto como bajo.

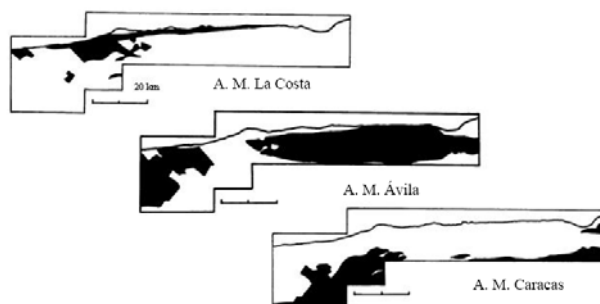


Figura 3.1.- Distribución de las tres asociaciones metamórficas

La *Asociación Metamórfica La Costa* (A.M. La Costa) esta compuesta por unidades con una compleja mezcla de litologías metaígneas y metasedimentarias, con la conspicua presencia de elementos ofiolíticos (anfíbolita, metagabro, metabasalto, eclogita, graucofanita, serpentinita, etc.), donde los minerales metamórficos ferromagnesianos indican haber sido sometidos a un régimen de alta presión y baja temperatura (AP/BT). Esta unidad corresponde a un terreno adosado debido a la interacción de la colisión oblicua entre las placas Caribe y Sudamérica. Las edades disponibles indican que corresponden al Cretácico. Las rocas de esta asociación afloran en la zona definida como “Faja Margarita-Costera” de Stephan (1982) y Beck (1985)

Las rocas de la *Asociación Metamórfica Ávila* (A.M. Ávila) con edades desde el Precámbrico al Paleozoico, corresponden a unidades típicas de un margen pasivo de corteza continental, representando un basamento exhumado, donde a gran escala la foliación muestra una estructura antiforme. La configuración del macizo del Ávila, localidad tipo de la Asociación, muestra una estructura tipo Horst, controlada mayoritariamente por las fallas San Sebastián, Macuto y Ávila, con otras fallas intermedias que producen un notable escalonamiento topográfico tanto en el flanco norte como en el sur.

La *Asociación Metasedimentaria Caracas* (A.M. Caracas), como su nombre lo indica está constituida por rocas de origen sedimentario, con dos unidades principales, a saber: 1.- Esquisto de Las Brisas con roca de colores claros, con predominio de esquistos con una variable combinación de moscovita, clorita, cuarzo y albita, así como metarenisca y metaconglomerado, 2.- Esquisto de Las Mercedes con rocas de colores gris oscuro a negro, mayoritariamente filita y esquisto grafitoso, pero con cantidades esenciales de cuarzo, moscovita, albita y calcita, minoritariamente hay niveles de metarenisca. Ambas unidades contienen cuerpos carbonáticos (Mármol), mayoritariamente Dolomíticos en las Brisas (Mármol de Zenda) y calcítico en Las Mercedes (Mármol de Los Colorados) (URBANI *et al* 1997)





**Figura 3.2-** Vista aérea del valle de tacagua, se observa el corrimiento de napas en sentido sur y la traza marcada de la falla Tacagua-El Ávila

El cinturón tectónico de la Cordillera de la Costa, de acuerdo a autores como CARNEMOLLA *et al* (1990), está constituido por un basamento Paleozoico (Complejo basal de Sebastopol), el cual fue recubierto en forma discordante por la cobertura sedimentaria y volcanosedimentaria del Cretáceo (Esquistos de Las Brisas, Las Mercedes, Chuspita y Calizas de Antímamo), constituida por secuencia carbonáticas y terrigenas con significado tectónico sedimentario de margen de una cuenca en evolución hacia pre-flysh y flysh, con intercalación de lavas básicas, y de volcanoclasticas. Estos terrenos son afectados por las facies de la prehnita-pumpellita ó de los esquistos verdes.

El plegamiento de la Cordillera de la Costa parece tener su origen durante la Orogénesis Andina, (Terciario inferior), pero el período principal de plegamiento obedece a las pulsaciones de la Orogénesis Antillana, ocurrida durante el Terciario tardío, y cuya máxima actividad tiene lugar durante el Eoceno medio y tardío. A la luz de los nuevos conceptos relativos a tectónica de placas, STAINFORTH (1969) hace una interesante relación de la historia tectónica de Venezuela, en la que implica la existencia de una célula convectiva subsidiaria, ubicada en el Mar Caribe, justamente al norte de Venezuela.

### 3.2.- Litología

A continuación se resumen la litología y las características principales de las unidades que circundan el Valle de Caracas.

La Asociación Metasedimentaria Caracas, es una secuencia de rocas metasedimentarias depositadas durante el Jurásico superior y Cretácico inferior, en discordancia sobre un complejo ígneo/metamórfico, de edad Paleozoico Temprano y Pre-Cambrico.

La sedimentación de las rocas de la Asociación Metasedimentaria Caracas, es típicamente de plataforma, excepto en su fase final, cuando se depositan sedimentos gradados que indican un ambiente de surco, fenómeno atribuido a desajustes locales en los bordes de la cuenca (Seiders, 1965).

A fines del Cretácico Temprano, se producen eventos volcánicos, donde las rocas de éste se depositan en un ambiente de surco, de aguas profundas y sedimentación rápida, caracterizadas por el abundante suministro de material volcánico. Frecuentes son las fajas angostas de anfibolitas y eclogitas, las cuales se consideran que representan flujos de composición basáltica, que luego fueron metamorfizadas conjuntamente con los sedimentos.

El núcleo de la Cordillera se vio afectada en toda su extensión por apófisis granítica, la mayor de ellas ubicada entre Valencia y Puerto Cabello, las cuales constituyeron un agente importante en el proceso de metamorfismo de los sedimentos del Grupo Caracas (GONZÁLEZ SILVA, 1972).

Una de las rocas intrusivas abundantes en la Cordillera, lo constituyen las ultrabásicas, en sus formas más generalizadas: serpentinitas, periodititas serpentinizadas. dunitas y piroxenitas, a las cuales se asocian yacimientos minerales de importancia económica (BELLIZZIA, 1967).

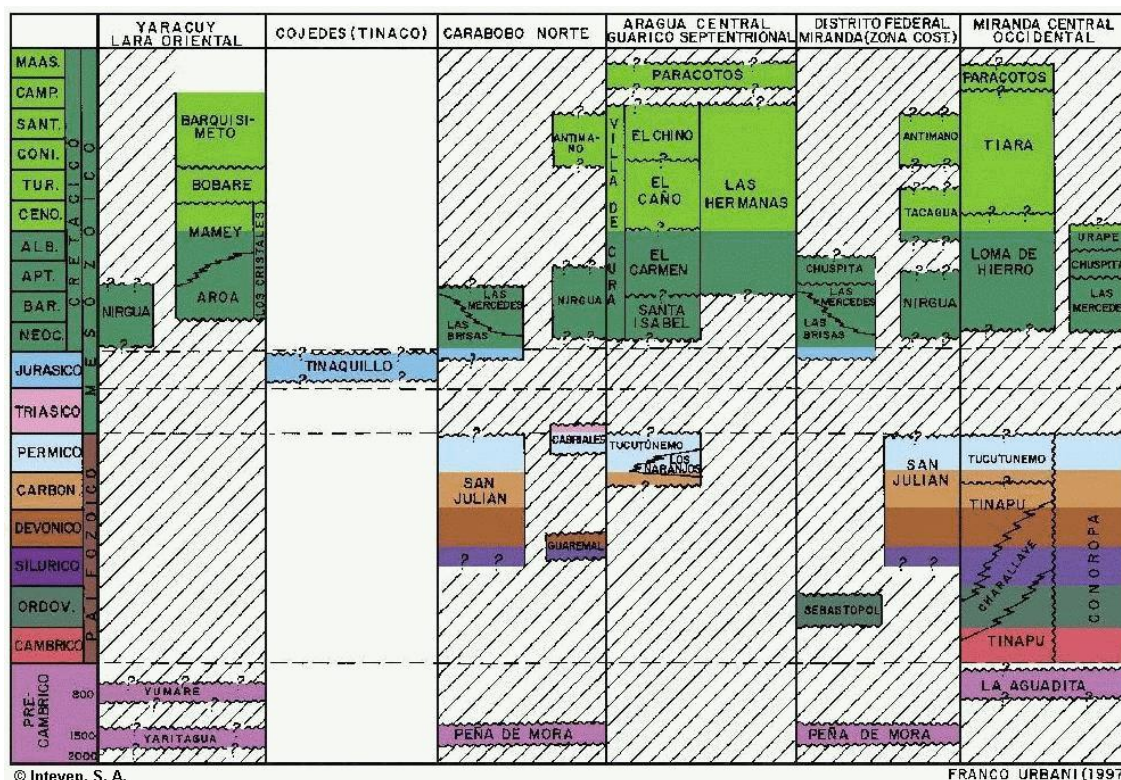


Figura 3.2.-Tabla de correlación de la Cordillera de la Costa, URBANI (1997)

### 3.2.1.- Aungengneis de Peña de Mora (APM)

AGUERREVERE y ZULOAGA (1937), utilizaron este nombre para designar un gneis de ojos de composición granítica, expuesto en la antigua carretera Caracas-La Guaira. Dengo (1951) utiliza el término en un sentido más amplio, y menciona rocas gnéisicas y mármoles en su composición litológica. WEHRMANN (1972), determina los tipos litológicos más comunes de esta formación, la correlaciona con los esquistos de Las Brisas, y la considera como un equivalente lateral de la misma, considerándola como una facies alterada en profundidad, y emplazada en la superficie por sistemas de fallas.

Litológicamente, consta de gneisses cuazo-feldespático-muscovíticos, generalmente de grano grueso, con variedades biotíticas, epidóticas y anfibólicas, cuarcitas y esquistos cuarzo-muscovíticos. La unidad está intrusionada por rocas ácidas y ultramáficas, y contiene cantidades considerables de eclogitas y anfibolitas. El aungengneiss se restringe a localidades determinadas y de poca extensión, a lo largo de toda la Cordillera.

### **3.2.2.- Asociación San Julián (ASJ)**

Las rocas preponderantes son el esquistos y gneis cuarzo-plagioclasico-micáceo, frecuentemente se nota una gradación desde una textura esquistosa haciéndose la granulometría más gruesa hasta que pasa a rocas de carácter gnéisico (URBANI y OSTOS, 1989). El esquistos es de color gris a gris oscuro con tonalidades verde, meteoriza a tonos pardos, usualmente se presenta muy bien foliado. La localidad tipo se encuentra en la Quebrada San Julián que nace en la Silla de Caracas y desemboca en el Mar Caribe.

### **3.2.3.- Asociación Metasedimentaria Caracas (AMC)**

#### **3.2.3.1.- Esquistos de Las Brisas (CaB)**

AGUERREVERE y ZULOAGA (1937) llamaron conglomerado de Las Brisas, a la secuencia conglomerática que yace en discordancia sobre el Complejo basal de Sebastopol, y lo dividen en dos miembros: el inferior, de carácter conglomerático y arenoso, y el superior o Fase Zenda, calcáreo.

El miembro inferior consta de metaconglomerados cuarzosos de grano grueso, metareniscas, arcosas y cuarcitas intercaladas con esquistos cuarzo-muscovíticos y filitas grafitosas. Los conglomerados presentan textura gnéisica incipiente, y se observa la presencia de porfidoblastos de microclino. El tope del miembro inferior, lo constituye las calizas del Miembro Zenda, de composición dolomítica, donde se han encontrado diversos fósiles de pelecípodos, que determinaron definitivamente la edad de la formación (URBANI, 1969).

La parte superior de la Formación Las Brisas, consta de conglomerados microclínicos, cuarcitas, metalimolitas, esquistos y filitas cuarzo-muscovíticos y cloríticos. El tope de la Formación, lo constituyen esquistos grafitosos que localmente pasan en forma transicional a los esquistos de la Formación Las Mercedes, suprayacente.

#### **3.2.3.2.- Esquistos de Las Mercedes (CaM)**

Representada por una secuencia monótona de esquistos primordialmente grafitosos y calcáreos y calizas lenticulares delgadas, que AGUERREVERE y ZULOAGA (1937) denominaron Formación

Las Mercedes. Estos autores mencionan además un horizonte de calizas oscuras en capas delgadas que constituyen un excelente horizonte guía, y que denominaron Fase Los Colorados. WEHRMANN (1972), afirma que dichas calizas no tienen una posición estratigráfica definida. Este mismo autor encontró además, un conglomerado en la base de la Formación, en la quebrada Canoas (Distrito Capital.) y en el río San Carlos (estado Aragua), de composición cuarcítica, de grano fino a medio, y calcáreo. Hacia el tope, la formación se hace más cuarzosa y menos calcárea. en su transición hacia la Formación Chuspita. Las asociaciones fósiles poco diagnosticas solo permite sugerir una edad Mesozoica, sin diferenciar.

### **3.2.4.- Asociación Metamórfica de la Costa**

Está constituido por una mezcla compleja de litologías fundamentalmente esquistos de variada mineralogía, mármol, anfibolita, anfibolita granatífera, anfibolita glaucofánica, eclogita, rocas metavolcánicas, en fin todos aquellos tipos de rocas constituyentes del *Mármol de Antímamo* (esquisto cuarzo - micáceo, anfibolita y mármol), *Esquisto de Tacagua* (esquisto grafitoso y rocas ricas en epidoto) y *Anfibolita de Nirgua* (anfibolita y esquistos de mineralogía diversa) que conforman la Asociación

Las rocas que lo constituyen representan multitud de ambientes geológicos, incluyendo diversos tipos de rocas de origen ofiolítico, desmembradas y mezcladas tectónicamente como consecuencia de la interacción entre las placas del Caribe y Sur América, en otras palabras corresponde a un “melange” ofiolítico.

Las rocas de esta asociación corresponden a un terreno yuxtapuesto a aquellas de la Asociación Metamórfica Ávila (San Julián, Peña de Mora, etc), posiblemente trasladado pasivamente al este y sureste hasta que fue corrido, durante la migración hacia el este de la placa del Caribe, en un efecto parecido a una pala mecánica que amontona material heterogéneo a un lado en su sentido de avance.

#### **3.2.4.1.- Mármol de Antímamo (CA)**

MARESH (1974), TALUKDAR & LOUREIRO (1982) y BECK (1985, 1986) postulan que las rocas anfibólicas de Antímamo se derivaron de basaltos relacionados con un evento de “rifting” Mesozoico entre Norte y Sur América. OSTOS (1990) por sus estudios geoquímicos interpreta

que las anfibolitas de la zona costera corresponden a basaltos metamorfizados, que fueron formados en un ambiente de cordillera centro-oceánica. Si bien las interpretaciones de todos estos autores parecen ser correctas, las muestras que ellos analizaron correspondan a lo que hoy se ha cartografía como Complejo Nirgua (BARBOZA & RODRÍGUEZ 2002, URBANI & RODRÍGUEZ 2004). Todavía no se han publicado datos geoquímicos confiables de las anfibolitas propiamente de esta unidad.

URBANI (2002) ante la presencia en el río Camurí Grande de un metaconglomerado con fragmentos de rocas actinolítico - epidóticas semejantes a aquellas del Esquistos de Tacagua (lutita negra, mármol y piroclásticas), interpreta que los protolitos se depositaron en la misma cuenca sedimentaria -probablemente pobre en oxígeno-, pero luego durante el emplazamiento de estas dos unidades y debido a la diferencia del comportamiento de ellas ante la deformación, los cuerpos masivos carbonáticos fueron separados del esquistos, con contactos tectónicos entre ellos, incorporando a su vez bloques de rocas anfibólicas semejantes a aquellas encontradas en el Complejo Nirgua. Las anfibolitas de diversos tipos, rocas glaucofánicas y eclogíticas incluidas como boudines y cuerpos irregulares (“knockers”) dentro de las unidades de la Asociación Metamórfica La Costa, han sido metamorfizadas en un régimen de alta P y baja T, muy probablemente tienen afinidad MORB, encontrándose ahora yuxtapuestos en un melange tectónico originado en un complejo de subducción.

DENGO (1951), propone el nombre de Antímáno para definir una serie de mármoles ínterestratificados con esquistos glaucofánicos, esquistos micáceos y anfibolitas. La caliza puede ser maciza o finamente foliada, de color gris claro a negro, según el contenido de grafito y muy pirítica. Las intercalaciones de esquistos grafitosos y la asociación con anfibolitas granatíferas son frecuentes. El espesor de la localidad tipo es de 40 metros y se encuentra a 500 de la población de Antímáno, disminuyendo hacia el este y oeste. Al sur de San Pedro SMITH (1952) indicó un espesor máximo de 300 metros.. edad Mesozoico Medio a Superior, en base a su posición estratigráfica.

Estas calizas son utilizadas como material para carretera, piedra triturada para rellenos de pavimentos, agregado en hormigón, etc.

### 3.2.4.2- Esquistos de Tacagua (CT)

**Paleoambiente y geoquímica:** Según los modelos evolutivos de TALUKDAR y LOUREIRO (1982) y NAVARRO *et al.* (1988), así como las características petrográficas y faunales de la muestra estudiada por URBANI *et al.* (1989), estos autores sugieren una sedimentación en un surco, formado dentro del prisma de acreción en un tiempo contemporáneo a la colisión. MÉNDEZ & NAVARRO (1987) analizan los componentes mayoritarios y algunos trazas de diversas muestras de las rocas verdes (metavolcánicas) de esta unidad, que interpretados utilizando diversos diagramas de variación, sugieren su origen en un magmatismo de afinidad subalcalina de tendencia toleítica, probablemente formadas en un ambiente tectónico de dorsales y fondos oceánicos. BECCALUVA *et al.* (1996) deducen una afinidad MORB para el protolito basáltico de las rocas verdes de Tacagua, en parcial coincidencia con los autores anteriores.

AGUERREVERE (1960) interpreta a las rocas verdes intercaladas en las rocas grafitosas como metatobas, es decir una secuencia volcánico - sedimentaria, idea igualmente apoyada por MENÉNDEZ & OSUNA (1986) y URBANI (2002a).

En varias localidades del estado Vargas las rocas verdes muestran anfíbol verde azul, que ha sido interpretado como formado en un régimen metamórfico de alta relación P/T (BARBOZA & RODRÍGUEZ 2001, CASTILLO & SUÁREZ 2001).

La unidad consiste en esquistos verde claro, finamente granulares y uniformemente foliados, en cuya composición entran principalmente sericita y epidoto. Hacia la parte inferior de la unidad, el esquisto se hace ligeramente calcáreo y contienen bandas de cuarzo y albita, así como vetas de cuarzo, más escasas que en los esquistos de las Mercedes. DENG (1951), la describe como una roca cuarzo-feldespática-sericítico-epidótica, de color verde claro, que suprayace a los Esquistos de Las Mercedes, WERHMANN (1972) considera esta formación más bien como una facies volcánica de Las Mercedes, donde los esquistos grafitosos alternan con lentes, a veces macizos, de esquistos epidóticos.

### 3.3.- Geología estructural

En términos generales, la estructura regional de la Cordillera de la Costa, es relativamente sencilla:

Los pliegues principales, forman una serie de anticlinorios y sinclinorios paralelos y simétricos, de rumbo aproximado N 60-80 E. Igualmente paralelas, se extienden las principales fallas longitudinales, corrimientos de gran desplazamiento, con formación de milonitas y zonas breccias de gran amplitud, acompañados de pliegues de arrastre y volcamientos. En ocasiones, las fallas longitudinales suelen ser fallas de gravedad.

Las fallas transversales, oblicuas a las anteriores, son fallas transcurrentes, a veces de varios cientos de metros de desplazamiento.

DENGO (1952), afirma que en general, la foliación es paralela a la estratificación. SEIDERS (1965), reafirma esta opinión, aunque acepta que localmente, la foliación es paralela a los planos axiales de los pliegues. Frecuentes son las alineaciones en forma de micropliegues y "ápices", así como alineaciones minerales y boudinages. También se observan pliegues de flujo en calizas y pliegues pigmáticos en vetas de cuarzo entre los gneisses de Peña de Mora.

DENGO (1951) sostiene que la tectónica dominante es post-metamórfica.

SEIDERS (1965), reconoce en Miranda central, la existencia de cinco fajas estructurales con características propias. MENÉNDEZ (1966), reconoce cuatro fajas tectónicas y las extiende a todo lo largo de la Cordillera, descritas en el párrafo de Geología Regional.

Las investigaciones llevadas a cabo por HESS (1950), revelan anomalías gravimétricas en el Arco de las Islas del Caribe, que dieran base a la explicación de la tectónica regional Antillana.



### 3.4.- Ciclos Tectónicos (Mesozoico y Cenozoico).

**Tabla 3.1.- Resumen de ciclos tectónicos y rocas de la Serranía del Litoral asociadas al Mesozoico.**

Ciclos Tectónicos					
Edad	Ciclos	Sub-ciclos	Ambiente tectónico	Unidad formal asociada	Edades
Mesozoico	Cretácico (131-65)Ma.	Colisional / Caribeño	Subducción Arco Volcánico Colisión rasante	AMLC ( <i>Napa Costera</i> ) Mármol de Antímano Esquisto de Tacagua Complejo Nirgua	
	Jurásico- Cretácico (152±100)Ma.	Atlántico- Sedimentario	Margen pasivo y/o dislocación marginal	<i>Napa Caracas</i> AMCr: Esquisto de Aroa Esquisto de Mamey AMC: Esquisto de Chuspita Esquisto de Las Mercedes Esquisto de Las Brisas	Fósiles (Cretácico Temprano) Fósiles (Cretácico Temprano) Fósiles (Jurásico-Cretácico) Fósiles (Jurásico Tardío/ J-K)

#### 3.4.1.- Ciclo Mesozoico

Durante el Jurásico Tardío a Cretácico Temprano se acumularon en un margen estable tipo Atlántico las unidades que hoy representan a la Asociación Metasedimentaria Caracas (Esquisto de Las Brisas, Esquisto de Las Mercedes, Esquisto de Chuspita) y la AMLCr (Esquisto de Aroa y Esquisto de Mamey).

Durante el Cretácico aparecen rocas volcánicas y plutónicas del arco Antillano que se mezclaron con depósitos del margen pasivo de Sudamérica y que fueron metamorfizadas durante el Cretácico Tardío como consecuencia de la colisión arco/continente (evento Caribeño). Estas rocas componen la Napa Costera (Complejo Nirgua, Esquisto de Tacagua, Mármol de Antímano) que representa un “Melánge” de subducción, que aparece como un cinturón de intermedia a alta P/T, conteniendo budines de eclogita, anfibolitas (metalavas oceánicas), mármoles, cuarcitas, cuerpos de serpentinitas, pelitas y rocas piroclásticas. (GRANDE, *com. pers.*)

#### 3.4.2.- Ciclo Cenozoico

Corresponde con un ciclo de levantamiento orogénico de la Cordillera de la Costa (choque rasante arco-continente) durante el cual rocas antiguas fueron levantadas, apiladas y erosionadas, exhumando los núcleos precámbricos y paleozoicos, que eran parte del basamento de la cuenca del margen pasivo sobre el cual se depositó la Asociación Metasedimentaria

Caracas (AMC) y Asociación Metamórfica los Cristales (AMLCr). Se puede decir que éste corresponde con la extensión del ciclo Caribeño que hoy en día sigue actuando. (GRANDE, *com. pers.*)

### 3.4.3.- Neotectónica

Dentro del marco regional en el cual se halla este trabajo, es necesario destacar la importancia del levantamiento neotectónico de la Cordillera de La Costa para la comprensión del escenario geotécnico general del área de estudio.

Las evidencias de tal levantamiento tectónico son todavía por lo esencial de tipo indirecto y aparecen resumidas en la Tabla #1. (adaptado de AUDEMARD, 1986)

TABLA #1

EVIDENCIAS INDIRECTAS DE LEVANTAMIENTO TECTONICO RECIENTE EN LA COORDILLERA DE LA COSTA

AUTOR	EVIDENCIAS
SMITH 1952	Señala la existencia de una superficie de erosión, evidenciada más claramente en los topes de las filas de calizas, la. cual fue levantada durante el Terciario, siendo el movimiento controlado en gran parte por fallas. Infiere que el movimiento pudo haber sido rápido puesto que las quebradas que erosionan las tierras altas en la región de Los Teques-Cúa, presentan pendientes extremadamente inclinadas.
WEISBORD 1957	El área de Venezuela nor-central es activa tectónicamente como lo indica el levantamiento del Grupo Cabo Blanco, en el área de Cabo Blanco; lo cual evidencia movimientos positivos recientes de la Cordillera desde, por lo menos, el Terciario medio hasta el presente. El Grupo Cabo Blanco es de origen continental en su base y costero somero hasta el tope.
MACKENZIE 1966	La presencia de ríos con meandros encajados y la existencia anterior de otros ríos en la región nor-central de Cojedes y otros sitios indica que el levantamiento de la relación ha sido el evento geológico más reciente.
MORGAN 1969	Indica que el levantamiento de la costa, en el límite septentrional de la Cordillera de La Costa, aún está en proceso como lo evidencia la presencia de terrazas levantadas en la región de La Guaira y de numerosos arrecifes coralinos levantados.
PEETERS 1971	Señala la desviación aparente hacia el este de los ríos Guigue, Tapatapa, Los Guayos, Agua Clara y Guey sobre sus conos de deyección. Solo los ríos situados en los bordes Norte y Sur parecen haber sufrido desviación histórica en sus lechos.
SINGER 1977	Señala la existencia de remanentes de por lo menos 4 sistemas de aplanamiento escalonados (2000, 1750, 1500, 1250 m). Algunos de estos presentan un abombamiento antiformal de eje paralelo a la Serranía del Litoral.

SINGER 1977	El trazado epigénico del Río Guaire entre Caracas y La Cuenca del Tuy Corresponde a un proceso de antecedencia relacionado con el movimiento de ascenso de la Cordillera de La Costa y comprobado por la deformación de los conglomerados del Miembro Pichao, por la Falla de la Victoria.
SCHUBERT <i>et al.</i> , 1977	Señala la existencia de roca de playa ("beach rock") holocena levantada entre 0,5 y 2,0 m sobre el nivel del mar actual, en varias localidades a lo largo de la la costa en la región nor-central de Venezuela. Estima un valor de ascenso de la Cordillera de La Costa entre 0,054 y 0,06] Y 0,0033 cm/año, a través de dataciones radiométricas de corales incluidos en estas rocas y considerando una variación máxima en el nivel del mar inferior a 1 m, para los últimos 3.000 años.
LOYO 1984	Identificó tres superficies de aplanamiento escalonadas (1000, 800 Y 600 m), al sureste de Caracas y 6 otras en la región de Loma de Hierro.
AUDEMARD 1984	Señala como evidencias de un levantamiento de la Cordillera de La Costa más marcado al Norte que al Sur: - La topografía actual de la Cuenca del Tuy, la cual está inclinada al Sur. - La ubicación del río Tuy contra el margen Sur de la cuenca, PICARD y PIMENTEL (1968), señala que el mismo fenómeno ocurre con el Río Guaire en el valle de Caracas, con el río Grande en el valle de Guatire-Guarenas y con el propio río Tuy en la Cuenca de Barlovento. - La ausencia de terrazas aluviales en la margen sur del río Tuy en la cuenca del Tuy.
LOYO 1986	Cauce epigénico del río Tuy entre el Consejo y Tocuchito al oeste de la población de Cúa). Infiere que el mecanismo de captura del do Tuy estuvo asociado al movimiento del sistema de fallas de Tácata.

Adicionalmente, el levantamiento tectónico reciente de la Cordillera de La Costa se relaciona con el régimen de deformación cortical vigente actualmente, el cual se caracteriza por una importante compresión NNO-SSE y se evidencia por la existencia de una fuerte componente vertical en el movimiento transcurrete de las principales fallas activas regionales conocidas, como ocurre en particular con la Falla Tacagua-El Ávila-. (FUNVISIS, 1983, AUDEMARD, 1984, AUDEMARD *et al* 1992)

La importancia geotécnica del levantamiento tectónico de la Cordillera de La Costa se refleja fundamentalmente en la conservación de los mayores espesores de formaciones superficiales de origen residual en las cabeceras de las cuencas y en los interfluvios, donde estos se encuentran asociados a paleoformas reticulares correspondientes a remanentes de superficies del aplanamiento degradadas y fuertemente entalladas, como consecuencia del desarrollo posterior de la red pleistocena y actual de drenaje y del modelado de laderas asociado a esta. (SINGER, 1977, 1983, 1986)

Al respecto, la mayor parte del área en estudio, se ubica en la morfología de las laderas señaladas, en las cuales el espesor de las formaciones superficiales, al estado natural, se presenta con un mucho menor desarrollo, debido a la importancia de la tasa de arrastre que ha prevalecido en ellas durante el Cuaternario.

### **3.5.- Consideraciones históricas**

Numerosas han sido las contribuciones aportadas por los estudiosos de la geología, destinadas al conocimiento de la composición litológica de la Cordillera de la Costa, en especial de los alrededores del Valle de Caracas, de su estructura e incluso de la geodinámica modeladora de su morfología actual. Estas contribuciones varían ampliamente desde notas y reseñas históricas (HUMBOLDT 1804; KARSTEN 1850; WALL 1860; SIEVERS 1887), hasta las publicaciones científicas actuales, entre las cuales merece destacar la obra de los geólogos AGUERREVERE y ZULOAGA, así como. DENGU y SEIDERS, quienes señalaron las bases para el ordenamiento litológico y estratigráfico del Macizo Central de la Cordillera. Para hacer justicia a su brillante labor, y sin menoscabar la labor productiva de quienes posteriormente contribuyeron al detalle cartográficos que afectaron y que aún actúan sobre la estructura y morfología de la Cordillera de la Costa, hay que reconocer que el cuadro estratigráfico que presentaron en sus obras, permanece hoy día sin modificaciones sustanciales, al menos en su aspecto regional. No sin mención, quedan los numerosos trabajos no publicados, cuyo acceso, a veces difícil, duplican en volumen, la información asequible a través de los órganos informativos. Sin embargo en esta guía, aunque tratando naturalmente los aspectos geológicos fundamentales del Valle de Caracas se ha querido hacer énfasis en aquellos procesos que últimamente han afectado sobre todo, el aspecto geomorfológico del Valle de Caracas y sus alrededores y que determinan un gran parte los parámetros geotécnicos sobre los cuales se basa (o debería basarse) el explosivo desarrollo constructivo de la ciudad de Caracas: la geología y morfología cuaternarias. (Wehrmann, *ot cit*, “guía de excursión geológica del valle de Caracas”, página No 1)

## CAPÍTULO IV

---

En este capítulo se integra la información obtenida mediante análisis geomorfológicos, estructurales, petrográficos y geotécnicos; también se utiliza la información bibliográfica y aquella recolectada en campo. Esta información es básica para comprender el marco geológico local en detalle de los 4 primeros km de la autopista Caracas-La Guaira y alrededores.

### 4. GEOLOGÍA DE SUPERFICIE

La geología de superficie realizada abarcó un área de 3,5 km<sup>2</sup>, los cuales comprenden desde el Km 0 de la autopista Caracas-La Guaira hasta el Viaducto No 1 cerca del km 4, siempre dentro del Abra topográfico. Buscando sectorizar las rocas encontradas en unidades informales a menor escala se siguieron estos criterios básicos: situación geográfica, asociaciones mineralógicas y texturas metamórficas. Esto puede ayudar a entender la relación existente entre los problemas geotécnicos de algunos tramos de la vía en función de la litología, estructuras y perfil de meteorización en que se encuentre. Se distinguieron tres unidades informales a saber:

- Unidad I .-Esquistos cuarzo-muscovítico-grafitoso y esquistos anfibolítico-cuarzo-micáceo.
- Unidad II.- Mármoles y esquistos calcáreos.
- Unidad III.- Esquistos cuarzo micáceo feldespático grafitoso y calizas.



**Figura 4.1.-** Imagen satelital de los 4 primeros kilómetros de la autopista Caracas-La Guaira, obtenida del programa Google Earth, 2006

A continuación se describen las unidades vistas en campo:

#### 4.1.-Unidad I.- Esquistos cuarzo-muscovítico-grafitoso y esquistos anfibolítico-cuarzo-micáceo

Esta Unidad dentro del área de estudio abarca aproximadamente del 37 % (1,3 km<sup>2</sup>), representada por una franja con dirección aproximada E-W, que va desde las alturas de 700 a 750 m en la ladera norte del abra topográfico hasta el afloramiento de La Falla de Tacagua más al norte. Su límite este es el Barrio La Pedrera donde se acuña por la confluencia de La Falla de Tacagua con otra falla de dirección N70°E, SV. Existen afloramientos en toda la extensión, siendo notables en las quebradas que bajan cerca de la Planta Cantinas.

La unidad está caracterizada por los tipos litológicos: esquistos cuarzo-muscovíticos-grafitosos de grano medio y esquistos anfibolíticos, la mayoría de estas rocas son de colores verdes en estado fresco que meteoriza a colores amarillos pálidos a marrón claro y en ocasiones tonos rojos. El tamaño de los blastos se clasifica como grueso (mayor a 0.5 mm). algunas rocas muestran textura granoblásticas con cristales de actinolita sin orientación, aunque en su mayoría existe esquistosidad desarrollada apreciable en escalas mesoscópica y microscópica, estando muy fracturada y sin relleno de discontinuidades, así como la presencia mucho menor de anfibolitas granatíferas, esquistos y augengneis feldespáticos, esquistos muscovíticos grafitosos, esquistos cuarzo-feldespáticos y mármoles. En las imágenes 4.3,4.4,4.5 se ve en sección petrográfica la mineralogía predominante de la formación.



**Figura 4.3.**-Gneiss cuarzo micáceo anfibolico, muy alterado, oxidado  
Estribo norte Viaducto No. 1, 32m de profundidad .Obj. 4X



**Figura 4.4.-** Esquisto anfibolítico cuarzo micáceo grafitoso algo alterado encontrado en afloramiento bajo el estribo Norte del Viaducto No 1. Obj. 4X



**Figura 4.5.-** Esquisto cuarzo muscovítico, con foliación muy bien desarrollada y blastos grandes afloramiento del meandro de la Quebrada Tacagua en la progresiva 2+600 de la autopista . Obj. 4X

Los esquistos se encuentran dispuestos en franjas, hacia la parte media de las quebradas que bajan desde la Planta PDVSA Cantinas, estando intercalados con esquistos-feldespáticos y esquistos cuarzo feldespáticos, presentan una foliación bien desarrollada con alto fracturamiento. Se observa la presencia de pliegues suaves e isoclinales locales. En esa zona el color en estado fresco es marrón oscuro y en estado meteorizado es rojizo y amarillento.

Los contactos de la unidad son evidentes al Norte (Falla de Tacagua) con los esquistos anfibólicos y anfibolitas granatíferas reportados por ACOSTA (1995), y al Sur por el cambio litológico abrupto observado hasta la parte baja de la ladera sur donde se encuentra la Planta PDVSA Cantinas (Unidad II, mármoles y esquistos calcáreos) y hasta El Barrio La Pedrera (Unidad III, esquistos cuarzo micáceos).

#### 4.2.- Unidad II; Mármoles y esquistos calcáreos.

Al igual que la unidad I es una franja con dirección aproximada E-W que abarca un área de 1,0 km<sup>2</sup> por el tramo de la autopista desde la progresiva 1+700 hasta la 4+000. El contacto al sur según SANCIO y MEJIA (1972) es concordante con una unidad de esquistos cuarzo-micáceo

pseudos grafitosos. Los afloramientos se encuentran a lo largo de la Quebrada Tacagua y en cortes de la autopista donde se observa la intercalación de los esquistos calcáreos y mármoles de distintos espesores, haciéndose más grafitosa al este, con espesores de mármol muy fracturado de hasta 12 m.

El levantamiento de superficie de esta unidad fue difícil, ya que existen pocos afloramientos debido a que la roca ha sido tapada en casi su totalidad por los coluvios de la ladera sur del valle de Tacagua. Los mejores afloramientos se encuentran en el cauce de la quebrada. La zona muestra movimientos de bloques de roca de diversos tamaños por planos de foliación con bajo buzamiento al norte.

Del levantamiento de los afloramientos y las petrografías realizadas se pudo observar que la roca aflorante está compuesta de mármoles azules intercalados con esquistos calcáreos micáceos y esquistos cuarzo micáceos grafitosos, con intervalos de anfibolitas granatíferas.



**Figura 4.7.** - Afloramiento de la caliza cerca del portal de la galería exploratoria superior  
Se observa un plano de falla paralelo a los planos de foliación (N45°E, 30°S) con su respectiva brecha (Rumbo de foto S20°W)

Los planos de foliación están bien desarrollados y presentan rumbos predominantes N45-55E, 20°-38° N; Se distinguieron dos orientaciones preferenciales de los planos de diaclasas poseen orientación N40°-50°E, 70° S y N20°-40°W, SV





**Figura 4.8.-** Afloramiento de la progresiva 2+900,  
F: E-W, 16°N; D1: N20°E, SV; D2:N20°W SV.  
(Rumbo foto: N70°E)



**Figura 4.9.-** Mármol fracturado, se evidencia la forma de bloques formados por la intercepción de tres orientaciones de planos de discontinuidad sub-ortogonales entre sí

En La galería exploratoria superior del viaducto N° 1, INGEOTEC, C.A. (1993) reportó masas de Calizas frescas de espesores entre 15, 40 y 60 cm. respectivamente y de una esporádica aparición de esquistos calcáreos micáceos muy meteorizados a blandos, características muy similares que las reportadas por SANCIO y MEJIA (1972).

La composición mineralógica aproximada de los mármoles se resume de la siguiente manera: Carbonatos (90%), cuarzo (5%), grafito (2%), moscovita (2%) y pirita ( 1%), en las figuras de

la 4.10 a la 4.15 se observa en sección petrográfica y muestra de mano la mineralogía predominante.



**Foto 4.10** .- Mármol con minerales orientados de cuarzo, moscovita y grafito, bastante foliado. Afloramiento cercano al portal de la galería exploratoria superior. Obj. 4X



**Figura 4.11**.- Esquisto calcáreo-cuarzo-feldespático-micáceo, muy alterado Perforación en el estribo Sur del Viaducto No. 1, a 25 m de profundidad. Obj. 4X



**Figura 4.12**.- Esquisto cuarzo micáceo granatífero algo alterado 50 m al este del estribo sur del Viaducto No 1. Obj. 4X



**Foto 4.13**.-Esquisto cuarzo muscovítico grafitoso, alterado, presencia de microfallas Perforación cerca del estribo sur del Viaducto No 1 a 47 m de profundidad . Obj. 4X



**Foto 4.14.-** Mármol con presencia de cuarzo, grafito y moscovita muy alterado en planos de debilidad Perforación cerca del estribo Sur del viaducto No. 1 a 33 m de profundidad . Obj. 4X



**Figura 4.15.-** Gneiss cuarzo micáceo, muy alterado con porosidad rellena por el óxido Afloramiento cerca del portal de la galería exploratoria superior. Obj. 4X

En el levantamiento de superficie realizado por INGEOTEC, C.A. para el diseño de las galerías exploratorias y de drenaje en 1991, se descubrió una superficie de deslizamiento antiguo que aflora el pie de la ladera sur inferior a una cota de 670 m. aproximadamente, unos 20 metros por encima del cauce de la quebrada Tacagua. Se observa que material de la superficie de deslizamiento está constituido por una arcilla arenosa con textura brechoide, encontrando estrías, superficies pulidas y fragmentos de rocas metamórficas. Este material tiene un contenido de humedad mayor que los suelos coluviales que lo circundan, observándose un goteo muy limitado de agua en algunas zonas.

PC-21P(INGEOTEC, 1995) PGR-GE-2(GEODINAMICA, 1971)

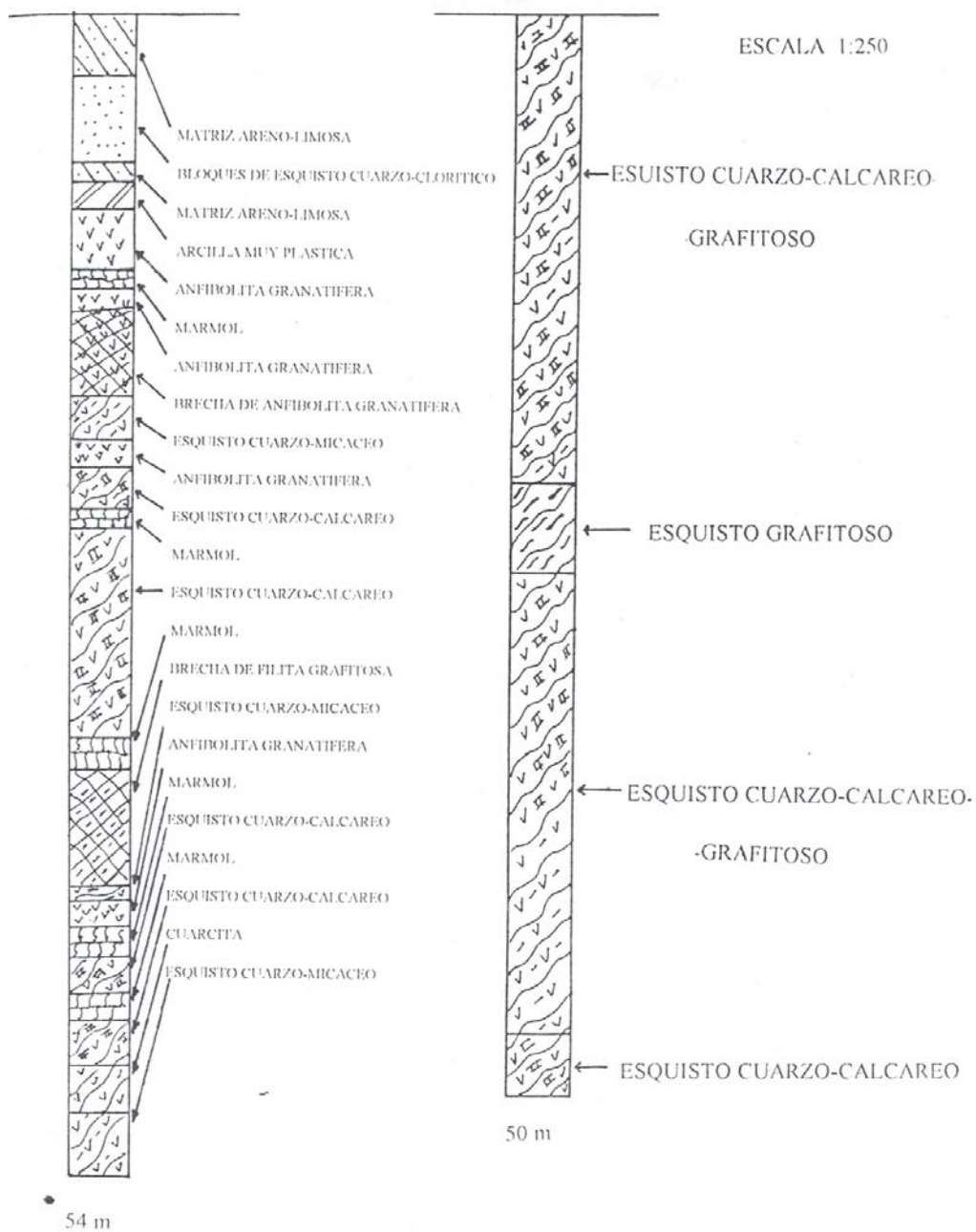


Figura 4.15.- Perfiles simplificados de perforaciones realizadas en las unidades I y II, por INGEOTEC (1995) y GEODINÁMICA (1971) respectivamente



**Imagen 4.2.-** Muestras de una perforación realizada en el estribo sur del viaducto No 1, rotadas con un diámetro NX (500 mm) desde 40,5 hasta 46,5 metros de profundidad. Se observa la intercalación decalizas con esquistos, y algunos horizontes de anfibolitas granatíferas.

#### 4.3.- Unidad III; Esquistos cuarzo micáceo feldespático grafitoso y calizas.

Esta unidad ocupa 1 km<sup>2</sup> de área y comprende desde el comienzo de la autopista hasta el fin de la primera curva en la progresiva 1+700, es el componente litológico en el cual está fundado el Barrio Federico Quiroz, así como los alrededores, cubriendo también el primer kilómetro de la carretera vieja Caracas-La Guaira.

Posee contacto de falla al noroeste con la unidad I, el resto de la parte septentrional está limitado por la Falla Tacagua-El Ávila. Al Sur se reconoce un contacto también abrupto con los esquistos de Las Brisas reportado en la bibliografía y que cubre casi toda el área sur de la zona de estudio.

La unidad está representada por rocas de grano fino de color gris azulado oscuro, que meteoriza a colores sumamente negros. Se observan venas de cuarzo de más de 40 cm de largo. La foliación es prominente y los sistema de diaclasas son perpendiculares a está. En general las rocas de los afloramientos están bastante afectadas por la meteorización..



**Figura 4.16.**-Afloramiento de esquistos cuarzo micáceos gráfíticos observados en la progresiva 0+500  
(Rumbo de foto S52°W)

En los afloramientos se pudo observar que la roca estaba compuesta en su mayoría de esquistos-cuarzo-micáceo-feldespático-grafítico con intervalos de calizas esquistosas de alto grado de meteorización y fracturamiento, con gran cantidad de vetas rellenas de calcita y cuarzo. Los esquistos presentan alto grado de meteorización y fracturamiento, el color fresco es gris y el meteorizado es más oscuro, en la figura 4.16 y 4.17 se observan afloramientos de la roca en los cortes realizados para construir la vía.



**Figura 4.17.**-Afloramiento de esquistos cuarzo micáceos feldespáticos observados en la progresiva 0+550  
(Rumbo de foto S46°W)

Del estudio geotécnico realizado por PESTI (1986), para la construcción de dos pantallas atirantadas de grandes magnitudes que buscaban estabilizar deslizamientos ubicados a dos cotas diferentes entre las progresivas 0+800 y 1+000, se dividió la roca en dos unidades litológicas a saber: Unidad inferior compuesta por calizas algo foliadas de color gris azulado, y la unidad superior compuesta por una secuencia de esquistos y algunas capas de calizas esquistosas. La orientación de los planos de foliación dominante posee buzamiento contrario a la cara del talud donde afloran con orientación general N70-80°W, 20-40°S. Las diaclasas se presentan en dos sistemas subverticales con frecuencia aproximada de hasta 8 por metro.



**Figura 4.18.**-Afloramiento de esquistos cuarzo micáceos grafitosos observados frente del puesto de la Guardia Nacional (progresiva 0+050), se observa un cambio abrupto en la orientación de los planos de foliación. (Rumbo de foto E-W)

Se evidencia alta acumulación de aguas meteóricas y antrópicas detrás de las pantallas realizadas debido a la obstrucción de los geo-drenes, lo que ha provocado que el nivel de aguas subterráneas del barrio Federco Quiroz sea bastante alto.

#### 4.4.- Suelos

Tomando como suelo todo agregado de materiales poco cementado se definió que los suelos que existen en la zona son muy diversos, por ello fueron clasificados según su origen como residuales, transportados y artificiales.

#### 4.4.1.- Definiciones

Suelo residual: Suelo formado por la descomposición de la roca in situ, debido a agentes externos que actúan dependiendo de la litología, creando horizontes con peor comportamiento geomecánico hacia la superficie y mejorando hasta llegar a la roca sana.

Suelo transportado: Abarca el conjunto de procesos relacionados con el desplazamiento o transposición más o menos rápida y localizada de volumen variables de partículas y agregados del suelo, de mantos de meteorización, incluyendo material de suelos residuales, detritos bloques y masas rocosas. Estos suelos requieren un agente de transporte que puede ser agua, viento, y gravedad.

Suelos artificiales: Suelos antrópicos, removidos y depositados por el hombre mediante mecanismos mecánicos.

#### 4.4.2.-Suelo Vegetal

Son suelos formados por sustancias orgánicas (*humus*) de poco espesor (menores a 30 cm), que por su forma de depositarse son suelos característicos, que conforman la capa superior o horizonte "A" de los perfiles litológicos de los suelos, sobretodo los residuales. Abunda la vida en forma de raíces, bacterias, hongos, pequeños animales, y materia orgánica producto de la descomposición de los residuos vegetales.

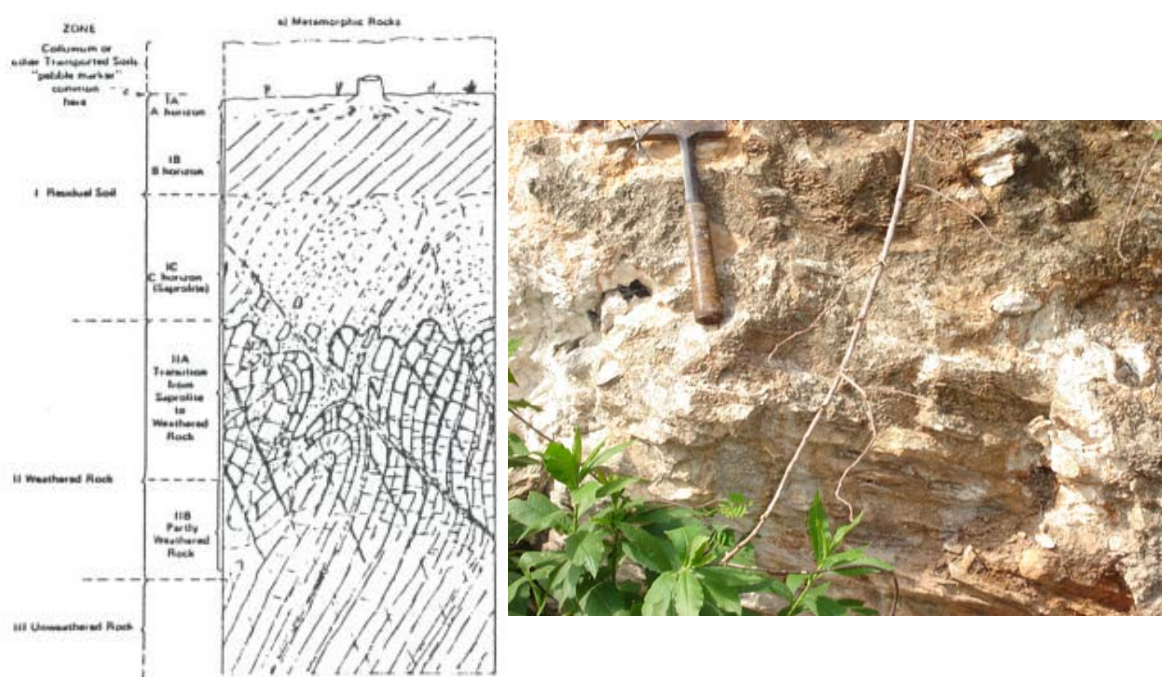
El espesor de este horizonte depende esencialmente de la cantidad de vegetación que pueda crecer en los suelos tanto residuales como transportados debido a la litología y al tipo de vegetación, el tiempo en que estas han estado en el lugar, la pendiente de la zona, etc. En la zona existen diversos espesores de la capa vegetal, siendo los mayores en las zonas bajas del Ávila (hasta 30 cm.) en donde no ha existido mayor modificación antrópica, el resto del área se ha visto afectada por los deslizamientos antiguos y recientes, así como las modificaciones de la topografía producto de la construcción de carretera y autopista Caracas-La guaira, las viviendas informales y otras obras civiles.



#### 4.4.3.- La Meteorización (espesores B y C)

Es representado por la porción de roca más meteorizada en el perfil, que ha perdido sus propiedades mecánicas, químicas y estructurales originales, debido a la acción de los agentes exógenos característicos de ambiente subtropical cálido, convirtiéndose en un eventual problema para cualquier tipo de obra civil que ahí se construya.

El conocimiento de los perfiles de meteorización es indispensable para entender los procesos de movimiento de masas. Las características de los perfiles de meteorización son determinadas por el régimen de lluvias, las temperaturas, la vegetación, la topografía y el tipo de roca existente. Las lluvias intensas, altas temperaturas, vegetación espesa, pendientes suaves y litología poco resistente favorecen la formación de espesores profundos de suelo residual. En la figura 4.19 se ejemplifica un perfil de meteorización de la roca, y la comparación con el observado en la Unidad II.



**Figura 4.19.-** (Rumbo de foto S10°W)

Izquierda.-Perfiles de meteorización típicos de rocas metamórficas (Según DEERE & PATTON, 1971)  
Derecha.- Saprofito del esquistó calcáreo de la unidad litológica II

Las rocas de la zona pierden sus propiedades originales hasta decenas de metros de profundidad, aunque la roca *in situ* conserva algunos rasgos de textura y mineralogía, se muestra bastante friable debido a la alteración de sus componentes mineralógicos menos estables como: grafito, pirita, micas, anfíbol, calcita, etc, ver imagen 4.20, vista en sección

petrográfica de la roca meteorizada. El intenso fracturamiento ha favorecido a su vez, a la penetración del agua y en consecuencia, también el mecanismo de alteración que actúa a veces hasta 30 metros de profundidad, como se verificó en las perforaciones efectuadas por INGEOTEC S.A. en las cercanías del estribo Sur del Viaducto No 1. La tabla 4.1 hace una breve descripción del comportamiento tipo del perfil de meteorización.

**Tabla 4.1.-** Descripción del perfil de meteorización para rocas metamórficas (DEERE & PATTON, 1971)

PERFIL	ZONA	DESCRIPCIÓN	RQD (%) (Broca NX)	RECUPERACIÓN (Broca NX)	PERMEABILIDAD RELATIVA	RESISTENCIA RELATIVA
I – SUELO RESIDUAL	IA HORIZONTE A	Capa vegetal, raíces, materia orgánica, zona de percolación y eluviación, puede ser poroso.	no aplicable	0%	media a alta	baja a media
	IB HORIZONTE B	Característicamente arcilloso, acumulaciones de Fe, Al, y Si, puede estar cementado, no guarda estructuras heredadas.	no aplicable	0%	Baja	Comúnmente baja (alta si está cementada)
	IC HORIZONTE C (Saprolito)	Retiene estructuras heredadas de la roca, gradación limosa a arenosa, menos de 10% de recuperación, frecuentemente micáceo.	0% o no aplicable	generalmente 0 – 10%	media	baja a media (son muy significante las estructuras heredadas)
II – ROCA METEORIZADA	IIA TRANSICIÓN (de suelo residual o saprolito a roca parcialmente meteorizada)	Altamente variable, apariencia de suelo y roca, finos comúnmente a arena fina a gruesa, recuperación de 10 a 95%, meteorización esférica es común.	variable, generalmente 0 – 50%	variable, generalmente 10 – 90%	alta (pérdida de agua es común)	media a baja en zonas débiles y estructuras heredadas
	IIB ROCA PARCIALMENTE METEORIZADA	Apariencia rocosa, roca blanda a dura, discontinuidades coloreadas, alteración de feldespatos y micas.	generalmente 50 – 75%	generalmente > 90%	media a alta	media a alta
III – ROCA SANA		No se observa coloración de fe en las discontinuidades, los feldespatos y micas no han sido meteorizados.	> 75% (generalmente > 90%)	generalmente 100%	baja a media	muy alta

Los tipos litológicos como los mármoles y esquistos calcáreos son más competentes e impermeables y en consecuencia poseen espesores menores de material meteorizado (<10 m). En la unidad II se observó mediante las perforaciones realizadas que el macizo está compuesto por bloques en forma de paralelepípedos de roca sana pero bastantes alteradas en su exterior, debido a la posible infiltración de aguas recmáticas.

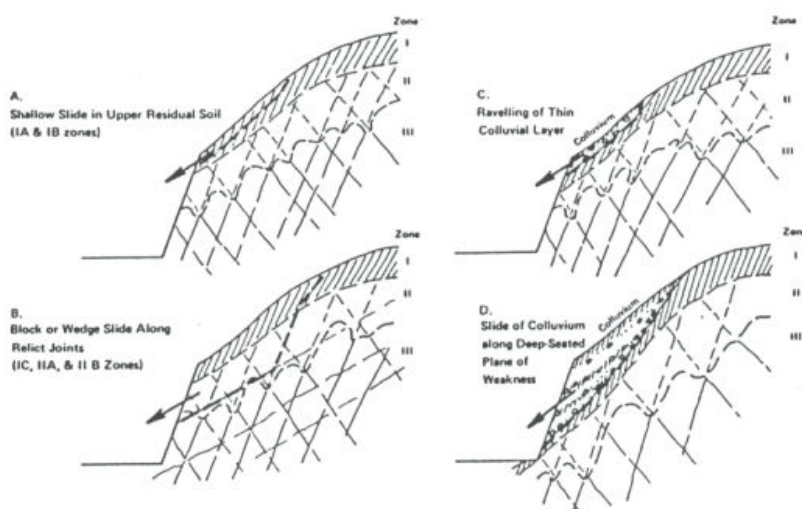
Las rocas esquistosas de las unidades I y III presentan un comportamiento similar al perfil descrito por DEERE & PATTON, 1971, variando el espesor del suelo residual principalmente en función de la competencia litológica, la pendiente de la ladera, y la altura de esta, siendo más gruesa en las zonas bajas que en las altas debido al flujo de agua infiltrada. Hay que tomar en cuenta que los paleo-deslizamientos ocurridos han removido la capa vegetal, dejando expuesta la roca meteorizada.



**Figura 4.20.-** Gneiss cuarzo micáceo anfibólico, muy alterado, oxidado estribo sur Viaducto No. 1, 32m de profundidad,. Obj. 4X

La variación del suelo residual en las unidades I y III va desde casi inexistente en lugares donde han ocurrido deslizamientos, hasta unos tres metros de espesor en la parte inferior de la unidad III, y está compuesto de material limo arenoso con algunos cantos tamaño grava o mayor, proveniente de las vetas de cuarzo y bloques de mármol, mostrando aún una foliación leve. La zona de transición evidencia una roca bastante fracturada, plegada y meteorizada que mejora en condiciones geomecánicas gradualmente con la profundidad. La roca sana para estas unidades también se muestra bastante fracturada, y se encuentra a profundidad muy variables entre 5 m y 30 m.

Los mármoles de la unidad II muestran un comportamiento diferente al de las otras unidades, debido a la alta resistencia a la meteorización y el comportamiento frágil mostrado ante los estados de cizallamiento. El suelo residual de esta litología es casi inexistente producto del transporte sufrido en los espesores superficiales del material convertido en coluvio, compuestos por bloques sostenidos por material limo arenoso que ha rellenado los espacios dentro de las diaclasas.



**Figura 4.21.-** Tipos de deslizamiento en roca meteorizada, suelo residual y coluvio (según Deere y Pattom, 1971)

#### 4.4.4.- Suelos transportados naturalmente:

Los suelos Aluvionales de área se encuentran casi en su totalidad en el *Talweg* de la quebrada Tacagua con ángulo de inclinación del cauce de aproximadamente 5 °, la corriente es entrelazada produciendo la socavación y posterior relleno de 2 a 3 canales interconectados. Los depósitos poseen generalmente granulometría heterogénea, existiendo grandes bloques de roca que evidencia periodos de muy alto nivel de energía de la corriente de la quebrada, correspondiendo a la configuración geométrica del valle y la gran extensión de la cuenca, la fuente de sedimentos es abundante pero intermitente.

Los depósitos producto de los procesos gravitacionales (coluvios) representan la mayor parte de los suelos que se observan en las laderas de toda la extensión del valle, están compuestos de grandes bloques de roca sostenido por una matriz limo arcillosa y roca triturada, con espesores variados dependiendo de la geometría e inclinación de las laderas que van desde un 1 m hasta 40 m. Casi todo el paisaje del Valle de Tacagua está cubierto por deslizamientos, donde los más jóvenes muestran cicatrices frescas (escarpes de deslizamiento) y topografía muy irregular (escalonada), y los antiguos poseen topografía suave levemente ondulada (forma de cuchara).

Por medio de los sondeos exploratorios llevados en el lugar de estudio, sobre todo en el talud del estribo Sur del Viaducto No 1 de la Autopista Caracas-La Guaira, donde INGEOTEC S.A. realizó más de 30 perforaciones con recuperación de muestras a rotación y posterior colocación de inclinómetros que sumado a la información obtenida de la excavación de las galerías exploratorias permite geometrizar el movimiento de masa, consiguiendo que este se divide en dos planos paralelos de deslizamiento, siendo el inferior más antiguo, actualmente inactivo al conseguir su equilibrio al llegar el material coluvial a la quebrada Tacagua movilizándola al norte.

#### 4.4.5.- Rellenos

Los rellenos se caracterizan por ser depósitos controlados, con horizontes no mayores a 30 cm de material arenoso compactado capa por capa, con una supuesta deforestación y retiro de la capa vegetal, previa, a la actividad del relleno.

La estratificación del relleno es del tipo paralelas horizontales, estos estratos de origen artificial se encuentran sobre una base inclinada rellenando valles y depresiones.

#### 4.4.6.- Botes

El material removido para la construcción de la Autopista fue depositado ladera abajo sin mayor control, sobre suelos orgánicos y residuales, así como la cobertura vegetal. Es notable la socavación de estos suelos debido al agua de los drenajes que pasan por bajo la autopista, que han causado problemas de fallas de borde en la autopista. Los botes de suelo y roca heterogenea están dispuestos en forma subparalela a la pendiente de la ladera. Se distinguen los botes antiguos de los nuevos debido a que la vegetación existente se torna más densa y oscura.

Al este del barrio Nueva Esparta se depositó un material proveniente de un deslizamiento ocurrido justo antes de llegar al estribo Caracas del Viaducto No 1.

#### 4.5.- Geomorfología

Se distingue una unidad caracterizada por un valle estrecho en forma de “V” con orientación paralela el callamiento geotectónico regional (N60°-70°W), producto de la interacción de los parámetros geomorfológicos (litología, estructura y clima) que dan origen a las geoformas. Este valle es una garganta epigénica producida por el entallamiento de la Quebrada Tacagua durante el levantamiento orogénico, que produjo el fallamiento de la roca, fracturandola de tal forma que representó un lugar de debilidad por donde la quebrada entalló la topografía.

#### 4.6.- Geología estructural local

La zona se afectó por varios eventos tectónicos superpuestos, causando la configuración actual, con rocas metamórficas muy estructuradas y plegadas conformando una topografía bastante irregular y accidentada

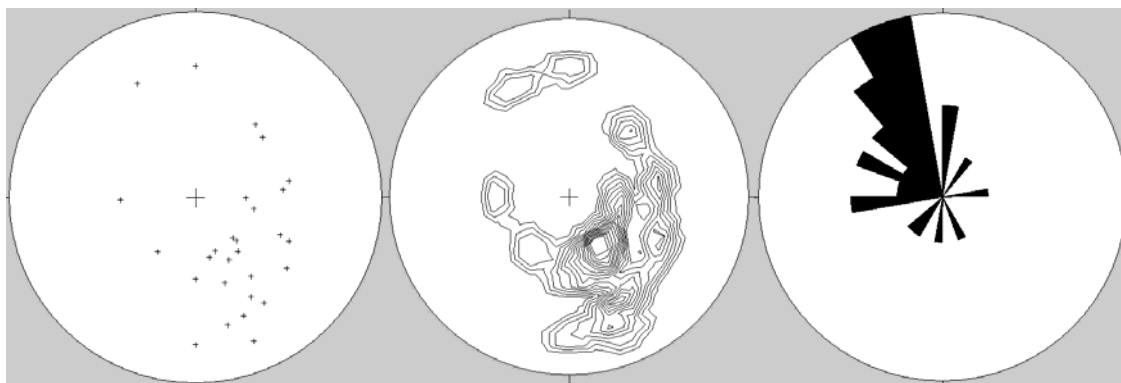
##### 4.6.1- Estructuras mayores

Varios autores: DENG (1947) AGUERREVERRE (1955) y WEHRMANN (1972) señalan previamente que la geología de los alrededores del este y noroeste de Caracas está constituida por estructuras plegadas de grandes dimensiones, tales como el Antiforme del Junquito, Sinforme del Cementerio y el Antiforme del Ávila.

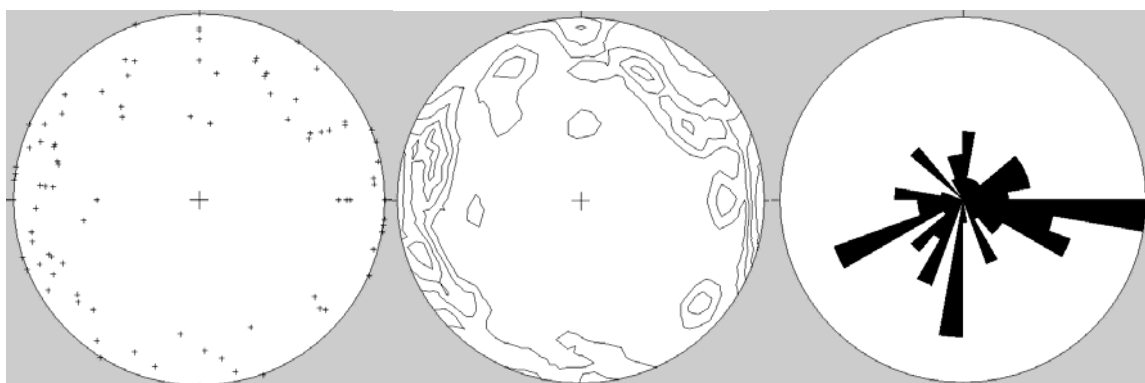
##### 4.6.2.- Estructuras menores

El área de estudio presenta gran densidad de estructuras de menor jerarquía, visibles en los diversos afloramientos, donde se evidencia el cizallamiento sufrido por las rocas en su mayoría bien foliadas, pero con variación en orientación de estos planos de foliación. Existen pliegues locales que distorsionan la foliación mostrando así la presencia de altas frecuencias de diaclasas y fallas, siendo en algunos casos mayores que 10 discontinuidades por metro lineal. La gran mayoría de los trabajos regionales hacen referencia a tres orientaciones preferenciales de fracturas alineadas (E-W, NW-SE, N-S).

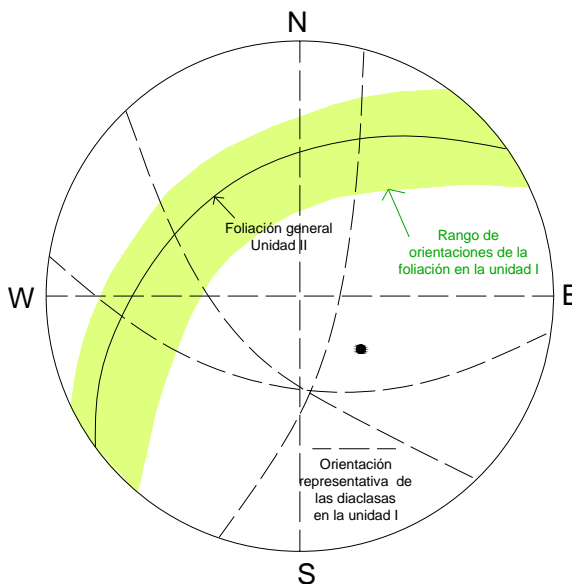
Las rocas de la unidad I presentan orientación general de los planos de foliación N30-50°E, 30-40°N, y de diaclasas N55°W, 60-70°S. así se evidencia en las imágenes 4.22, 4.23 y 4.24, donde se representaron los planos de debilidad de la roca en proyecciones estereográfica, haciendo un estudio de densidad y tendencia de la unidad I.



**Figura 4.22.-** Ciclografía, concentración de polos y rosetas de la foliación en la unidad I, 28 mediciones



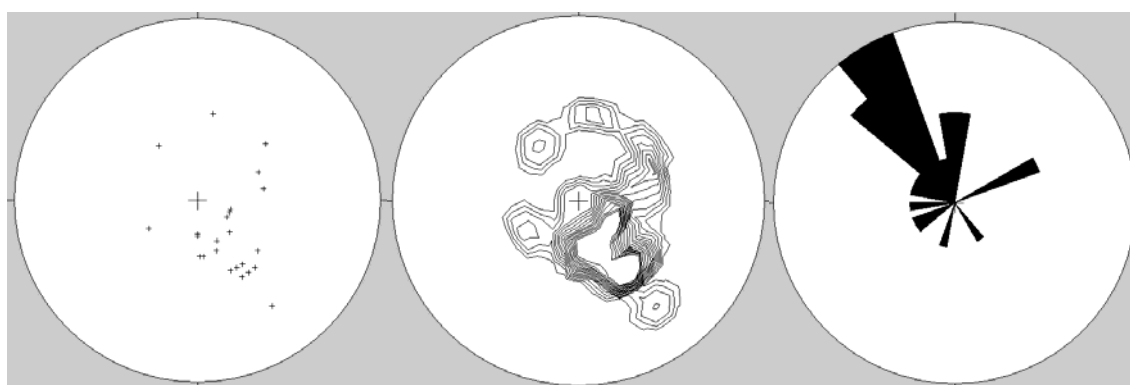
**Figura 4.23.-** Ciclografía, concentración de polos y rosetas de las diaclasas en la unidad I, 80 mediciones



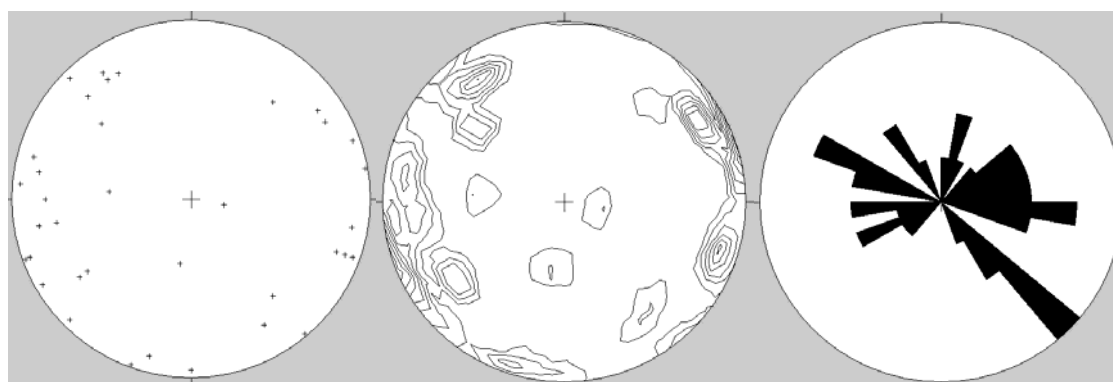
**Figura 4.24.-** Orientación general de los planos de foliación de la unidad I y planos representativos de las diaclasas más frecuentes.

En la unidad II, se observa la intercalación de mármoles y esquistos calcáreos paralela a subparalela a la inclinación de la topografía de la ladera sur del valle de Tacagua (entre los KM 1+800 y 3+200 de la autopista). Estas capas buzan al norte variablemente entre 10° y 70° y un

rumbo promedio  $N60^{\circ}E$ , lo mismo fue verificado anteriormente, por SANCIO y MEJIA (1972) en correlaciones de sondeos profundos en el barrio Gramovén, INGEOTEC (1992) y AUDEMARD *et. al.* (1993) en la galería superior del estribo Caracas. De los levantamientos de campos se corroboró que la orientación general de las capas de mármoles en toda el área de estudio presentan buzamientos variable al norte entre  $20^{\circ}$  y  $60^{\circ}$  con rumbo aproximado  $N50-60^{\circ}E$ , en tanto que los buzamientos al sur son de menor proporción y se ubican entre  $30^{\circ}$  y  $60^{\circ}$  y un rumbo promedio  $N50^{\circ}-60^{\circ}E$ , destaca un segundo sentido en el rumbo entre  $N70^{\circ}$  - $80^{\circ}W$  también con buzamiento al sur. Ver imagen 4.25, 4.26 y 4.27, estudio de tendencia de los planos de debilidad de la roca.

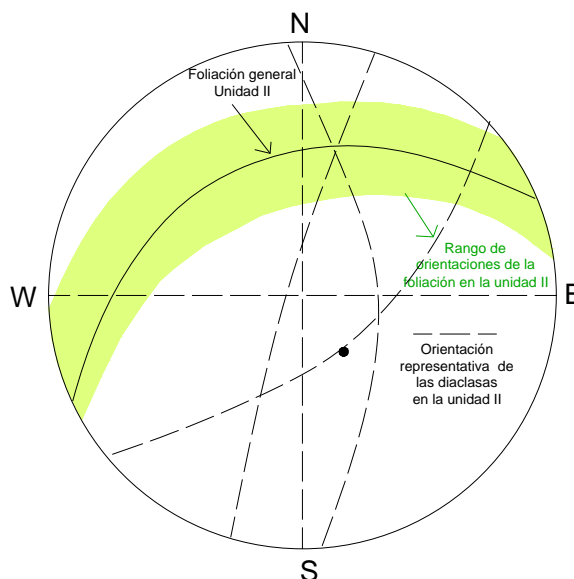


**Figura 4.25.-** Ciclografía, concentración de polos y rosetas de la foliación en la unidad II, 26 mediciones



**Figura 4.26.-** Ciclografía, concentración de polos y rosetas de las diaclasas de la unidad II, 40 mediciones





**Figura 4.27.** - Orientación general de los planos de foliación de la unidad II, y planos representativos de las diaclasas más frecuentes.

ACOSTA (1995) afirma que en las rocas con textura esquistosa en el área se observaron al menos dos generaciones de pliegues sobrepuestos, los cuales se designaron F1 como el más antiguo y F2 el más joven, las características geométricas de estos plegamientos permiten correlacionarlos con el segundo y tercer plegamiento descrito por TALUKDAR y LOUREIRO (1982) y observados por estos autores, en las cuencas de los ríos Oriaco, Chichírviche, parte del Río Limon, Mamo y de la quebrada de Tacagua. Acá se evidenciaron pliegues isoclinales, con desarrollo de foliación regional paralela al plano axial como resultado del metamorfismo de las facies de los esquistos verdes. La deformación asociada a los pliegues se genera sobre la foliación regional, lo que le confiere características postmetamórficas, concluyendo que (F2) se generó en un dominio frágil por ser pliegues amplios, abiertos y conservar el espesor.

En el corte realizado para el paso de la vía de emergencia al este del estribo norte del Viaducto No. 1, afloraron dos pliegues anticlinales compuestos de roca esquistosa y calizas (figura 4.28). La orientación de sus limbos es:  $N47^{\circ}E, 26^{\circ}N$  y  $N63^{\circ}E, 58^{\circ}S$ . La foliación general de los planos medidos en ese afloramiento es  $N25-70^{\circ}E, 30-50^{\circ}N$

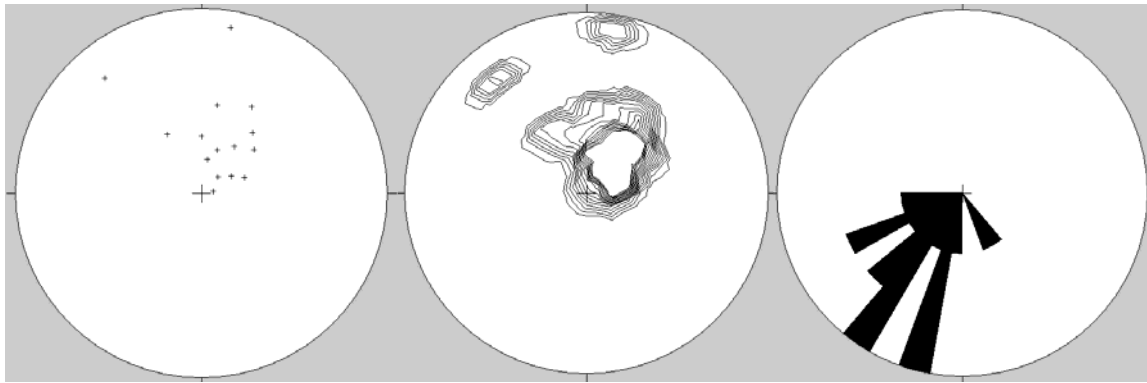


**Figura 4.28.-** Afloramiento de un enorme anticlinal amplio a 100 metros al este del estribo norte del Viaducto No 1, Producido por el corte 0,5:1 realizado para el paso de la vía de emergencia (Rumbo de foto N5°E)

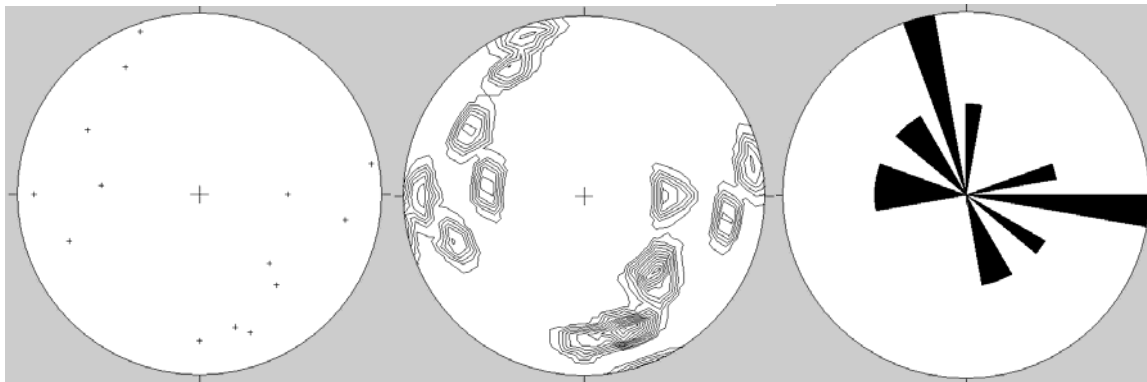
Las rocas de la unidad III presentan orientación general de los planos de foliación N70-80°W, 20-40°S, excepto en los primeros metros de la autopista en donde el buzamiento llega a ser subvertical en calizas cercanas a una zona de falla.



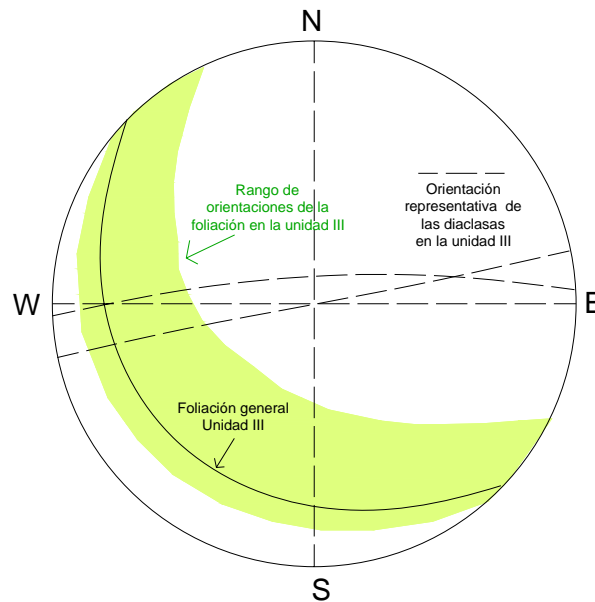
**Figura 4.29.-**Afloramiento de las calizas de la unidad II, en un corte realizado para el paso de la vía de contingencia (Rumbo de foto S12°E)



4.30.- Ciclografía, concentración de polos y rosetas de la foliación en la unidad III, 15 mediciones



4.31.- Ciclografía, concentración de polos y rosetas de las diaclasas de la unidad III, 14 mediciones



4.32.- Orientación general de los planos de foliación de la unidad III, y planos representativos de las diaclasas más frecuentes, medidos en los taludes de la autopista

#### 4.6.3.- Diaclasas

Todas las rocas del área se encuentran diaclasadas en por lo menos dos direcciones, con aberturas variables entre 1 mm de hasta 2 cm. y superficie rugosa con forma recta, algunas rellenas de calcita y a veces cuarzo. Es común la geometría de paralelepípedos en las rocas que muestran poca foliación como en el caso de los mármoles, debido a la intersección de por lo menos tres planos ortogonales de diaclasas, aunque en algunos casos son más planos. Las rocas anfibolíticas poseen un natural sistema de fracturas rombohédrico, por la intersección de tres sistemas de diaclásas no ortogonales.

La frecuencia de las diaclasas en la mayoría de las rocas tiene un media aproximada de 10 por metro, con máximos de 20:1 y mínimos de 2:1 siendo mayor la frecuencia en las rocas de las unidades I y II, con orientación promedio mayor del rumbo N30°-40°E con buzamiento muy variable con máximos promedios al Sur entre 10°-20° y 80°-90°. Al norte entre 30°-40° y 70°-80°.

#### 4.6.4.-Fallas

Basado en la fotointerpretación se afirmó que el patrón general de las fallas principales del último periodo de deformación tiene orientación aproximada E-W sub-vertical con movimiento dextral, y que toda la zona está altamente estructurada por el sistema de falla de Tacagua-El Ávila, en donde existe la superposición de fallas recientes activas sobre las antiguas, para el estudio del movimiento de las fallas se sume que el área está completamente estructurada y que la actividad es Neo-tectónica, teniendo el principal vestigio de esto en la traza de la Falla de Tacagua-El Ávila y sus fallas asociadas.

Las fallas secundarias, algunas posibles “riedel” de la Falla de Tacagua-El Ávila que poseen orientación aproximada entre N40°-60°E con buzamiento elevado a sub-vertical, es difícil definir movimiento de todas las fallas debido a lo estructurada que se encuentra el área, aunque se observan estrías de falla en casi todos los afloramientos, estas solo definen algunas direcciones de movimiento.



4.33.- Afloramiento realizado para el paso de la vía de emergencia, en la unidad I con buzamiento de los planos de foliación al norte, se observa un plano de falla con orientación N70°E,65N (Rumbo de foto N84°E)



Figura 4.34.- Plano de falla con orientación N55°E, 70°S reflejando estrías con dos direcciones de movimiento  
Estría 1: N65°E,15N; Estría 2: S15°W,30°S; (Rumbo de la foto 1: N30°W; rumbo foto 2: E-W)

#### 4.6.5.- Fallas activas

Las evidencias de fallamiento señaladas a lo largo del valle de Tacagua, tanto en superficie desde DENGÓ (1949), como en la supuesta prolongación en la plataforma continental (RIAL, 1973), concuerdan con la posición asumida por FANTI *et. Al* (1979), en base a criterios tanto geomorfológicos y geológicos, como de sismicidad instrumental. Estos últimos consideran el sistema de fallas de Tacagua como sísmicamente activo. Adicionalmente, la presencia de grandes eventos sísmicos en el historial sísmico de la región central de Venezuela y cercanos a Caracas, constituyen evidencias tectónicas y sísmicas suficientes para asegurar que este sistema de fallas esta actualmente activo.

El nivel de incertidumbre concerniente al trazado y prolongación hacia Caracas, del sistema de fallas mencionado, es eliminado por DENGÓ (1950) en base a estudios de fotogeología y

campo, quien realiza el primer mapa tectónico de la región de Caracas. A pesar de un trazo de carácter inferido, sin ubicaciones tales como: Toponímias, drenajes, es el primero en extender la traza a lo largo del pie del Ávila y continuarla por todo el valle de Tacagua en su ladera norte, con muy buena geometría, hasta unirse a la Falla de las Pailas en dirección este-oeste. En el mapa estructural de la ciudad de Caracas realizado por DENGO (1950) se mostró las primeras evidencias cartografiadas sobre la falla activa de Tacagua.

ACOSTA (1995) definió la traza activa de los accidentes investigados en el valle de Tacagua, por medio de la identificación de marcadores geomorfológicos y geológicos de deformación reciente, la cual comparó con los distintos trabajos previos realizados en el mismo sector (DENGO, 1951; AGERREVERRE, 1955; WHERMANN, 1972; SUBIETA & DELAIR 1979; FANTI et. al. 1980; FUNVISIS, 1983 y SCHUBERT. 1993), por medio de un análisis detallado de las evidencias geomorfológicas, en particular en el tramo ubicado en el Cerro el Piache al oeste de Boquerón y Alta Vista (Catia), completando una cartografía neotectónica en detalle del sector, apoyadas en tres estaciones microtectónicas y el cálculo del último desplazamiento.

De esta manera y para la presente fecha, se dispone de una visión homogénea a escala 1:25.000 de la traza activa del sistema de falla activa de Tacagua-El Ávila entre Boquerón y Catia, quedando varios tramos de este sistema en dirección al litoral, Caracas y Guatire sin estudios en detalle, los cuales mejorarían el conocimiento de este sistema tan importante para el norte centro del país.

El mapa de la figura 4.35 Muestra la traza activa correspondiente a una parte del tramo occidental del sistema Tacagua-El Ávila y la ubicación de los accidentes estructurales estudiados en campo. El documento indica los criterios geológicos y geomorfológicos de actividad cuaternaria, así como los valores de desplazamiento. Para un mejor análisis, se dividió el trazado en tres segmentos:

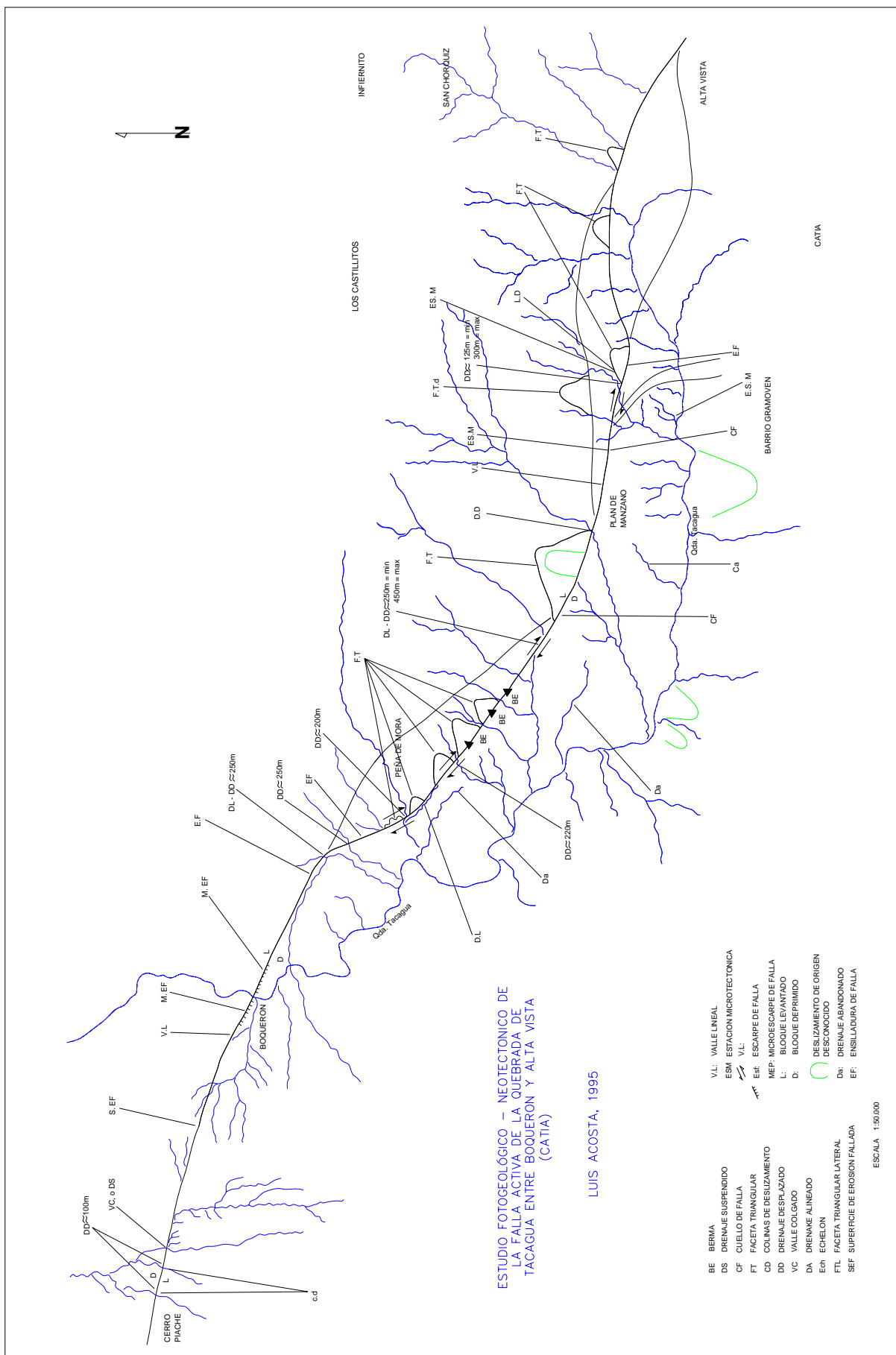


Imagen 4.35.- Traza activa de la Falla Tacagua-El Ávila, ACOSTA (1995)

### Segmento Cerro Piache-Boquerón

La falla de Tacagua en este sector se manifiesta por una traza bastante evidente y fácilmente cartografiable. No obstante que su prolongación al oeste del cerro El Piache no es obvia, se estima que su conexión cinemática podría realizarse con la falla de Las Pailas de orientación este-oeste y de movimiento trascurrente dextral según DENGÓ (1950), o con la Falla de Bruscas en la plataforma continental al oeste de Tocoa. Esta falla de movimiento dextral según FUNVISIS (1983), se extiende desde Cabo Blanco hasta la desembocadura de la quebrada La Zorra, correspondiente al único segmento observable en tierra firme de Tacagua-El Ávila.

RIAL (1973) presenta un mapa batimétrico al norte de Arrecifes y tres perfiles geofísicos (Sísmica de reflexión) que muestran al cañón submarino de Tacagua. Este autor prolonga la falla de Tacagua en tierra con el cañón mencionado, en forma directa.

Los desplazamientos observables en los perfiles sísmicos denotan una componente normal con sus saltos verticales en el orden de 100 metros, afectando sedimentos recientes. Al respecto son pocos los datos disponibles costa afuera lo cual dificulta establecer la continuidad tectónica.

Al este del Cerro el Piache la traza activa de Tacagua es única. La deformación dextral en esta zona es del orden de 100 m. medida sobre tres colinas y dos drenajes desplazados. Más al este se observa un conjunto de facetas triangulares, para luego continuar cortando una superficie de aplanamiento residual que según TRICART (1968), es de probable edad pliocena; intercepta a la quebrada de Tacagua en Boquerón con un desarrollo de micro escarpes de falla, para luego desviarse al SE.

### Segmento Boquerón-Plan de Manzano

A lo largo de este segmento, la traza activa se presenta al pie de varios estribos del Ávila, con desarrollo de facetas triangulares y ensilladura de falla. Desplaza a varias quebradas del Ávila que drenan de norte a sur, hacia la quebrada Tacagua, donde los desplazamientos dextrales se cuantificaron en 250 m. También deforma sedimentos de ladera acumulados en una extensa berma. En este tramo, la falla no es única, y presenta otra traza más septentrional, dando una



geometría en “punta de lanza”. Cercano a la convergencia de estas trazas, existe el desplazamiento dextral de una quebrada, cuantificado en unos 300 m.

Segmento plan de Manzano-Alta Vista.

La prolongación de la falla de Tacagua al este de Plan de Manzano, se bifurca en dos trazas, con una principal más al sur que desplaza a la quebrada Cantinas dextralmente con un movimiento cuantificado como mínimo de 125 m y máximo 300 m. En este punto se observa una ensilladura de falla, con un deslizamiento de gran tamaño en dirección oeste y se prolongan algunas fallas tipo Riedel al SE que interceptan la quebrada Tacagua. Hacia al este continua la traza principal sobre la carretera vieja Caracas-La Guaira presentando tres facetas triangulares hasta llegar a la ensilladura de falla de Puerta de Caracas.

#### 4.7.- Amenaza sísmica

De acuerdo con la Norma de Edificaciones Sismorresistentes COVENIN-FUNVISIS 1756:1998, año 1998, el área estudiada se halla ubicada en una zona sísmica 5; es decir, en una región a la cual se le atribuye una elevada peligrosidad sísmica, donde se espera una aceleración horizontal en roca de 0.30 g y vertical de 0,21 g, con un 10% de probabilidad de ocurrencia en 50 años.

**Tabla 4.2.-** Forma espectral y factor de corrección FUNVISIS (2001)

Material	V <sub>sp</sub> (m/s)	H (m)	Zonas sísmicas 1 a 4		Zonas sísmicas 5 a 7	
			Forma espectral	Φ	Forma espectral	Φ
Roca sana/fracturada	>500	-----	S1	0.85	S1	1.00
Roca blanda/meteorizada Suelos muy duros o muy densos	500-400	<30	S1	0.85	S1	1.00
		30-50	S2	0.80	S2	0.90
		>50	S3	0.70	S2	0.90
Suelos duros o densos	400-250	<15	S1	0.80	S1	1.00
		15-50	S2	0.80	S2	0.90
		>50	S3	0.75	S2	0.90
Suelos firmes/ medio densos	250-170	≤ 50	S3	0.70	S2	0.95
		>50	S3 <sup>(a)</sup>	0.70	S3	0.75
Suelos blandos/sueltos	<170	≤ 15	S3	0.70	S2	0.90
		> 15	S3 <sup>(a)</sup>	0.70	S3	0.80
Suelos blandos o sueltos <sup>(b)</sup> intercalados con suelos más rígidos	-----	H <sub>1</sub>	S2 <sup>(c)</sup>	0.65	S2	0.70

Según Funvisis (2002) El sistema de fallas Tacagua-El Ávila posee las siguientes características:

- Desplazamiento: Dextral.
- Longitud de punta a punta: 67.6 km.
- Rumbo promedio: N77°W +/- 13° (valor aproximado para la totalidad de la falla).
- Tasa de movimiento: 0,17 mm/año.
- Edad del último movimiento: Cuaternario.
- Intervalo de ocurrencia:  $\geq 2.300$  años.
- Magnitud máxima esperada 6,8.
- Salto máximo esperado: 0,5 m.

#### 4.8.- Caracterización geotécnica

La caracterización de los parámetros geomecánicos de la roca fue realizada en base a los defectos que esta pueda presentar, utilizando para ello la clasificación ingenieril de macizos planteada por Flores Calcaño y modificada para este trabajo.

Los parámetros considerados para el estudio de las características geomecánicas de la roca, están en función de los agentes exógenos a los cuales ha estado expuesta, tanto climáticos como tectónicos, que tienen su expresión en la roca en factores como meteorización, fracturamiento, diaclasado, y dureza.

Para estimar el valor de cada parámetro que afecta la roca, se utilizaron las tablas No 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 propuestas por varios autores, donde se clasifica las condiciones de meteorización, dureza y fracturamiento según las descripciones conseguidas en los levantamientos de campo y explicados en este capítulo.

**Tabla 4.3.-** Descripción del grado de meteorización VALLEJO (2002)

Término	Descripción
Fresca	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa
Meteorizada	Se observan cambios en el color original de la matriz rocosa. Es conveniente indicar el grado de cambio. Si se observa que el cambio de color se restringe a uno o algunos minerales se debe mencionar.
Desintegrada	La roca se ha alterado al estado de un suelo, manteniéndose la fabrica original. La roca es friable, pero los granos minerales no están descompuestos.
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, algunos o todos los minerales están descompuestos.

**Tabla 4.4.-** Estimación en campo de la resistencia a la compresión sin confinar BROWN (1981)

Descripción	Termino	Resistencia a la compresión no confinada $\sigma_{ci}$ (MPa)	Estimación de la resistencia en el campo	Ejemplos
Muy dura	md	>100	Se necesitan muchos golpes del martillo geológico para romper la muestra	Anfibolita, gneis, gabro gabrodorita basalto
Dura	d	50-100	Se necesita más de un golpe del martillo geológico para romper la muestra	Caliza, mármol, esquistos arenisca
Media	me	25-50	No se puede rayar o desconchar con una navaja, las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo	Concreto, esquistos
Blanda	b	5-25	Puede desconcharse con dificultad con una navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del martillo	Yeso, esquistos shale
Muy Blanda	mb	< 5	Deslizable bajo golpes fuertes con la parte puntiaguda del martillo de geólogo puede desconcharse con una navaja	Roca alterada shale

**Tabla 4.5.-** Grado de fracturamiento de la roca en función del número de diaclasas por metro cúbico de roca

Grado de facturación del macizo rocoso	Descripción del tamaño de bloques	Jv (diaclasas/m)	Termino
Intacta	Bloques muy grandes	< 1	i
Ligeramente fracturado	Bloques grandes	1 -3	i
Moderadamente fracturado	Bloques medianos	3-10	pf
Fracturada	Bloques pequeños	10-30	f
Muy Fracturada	Bloques muy pequeños	30-100	mf
Triturada	Bloques considerablemente pequeños	>100	

**Tabla 4.6.-** Clasificación de la roca según Flores Calcaño

Roca (R)	Fresca (F)	Dura (d)	Sana (s)
	Meteorizada (M)		
	Descompuesta (D)	Blanda (b)	Fracturada (f)

m=muy; p= poco

La clasificación de la roca según sus características geomecánicas se explica para cada unidad litológica:

**Unidad I.-** Esta unidad presenta una intercalación de rocas muy competentes, con perfil de meteorización de roca medianamente meteorizada hasta unos 3 metros de profundidad, bastante fracturadas. Se clasificó como roca meteorizada dura muy fracturada **RMdmf**.

**Unidad II.-** Presenta aún mayor competencia que la Unidad I, está compuesta de infinitos bloques de material calcáreo de diversos tamaños, con bastante frecuencia en tamaños muy pequeños. Estos bloques son bastante duros pero meteorizados en su superficie; son como bloques de roca bastante sana rodeada de una concha de material meteorizado intercalado con roca meteorizada de menor competencia. En general esta unidad está muy fracturada, con frecuencia volumétrica media de diaclasas 45:1, se necesitan más de un golpe con el martillo geológico para romper la roca. Al igual que la unidad I, se clasificó como roca meteorizada dura muy fracturada **RMdmf**.

**Unidad III.-** Roca bastante meteorizada, se observan manchas de óxido y la foliación ya no es tan evidente. Se le puede hacer un agujero con un golpe del martillo geológico, el número de diaclasas por metro cúbico de material de 24 aproximadamente. Clasificada como roca muy meteorizada blanda fracturada **RmMbf**.

En las unidades I y II existen franjas de roca brechada por planos de falla, estas se presentan bastante trituradas y meteorizadas. Este tipo de material posee un comportamiento de roca desintegrada muy parecido a un suelo muy grueso. **RDbmf**

## CAPÍTULO V

En el presente capítulo se presenta la información teórica en la que se basó este trabajo para realizar el análisis detallado de los procesos de movimientos de masas observados.

### 5.- TALUDES, CONSIDERACIONES TEÓRICAS

Un talud en ladera es una masa de tierra que no es plana, si no 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 conformo artificialmente SUARES DIAZ (1998).

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

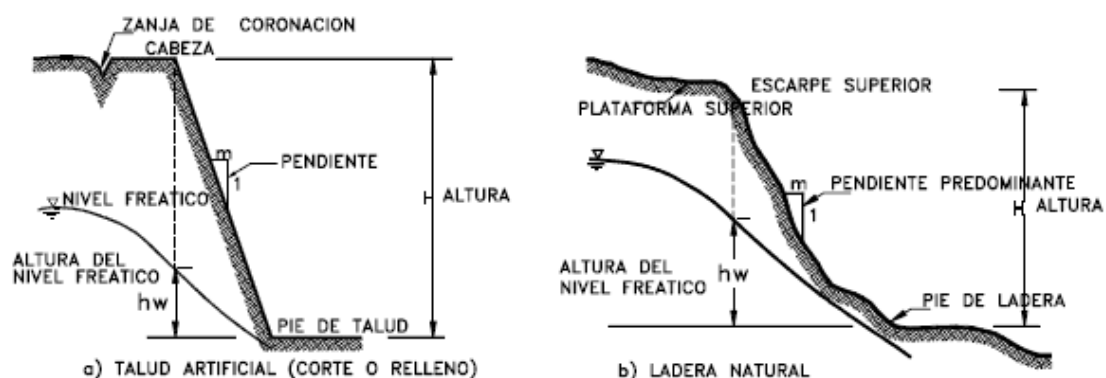


Figura 5.1.- Nomenclatura de taludes y laderas SUARES DIAZ (1998)

## 5.1.- Elementos constitutivos de un talud

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

### 5.1.1.- 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.

### 5.1.2.- Pie:

Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

### 5.1.3.- Cabeza o escarpe:

Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

### 5.1.4.- Altura de nivel freático:

Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

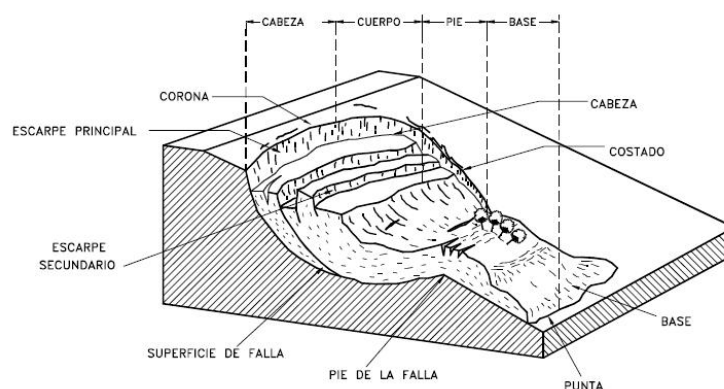
### 5.1.5.- Pendiente:

Es la medida de inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación de distancia horizontal con la vertical.

Ejemplo: Pendiente:  $45^\circ$ , 100%, o 1H:1V.

Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente a movimientos hacia abajo y hacia fuera 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.

## 5.2.- Nomenclatura de un deslizamiento



**Figura 5.2.-** Nomenclatura de un deslizamiento SUARES DIAZ (1998)

En la figura 5.2, se muestra un deslizamiento o movimiento de 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 de 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:**

Es el punto mas alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe inicial.

- 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.

### 5.3.- Dimensiones

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada por el IAEG (Figurra 5.3)



- Ancho de la masa desplazada “**Wd**”

Ancho máximo de la masa desplazada perpendicular a la longitud  $L_d$

- Ancho de la superficie de falla “**Wr**”

Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud  $L_r$

- Longitud de la masa deslizada “**Ld**”

Distancia mínima entre la punta y la cabeza

- Longitud de la superficie de falla “**Lr**”

Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona

- Profundidad de la masa desplazada “**Dd**”

Máxima profundidad de la masa movida perpendicularmente al plano conformado por  $W_d$  y  $L_d$

- Profundidad de la superficie de falla “**Dr**”

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 “**Lcl**”

Distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes o flancos.

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 este aumento de volumen, como un porcentaje del volumen antes del movimiento.

En algunas ocasiones como en el caso de roca el factor de expansión puede ser hasta de un 70%.

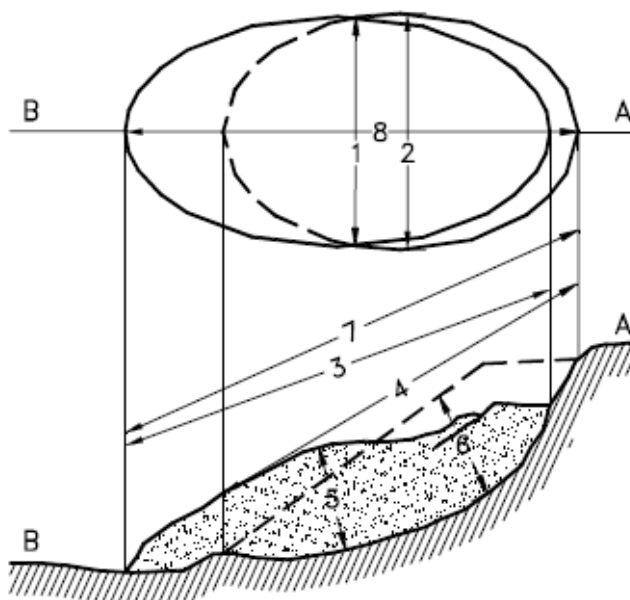


Figura 5.3.- Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a la IAEG Commission on landslides (1990)

## 5.5.- Clasificación de los movimientos de masas

### 5.5.1.- Caída de bloques

En las caídas de bloques 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 caída de bloques libres cuando la pendiente superficial es más de 75 grados. En taludes de ángulo menor generalmente, los materiales rebotan y en los taludes de menos de 45° los materiales tienden a rodar.

“La caída de bloques” corresponde a bloques de roca relativamente sana, la caída de residuos o detritos están compuestos por fragmentos de materiales pétreos y la caída de tierra corresponde a materiales compuestos de partículas pequeñas de suelo o masas blandas.

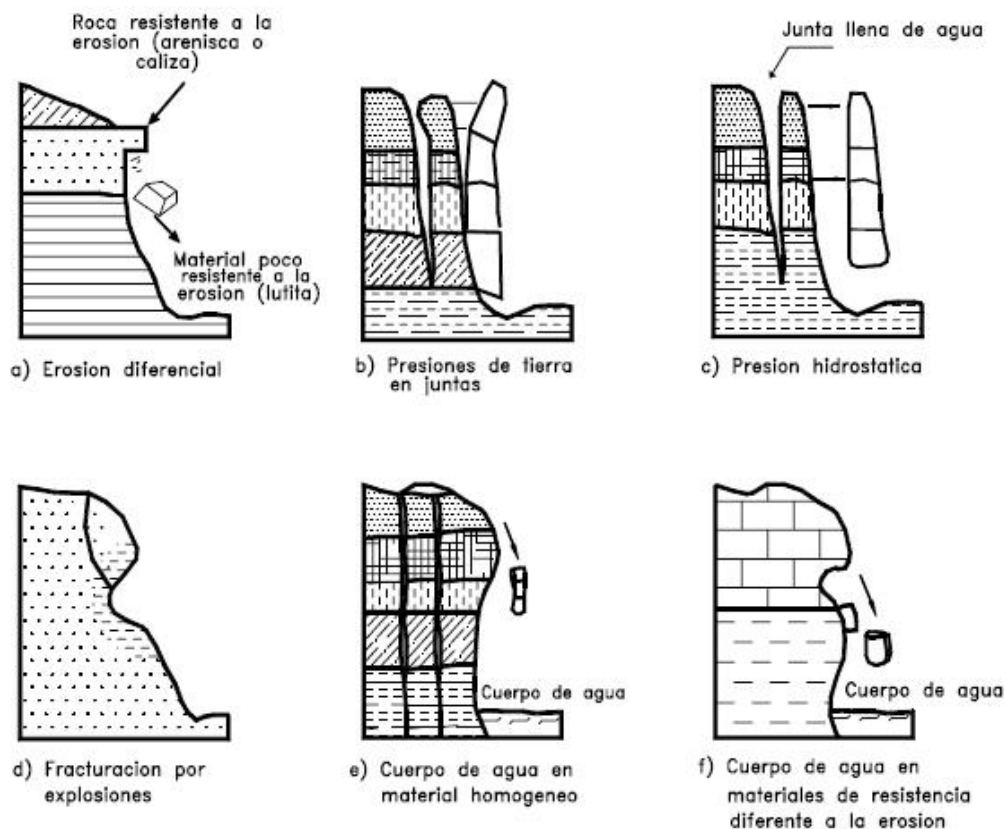


Figura 5.4., Algunos mecanismos de falla por caída. SUARES DIAZ (1998)

### 5.5.2.- Inclinación o volteo

Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia delante 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.

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

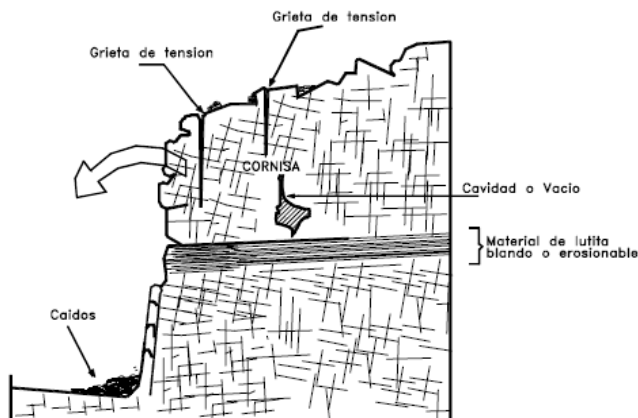


Figura 5.5.- Volteo o inclinación en materiales residuales SUARES DIAZ (1998)

Dependiendo de las características geométricas y de estructura geológica, la inclinación puede o no terminar en caídos o en derrumbes. Las características de la estructura de la foliación geológica determinan la forma de ocurrencia de la inclinación.

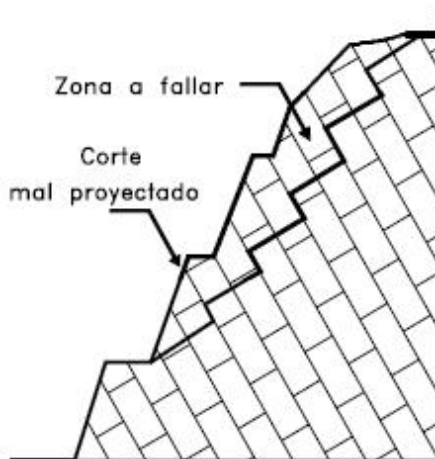


Figura 5.6.- El volteo puede generar un desmoronamiento del talud o falla en escalera SUARES DIAZ (1998)

### 5.5.3.- 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.

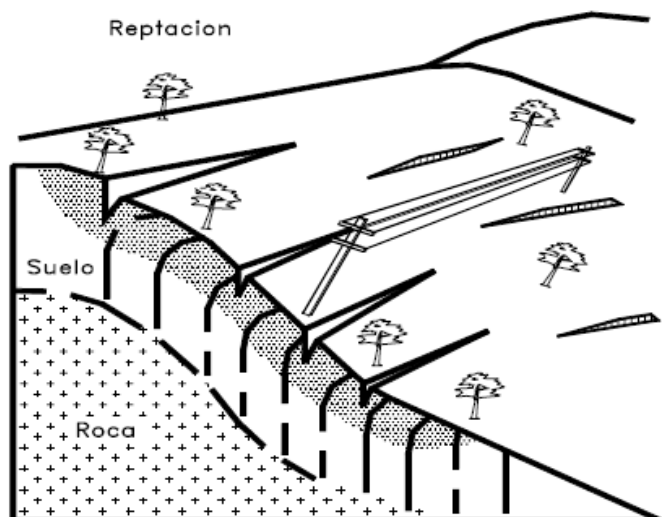


Figura 5.7.- Esquema de un proceso de reptación SUARES DIAZ (1998)

#### 5.5.4.- 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 efectos de cortes, rellenos deforestación, etc.

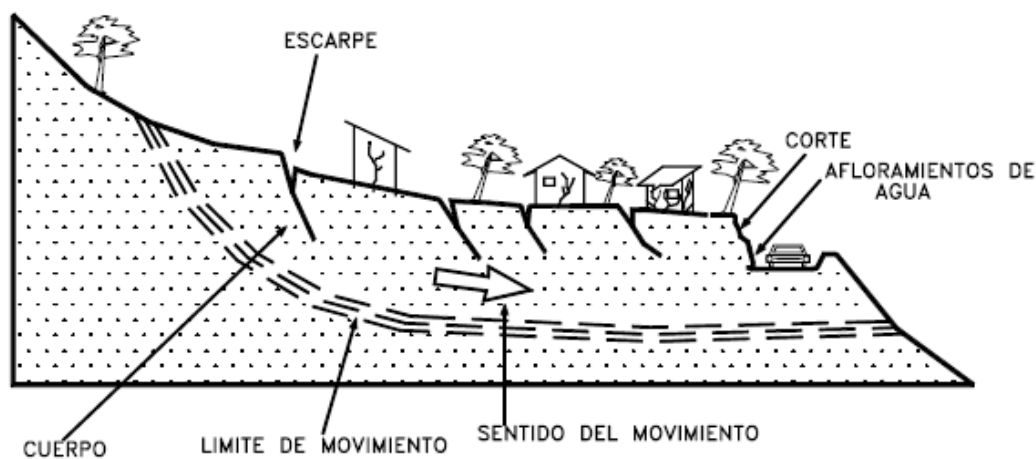


Figura 1.14 Deslizamientos en suelos blandos.

Figura 5.8.-Deslizamientos en suelos blandos SUARES DIAZ (1998)

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

#### 5.5.4.1.- 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 agrietamiento concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El desplazamiento produce un área un área inferior de hundimiento y otr inferior de desplazamiento 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 semi-vertical, 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 del material 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 rotacionales en suelos generalmente tienen una relación  $D_r/L_r$  entre 0,15 y 0,33 (Skempton u Hutchinson 1969)

## 5.5.4.2.- Deslizamiento rotacional típico

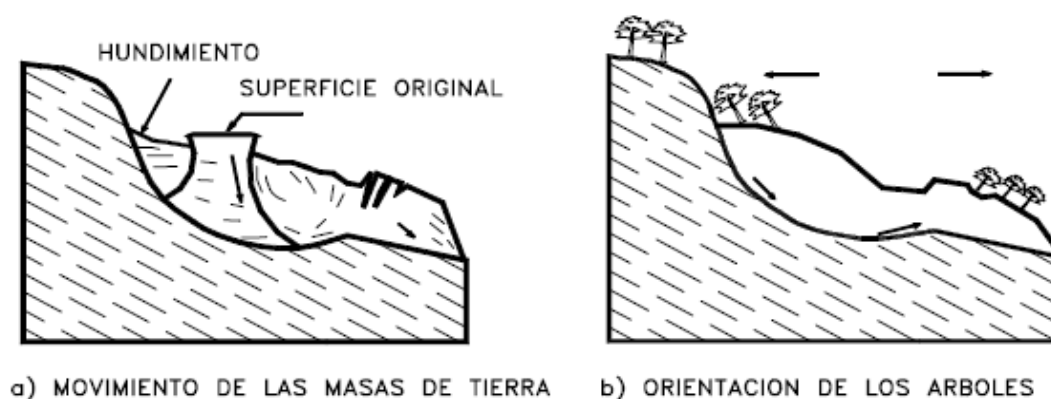


Figura 5.9.- Deslizamiento rotacional típico SUARES DIAZ (1998)

Frecuentemente la forma y localización de la superficie de falla está influenciada por las discontinuidades, juntas y planos de estratificación. El efecto de estas discontinuidades debe tenerse muy en cuenta en el momento que se haga el análisis de estabilización.

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 fallas 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.

## 5.5.4.3.- Deslizamiento traslacional

En el movimiento 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 rotación o volteo. Los movimientos traslacionales tienen generalmente una relación  $D_r/L_r$  de

menos de 0,1. La diferencia importante entre estos 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 movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad, tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de estado de meteorización que corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones. En muchos deslizamientos de traslación la masa se deforma y/o rompe y puede convertirse en flujo.

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

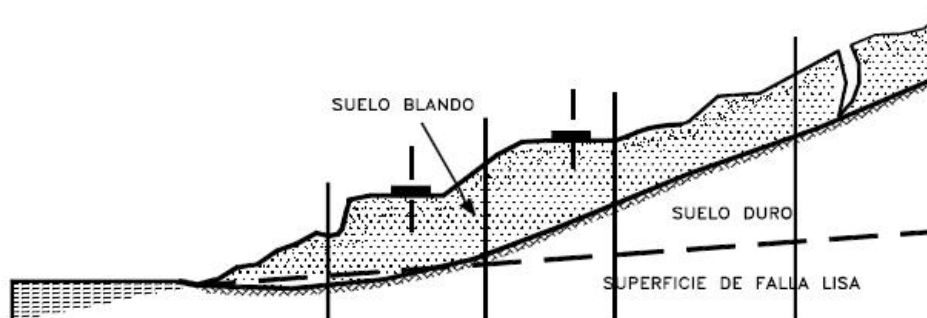


Figura 5.10.- Deslizamiento de traslación SUARES DIAZ (1998)

#### 5.5.5.- Esparcimiento lateral

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



Los esparcimientos laterales pueden ocurrir en masas de roca sobre suelos plásticos y también se forma en suelos finos, tales como arcillas y limos sensitivos que pierden gran parte de su resistencia al remodelarse.

La falla es generalmente progresiva, o sea, que se inicia en un área local y se extiende. Los esparcimientos laterales son muy comunes en sedimentos glaciales y marinos, pero no lo son en zonas de suelos tropicales residuales.

#### 5.5.6.- 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 y de residuos de suelo.

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 sub-superficiales. Algunos suelos absorben agua muy fácilmente cuando son alterados, fracturados o agrietados por un deslizamiento inicial conduciendo a la formación de un flujo.

#### Tipos de flujo

##### 5.5.6.1.- Flujo de roca

Los movimientos de flujos en rocas 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 pocos profundos en los cuales las fallas están generalmente, relacionadas con cambios de esfuerzos y lixiviación. La pendiente de estos taludes son comúnmente muy empinadas (más de 45°).

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.

#### 5.5.6.1.- 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 debido a la pérdida de resistencia por la disminución de la succión al saturarse el material o por el desarrollo de fuerzas debidas el movimiento del agua subterránea (COLLINS & ZNIDARCIC, 1997).

Los daños causados por 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.

#### 5.5.6.2.- 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.

### 5.5.6.3.- Flujo de lodo

En los flujos de lodo los materiales son muy finos y las humedades muy altas y se puede hablar de viscosidad propiamente dicha, llegando al punto de suelos suspendidos en agua. Los flujos de lodo poseen fuerzas destructoras grandes que dependen de su caudal y velocidad.

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

### 5.5.7.- Movimientos Complejos

Con mucha frecuencia los movimientos de un talud incluyen una combinación de dos o más de los principales tipos de desplazamientos descritos anteriormente, este tipo de movimientos se denomina como “Complejo”. Adicionalmente, un tipo de proceso activo puede convertirse en otro a medida en que progresa el fenómeno de desintegración; es así como una inclinación puede terminar en caída o un deslizamiento e flujo.

Tabla 5.1.- Glosario de nombres para la caracterización de movimientos de masas (adaptado por SUARES DIAZ (1998) de CRUDEN & VARNES, 1996)

Tipo	Secuencia	Estado de actividad	Estilo	Velocidad	Humedad	Material
Caído Inclinación Deslizamiento Esparcimiento Flujo	Progresivo Retroprogresivo Ampliándose Alargándose Confinado Disminuyendo Moviéndose	Activo Reactivo Suspendido Inactivo Dormido Abandonado Estabilizado	Complejo Compuest o Múltiple Sucesivo Sencillo	Extremadamente rápido Muy rápido Rápido Moderado Lento Muy lento Extremadamente lento	Seco Húmedo Mojado Muy mojado	Roca Suelo Residuos

## 5.6.- Caracterización del movimiento

Adicionalmente al tipo de movimiento es importante definir las características que posee en cuanto a secuencia, estado de actividad, estilo, velocidad, humedad y material.

### 5.6.1.- Tipo de material

Los términos siguientes han sido adoptados como descripción de los materiales que componen un determinado movimiento en el talud.

- Roca:

Se denomina “Roca” a la roca dura y firme que estaba intacta en su lugar antes de iniciar el movimiento.

- Residuos:

Se denomina con el nombre de residuos o “Detritos” al suelo que contiene una significativa proporción de material grueso. Se considera que si más del 20% del material en reposo es mayor de 2 mm de diámetro equivalente, debe llamarse como residuos.

- Tierra:

Se denomina tierra, al material de un deslizamiento que contiene más del 80% de las partículas menores de 2 mm. Se incluyen los materiales desde arenas a arcillas muy plásticas.

### 5.6.2.- Humedad:

Se proponen cuatro términos para definir las condiciones de humedad así:

- Seco: No contiene humedad visible.
- Húmedo: Contiene algo de humedad pero no contiene agua libre y puede comportarse como un sólido plástico pero no como un líquido.
- Mojado: Contiene suficiente agua como para comportarse en parte como un líquido y posee cantidades visibles de agua que puede salir del material.
- Muy mojado: Contiene agua suficiente para fluir como líquido, aún en pendientes bajas.

### 5.6.3.- Secuencia de repetición

La secuencia se refiere a movimientos que inician en un área local y progresan o se repiten en una determinada dirección. Varnes (1978) recomienda utilizar la siguiente terminología:

- Progresivo: La superficie de falle se extiende en la misma dirección del movimiento,
- Retrogresivo: La superficie de falla se extiende en dirección opuesta al movimiento.
- Ampliándose: La superficie de falla se extiende hacia una u otra de las márgenes laterales.
- Alargándose: La superficie de falla se alarga agregando continuamente volumen de material desplazado. La superficie de falla puede alargarse en una o más direcciones. El término alargándose puede utilizarse indistintamente con el término progresivo.
- Confinado: Se refiere a movimientos que tiene un escarpe visible pero no tienen superficie de falla visible en el pie de la masa desplazada.
- Disminuyendo: El volumen de material siendo desplazado, disminuye con el tiempo.

### 5.6.4.- Velocidad de movimiento

En la tabla 5.2 se indica la escala de velocidades de movimientos propuesta por el Transportation Research Board de los Estados Unidos, la cual se puede considerar como una escala única de rata de movimiento. En algunos casos, ocurren velocidades diferentes de los diversos modos de movimientos, y se requiere definir cada uno de ellos.

La velocidad del movimiento tiene gran influencia sobre el poder destructivo de un deslizamiento. Generalmente, los deslizamientos extremadamente rápidos corresponden a catástrofes de gran violencia, ocasionalmente con muchos muertos y cuyo escape es poco probable.

Por otro lado los movimientos extremadamente lentos son imperceptibles sin instrumentos y representan, en general un riesgo muy bajo de pérdidas de vidas humanas.

**Tabla 5.2.-** escala de velocidades de movimientos propuesta por el Transportation Research Board de los Estados Unidos

Clase	Descripción	Velocidad (mm/seg)	Desplazamiento	Poder destructor
7	Extremadamente rápido	$5 \times 10^3$	5 m/seg	Catástrofe de violencia mayor; edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchas muertes, escape imposible.
6	Muy Rápido	$5 \times 10^1$	3 m/min	Alguna pérdida de vidas; velocidad demasiado alta para permitir a todas las personas escapar.
5	Rápido	$5 \times 10^{-1}$	1,8 m/hora	Escape posible; estructuras, propiedades y equipos destruidos.
4	Moderado	$5 \times 10^{-3}$	13 m/mes	Algunas estructuras temporales y poco sensitivas pueden mantenerse temporalmente.
3	Lento	$5 \times 10^{-5}$	1,6 m/año	Construcciones de estabilización pueden llevarse a cabo durante el movimiento. Algunas estructuras insensitivas pueden mantenerse con mantenimiento frecuente.
2	Muy lento	$5 \times 10^{-7}$	16 mm/año	Algunas estructural permanentes no son dañadas por el movimiento.
1	Extremadamente lento			Imperceptibles sin instrumentos; construcción posible pero deben tenerse precauciones.

#### 5.6.5.- Estado de actividad

- Activo: deslizamientos que se están moviendo en los actuales momentos.
- Reactivo: Movimiento que está nuevamente activo, después de haber estado inactivo. Por ejemplo. Deslizamientos activados sobre antiguas superficies de falla.
- Suspendido: Deslizamiento que ha estado activs durante los últimos ciclos estacionales pero que no se está moviendo en la actualidad.

- Inactivo: Deslizamientos que llevan varios ciclos sin actividad.
- Dormido: Deslizamiento inactivo pero que las causas del movimiento aparente permanecen.
- Abandonado: Es el caso de de un río que cambió de curso y que estaba produciendo un deslizamiento.
- Estabilizado: Movimiento suspendido por obras remediales artificiales.
- Relicto: Deslizamientos que ocurrieron posiblemente hace varios miles de años.

#### 5.6.6.- Estructura geológica.

La formación geológica del sitio del movimiento es un factor determinante en el mecanismo de falla y en el comportamiento de un movimiento en un talud, especialmente en ambientes tropicales de montaña donde la textura y estructura geológica definen por lo general, la ocurrencia de fallas en los taludes.

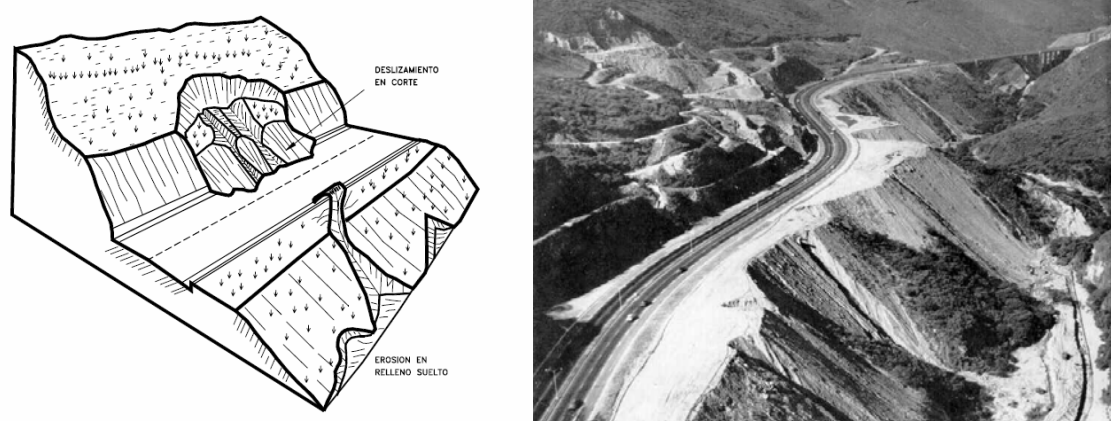
## CAPITULO VI

---

En el presente capítulo se presentan en forma detallada las características geotécnicas que afectan los primeros 4 km de la autopista Caracas-La Guaira y alrededores, obtenidas por medio de fotointerpretación, levantamientos de campos y diversos sondeos de superficie realizados en el área.

### 6.- GEOTECNIA

El tramo comprendido en los 4 primeros kilómetros de la Autopista, fue construido en la ladera Sur del abra topográfico de Tacagua (figura 6.2), con características iniciales que permiten clasificar la zona como de alto riesgo geológico, según SALCEDO *et al* (1987). El problema se ha agravado por el aumento de viviendas informales sin servicios de canalización adecuados de aguas. Este tramo de la Autopista fue construido realizando cortes en las cotas comprendidas entre los 925 m y 700 m (ver figura 6.1). Los 4 primeros km de la vía están fundados sobre diversas litologías muy meteorizadas, aunque en su mayoría corresponden a la Unidad informal II, con buzamientos representativos de los planos de debilidad de unos 20° a 40° al norte, que es el mismo sentido de la pendiente de los taludes. Los cortes dejaron aflorar rocas muy estructuradas, lo que originó la posibilidad de deslizamientos futuros, sumado a que en la zona se identificaron paleo-deslizamientos observados en fotografías aéreas.



**Figura 6.1.-**  
Izquierda.-Alteración antrópica de la topografía para construir una vialidad, tomado de SUARES DIAZ (1998)  
Derecha.- Vista de la autopista Caracas-La Guaira recién construida, tomado de la página web [www.viaducto1.org](http://www.viaducto1.org)





Figura 6.2.- Fotos panorámicas tomadas desde un helicóptero en 1985 por D. SALCEDO

En el área de estudio se pudieron observar trece problemas de deslizamientos de diversas magnitudes, que difieren en geometría y composición. Estos fueron estudiados por separado, identificándolos según su ubicación con respecto a la autopista y/o toponimia, señalando el año de ocurrencia:

Deslizamientos vinculados con la autopista:

- Deslizamiento 0+600 (Activo)
- Deslizamientos 0+960 (1984)
- Deslizamiento 1+400 (2006)
- Deslizamiento 1+700 (1971)
- Deslizamiento Barrio 19 de Abril (Activo)
- Deslizamiento Barrio Oropeza Castillo (Activo)
- Deslizamiento 3+000 (1974 y 1981)
- Deslizamiento Pila Sur Viaducto No 1 (Activo)
- Deslizamientos en el talud de la Pila norte Viaducto No 1, parte superior.

Deslizamientos en la Carretera Vieja Caracas-La Guaira:

- Deslizamiento PDVSA Cantinas (Activo)
- Deslizamiento Blandin
- Deslizamiento Vuelta La Llanera (2006)
- Deslizamiento Plan de Manzano (2005)
- Otros.

Así como también se observaron otros tipos de problemas geotécnicos de menor escala a lo largo del recorrido que serán descritos a continuación:

- Fallas de Borde
- Hundimientos o levantamientos de la vía
- Socavación por los drenajes
- Caídas de bloques.

Los problemas observados en la vía fueron representados en el mapa de inventario de procesos de geodinámica superficial a escala 1:5000 en los primeros 4 Km. de la vía, realizado para este estudio (anexo III).

### **6.1.- Problemas Locales**

A continuación se describen los problemas locales encontrados en la vía así como su progresiva de ubicación:

#### **6.1.1.- Fallas de Borde**

Al encontrarse la autopista a media ladera y construida sobre un terraplén que obstruyó el cauce natural de las quebradas que bajaban de entre las estribaciones, se resolvió colocar drenajes que canalizan el agua meteórica, y posteriormente antrópica, por debajo de la vía hasta el otro extremo. En la actualidad casi todas estos drenajes se encuentran colgados dejando fluir el agua por la ladera que baja desde la autopista, y posteriormente hacia la quebrada Tacagua; esto ha traído como consecuencia alta socavación; se observan cárcavas que llegan a tener dimensiones tales que crean un vacío bajo la capa asfáltica desplazando el hombrillo de la vía y generando fracturas en forma de cucharadas, denominadas fallas de borde. Estas zonas de socavación profunda por drenajes colgados se encuentran en las progresivas: 0+600, 0+950, 1+200, 1+700, 1+800, 1+950, 2+600 y 2+950, (figuras 6.3, 6.4 y 6.5)



**Figura 6.3.-**  
 Izquierda (agosto de 2005).- Construcción de un muro cantiliver para contener la base del terraplén de la vía en la progresiva 1+950  
 Derecha (enero de 2006).- Fue necesario construir una pantalla atirantada provisional para contener el material de relleno hasta que se terminara el muro



**Figura 6.4.-**  
 Izquierda.- Pantalla atirantada construida en le progresiva 1+700, los drenes están tapados y el agua sale por un hueco de la pantalla  
 Derecha.- Existen agrietamientos del asfalto debido al desprendimiento del material de la base del terraplén, progresiva 1+800



**Figura 6.5.-** Torrentera ubicada en la progresiva 2+600, se observa que se ha erosionado la ladera provocando problemas en la base del terraplén de la autopista

### 6.1.2.- Hundimientos o levantamientos en la vía

Debido a los movimientos de masa descritos en la ladera sur del Valle de Tacagua, la vía ha sufrido grandes deformaciones que se evidencian en superficie, donde se han formado depresiones y levantamientos, apreciables al transitar con vehículos automotores, sobretodo en los sectores que coinciden con los límites del deslizamiento, donde la deformación ha fracturado y desplazado la vía.

### 6.1.3.- Socavación de los drenajes

La falta de mantenimiento de los drenajes puede haber causado su obstrucción dentro de la base de la vía, saturando algunos sectores y produciendo problemas locales por asentamientos

diferenciales, así como posibles problemas de tubificación que puedan traer mayores deformaciones en el futuro.

#### 6.1.4.- Caída de bloques o desprendimiento de material superficial

El grado de meteorización y fracturamiento mostrado por las rocas aflorantes de las laderas del valle de Tacagua, las han hecho bastante friables siendo común el desprendimiento superficial de material rocoso, y también de bloques aislados que han llegado a tapar canales de la vía en el sentido Caracas. En las figuras 6.6, 6.7 y 6.8, se muestran ejemplos de sectores con problemas de caída de bloques.



**Figura 6.6.-** Afloramiento en la progresiva 2+800; se observan los bloques de calizas bastante fracturadas con buzamiento de la foliación en el mismo sentido de la ladera y dos sistemas de diaclasas ortogonales entre sí.



**Figura 6.7.-** Zona de caída de bloques en la progresiva 2+700

Se observaron caídas de bloques aislados en la ladera norte del valle, en cortes con pendientes mayores a  $70^\circ$ , debido a que se deja aflorar una de las dos direcciones representativas de los planos de diaclasas.



**Figura 6.8.** - Tramo en construcción de la vía de contingencia en la ladera norte del valle de Tacagua  
Se observan desprendimientos de bloques en los cortes realizados con pendiente igual a 0.5:1

## 6.2.- Movimientos de masas de gran magnitud.

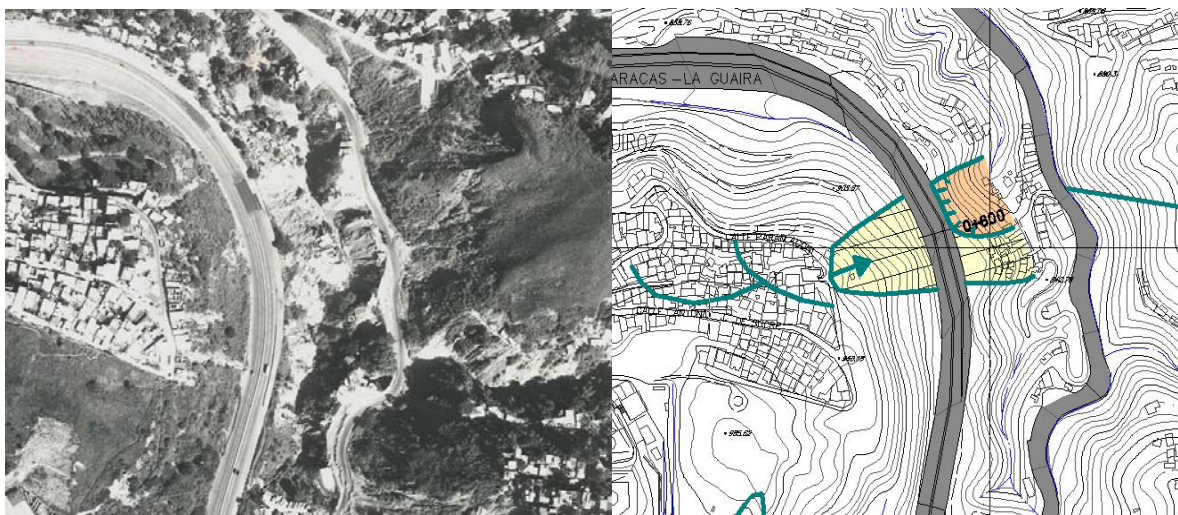
### 6.2.1.-Deslizamiento km 0+600

En la progresiva 0+600 de la autopista, a 40 metros del puesto de la Guardia Nacional y 600 metros más abajo del peaje viejo, se inició desde el mes de abril de 2005 la colocación de una barrera de pilotes debido a un deslizamiento activo del tipo rotacional, que está afectando las dos pistas, tanto la de bajada al litoral como la de subida a Caracas, debido a que la roca está muy fracturada y algo meteorizada en todo el perfil hasta los 40 metros de profundidad, y que el nivel freático se encuentra por sobre esta superficie de inestabilidad.

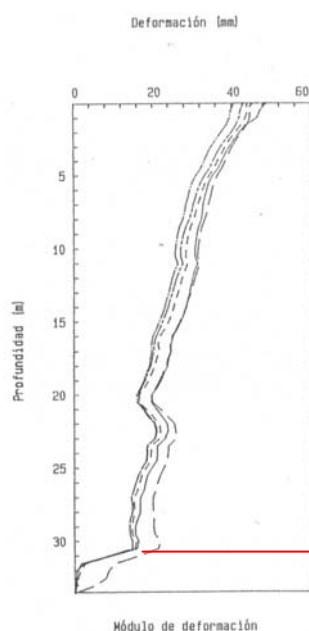
#### 6.2.1.1.- Configuración del deslizamiento:

En la fotografía aérea se evidencia la geometría del deslizamiento que está ocurriendo en el km 0+600 de la autopista (figura 6.9), donde existe un escarpe de falla cercano a la calle Paramaconi del barrio Federico Quiroz, y un deslizamiento en la parte baja justo donde está el

límite al norte del movimiento de masa. INGEOTEC C.A., realizó un censo de algunas estructuras afectadas en el barrio para ubicarlas en un mapa, logrando geometrizar grietas provocadas quizás por el desconfinamiento del material debido al deslizamiento ocurrido en el km 0+600, y en la parte norte de la calle Paramaconi reportado más adelante en este trabajo.



**Figura 6.9.-** Izquierda.- Fotografía aérea 8853, vuelo 1978, a pesar que el deslizamiento es muy posterior a la fecha de esta foto, se evidencia su geometría. Derecha.- representación de los límites del deslizamiento así como de las grietas reportadas por INGEOTEC C.A.



**Figura 6.10.-** Desplazamiento del inclinómetro IAC-3 colocado en el canal de bajada al litoral, medidas realizadas entre el 09/05/05 y 31/10/05, el salto de la gráfica representa la profundidad donde se encuentra la superficie de deslizamiento.

Para mayo de 2005 se habían instalado dos inclinómetros, uno en la pista de bajada de la autopista (IAC-3) y otro en la pista de subida a Caracas (IAC-4), con lo que se obtuvo que la superficie de deslizamiento se encuentra a 32 metros por debajo de la cota de la rasante de la

vía. También fueron instalados piezómetros obteniendo la profundidad del nivel freático entre 36,8 y 37,3 m.

La información de los límites del deslizamiento fueron cartografiados en una base topográfica para poder obtener las dimensiones de este movimiento tanto en planta como en profundidad mediante la elaboración de una perfil generalizado que muestra la geometría del plano de deslizamiento.

**Tabla 6.1.-** Dimensiones del deslizamiento.

Parámetro medido	Medida
Ancho de la masa desplazada "Wd"	120 m
Ancho de la superficie de falla "Wr"	100 m
Longitud de la masa deslizada "Ld"	170 m
Longitud de la superficie de falla "Lr"	160 m
Profundidad de la masa desplazada "Dd"	33 m
Profundidad de la superficie de falla "Dr"	37 m
Longitud total "L"	190 m
Distancia desde la punta o uña hasta la superficie del deslizamiento "Lcl"	192 m

Para facilitar la comprensión del fenómeno y poder establecer parámetros geométricos que permitan la cuantificación del problema se elaboró un perfil generalizado con la información obtenida de la topografía e instrumentación profunda, figura 6.11.



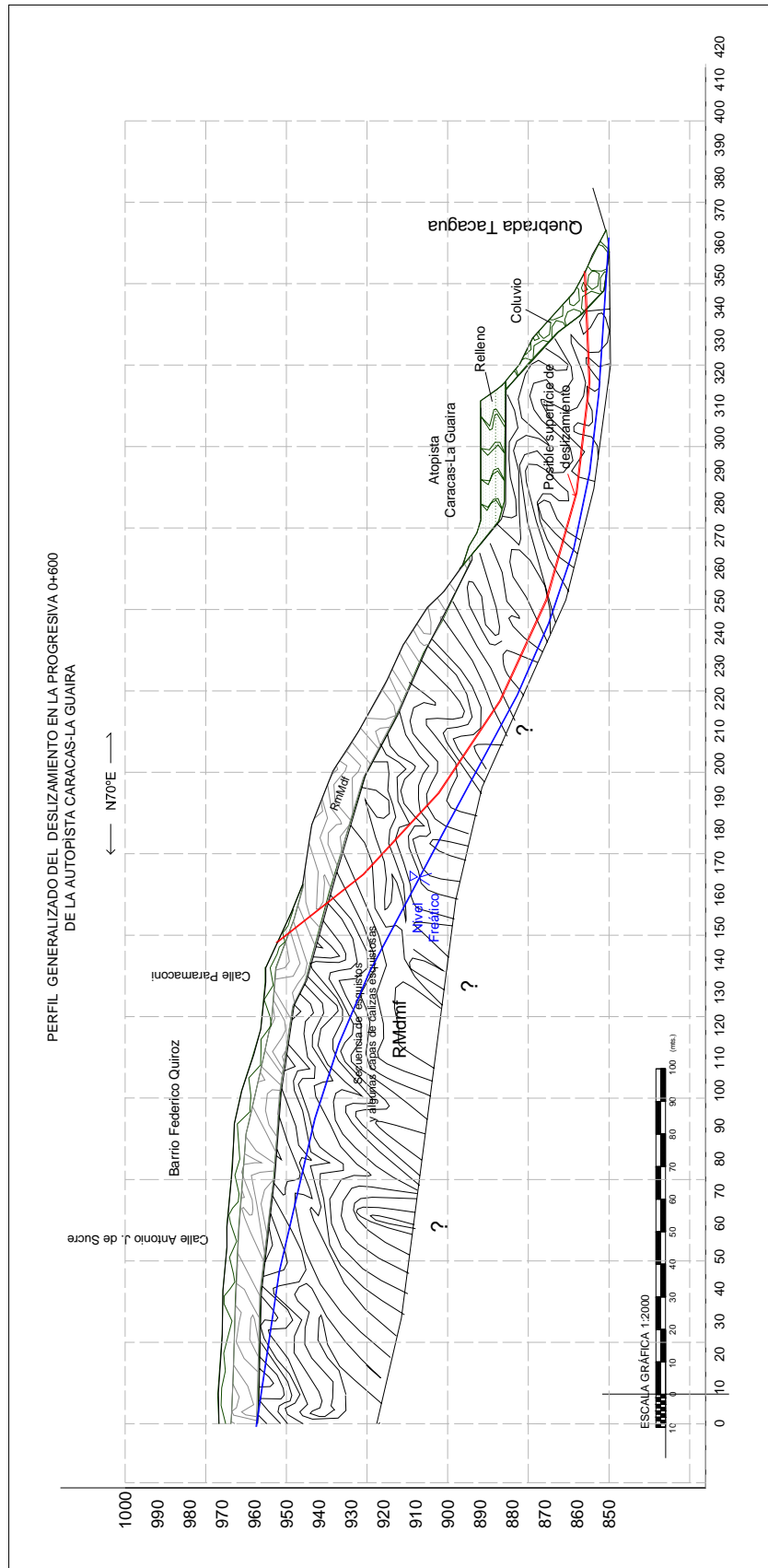


Figura 6.11.- Perfil generalizado del deslizamiento de la progresiva 0+600

El estado de meteorización y muy alto fracturamiento de la roca, ha provocado que la superficie de deslizamiento tenga un comportamiento curvo, semejante al perímetro de una circunferencia, muy parecido al comportamiento que muestra un deslizamiento en suelo.

Conociendo la geometría del deslizamiento se realizó un back análisis, por medio del tanteo de los parámetros intrínsecos del material y geométricos del deslizamiento, hasta lograr equilibrar las fuerzas resistentes con las deslizantes, para ello se utilizó un programa elaborado en el programa Excel, basado en el método de estabilidad de taludes con falla circular de Bishop, modificado y alimentado con métodos numéricos de estabilidad en fallas planares en donde se toma en cuenta el aspecto sísmico e hidráulico.

El método de las dovelas de BISHOP (1955) considera el problema bidimensional, por lo que la estabilidad del talud se analiza en una sección transversal del mismo. La zona de terreno potencialmente deslizante se divide en una serie de fajas verticales estudiándose el equilibrio de cada una de ellas según la teoría de resistencia al corte de MOHR-COULOMB.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg}\varphi$$

Ecuación general de resistencia al corte de Coulomb

$\tau$  = Tensión tangencial máxima en un punto de la superficie de deslizamiento

$c$  = Cohesión de la superficie de deslizamiento en el punto considerado

$\sigma$  = Tensión normal a la superficie de deslizamiento en el punto considerado

$\varphi$  = Ángulo de rozamiento interno de la superficie de deslizamiento

El método simplifica el trabajo al sectorizar el deslizamiento en dovelas que pueden ser estudiadas por separado como si cada una representara una falla planar independiente, para luego realizar una sumatoria que permita conocer las fuerzas actuantes, tanto resistentes como deslizantes, en forma global. Por medio del tanteo se busca el centro y el radio de la circunferencia que represente la peor condición como posible superficie de deslizamiento, tomando en cuenta los factores topográficos y la profundidad del perfil de meteorización del material. BISHOP (1955), supone que las fuerzas en las caras laterales son horizontales o, lo que es lo mismo, no existe fricción entre las caras de las dovelas.

El caso más general de cálculo del factor de seguridad a deslizamientos, presenta las variables hidráulicas y de sismos representadas por los vectores de presión hidrostática “U” y “V” de cada caso y los valores de aceleración horizontal “ $a_h$ ” y vertical “ $a_v$ ” de Caracas. La fórmula del cálculo general de factor de seguridad esta expresada en la figura 6.12.

$$FS = \frac{c'A + \left\{ W \left[ \left( 1 + \frac{a_v}{g} \right) \cos \psi_p - \frac{a_h}{g} \operatorname{sen} \psi_p \right] - U - V \operatorname{sen}(\psi_p + \delta) \right\} \operatorname{tg} \varphi'}{W \left[ \left( 1 + \frac{a_v}{g} \right) \operatorname{sen} \psi_p + \frac{a_h}{g} \cos \psi_p \right] + V \cos(\psi_p + \delta)} \quad (7.7)$$

donde:

$c'$  = cohesión efectiva en la superficie de deslizamiento.

$\varphi'$  = ángulo de rozamiento interno efectivo en la superficie de deslizamiento.

$A$  = área de la superficie de deslizamiento, supuesta de ancho unidad.

$W$  = peso de la masa deslizante, supuesta de ancho unidad.

$\psi_p$  = ángulo que forma el plano de deslizamiento con la horizontal.

$U$  = resultante de las presiones intersticiales que actúan sobre el plano de deslizamiento.

$\delta$  = ángulo que forma la grieta de tracción con la vertical.

$V$  = resultante de las presiones intersticiales que actúan sobre la grieta de tracción.

$g$  = aceleración de la gravedad.

**Figura 6.12.-** Fórmula general del factor de seguridad por deslizamientos planares  
Tomado del Manual de Taludes del instituto Geológico y Minero de España 1987

Para adaptar esta fórmula al método de falla circular de Bishop se tomaron las siguientes consideraciones:

- El valor del empuje del agua en la grieta de tracción y el valor de inclinación de la grieta son iguales a cero, ya que no se toma en cuenta la existencia de estas grietas.
- Los valores de peso “W”, área “A”, ángulo del plano de deslizamiento “ $\psi$ ” y las presiones de agua que actúan sobre el plano de deslizamiento “U”, son tomados independientemente para cada dovela.
- El factor de seguridad se calcula del cociente de la sumatoria de las fuerzas resistentes de cada dovela, representadas en el numerador de la fórmula, entre la sumatoria de las fuerzas deslizantes de cada dovela, representadas por el denominador de la fórmula.

La configuración de la posición del centro de la circunferencia que va a representar la superficie de deslizamiento se restringe por las condiciones geométricas del perfil generalizado, y se obtiene tanteando las posibles soluciones hasta conseguir la peor condición.

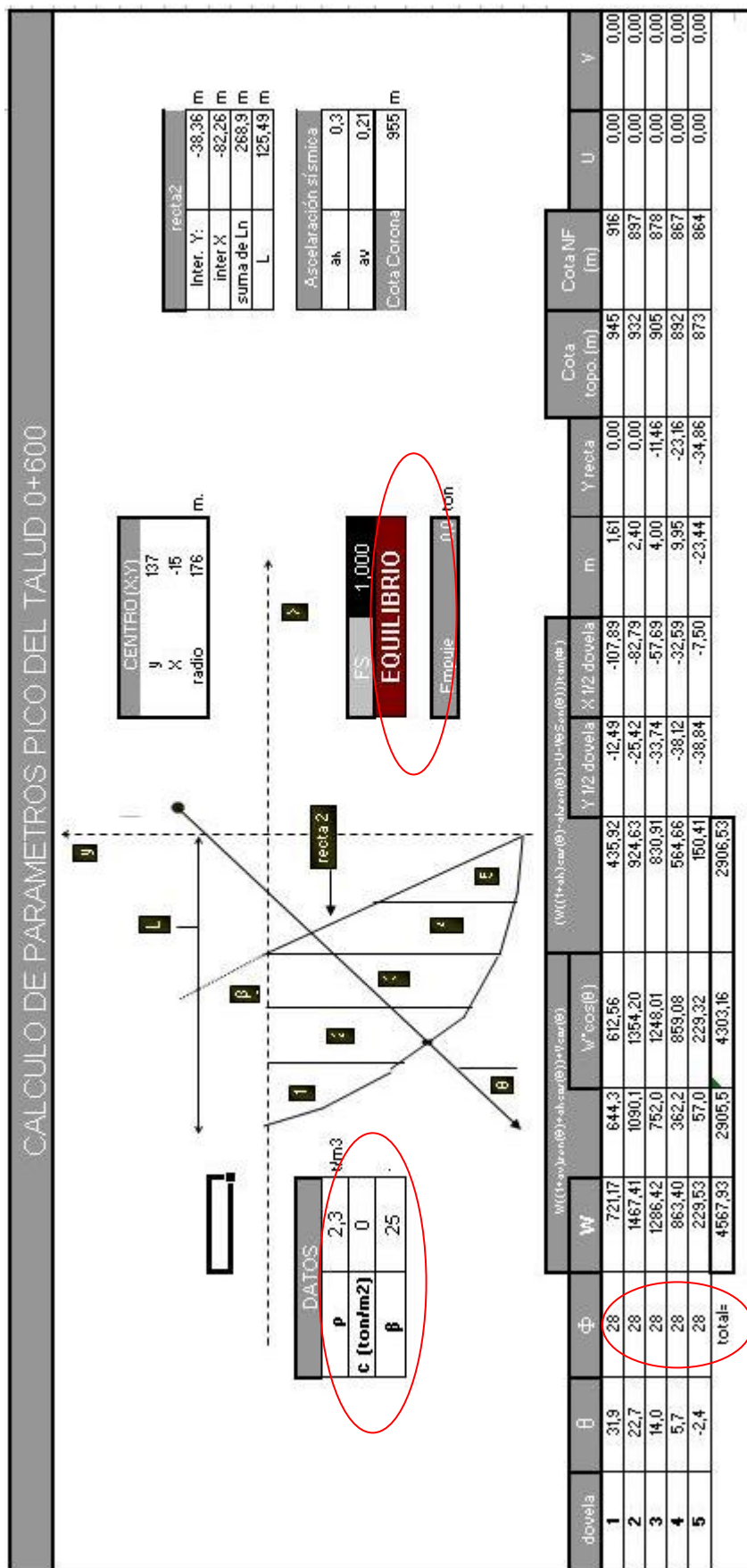
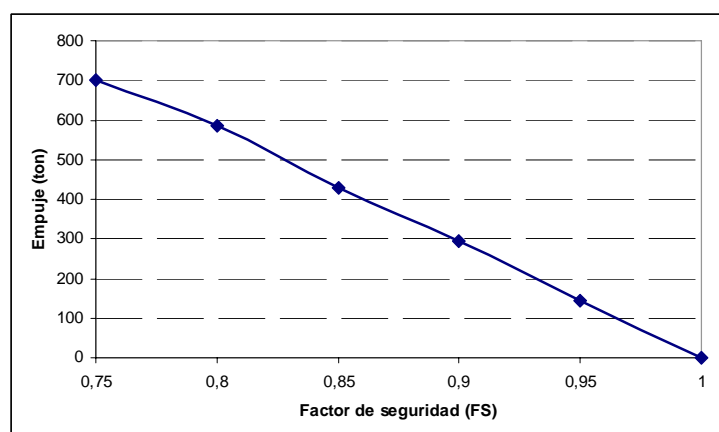


Figura 6.13.-Cálculo determinístico de los valores pico del material de deslizamiento, destacando los valores de ángulo de fricción utilizados para cada dovela

Del retrocálculo se obtuvo que las propiedades pico de ángulo de fricción del material es  $\varphi = 28^\circ$ ; siendo  $c = 0,0 \text{ ton/m}^2$ , porque ya ha habido desplazamiento y se infiere que se ha perdido toda la cohesión en la superficie de deslizamiento. Debido a que el material está representado por el perfil de meteorización del esquisto, así como otros componentes, como el material base de la vía y el coluvial, se ha tomado un valor de peso unitario para todo el cuerpo del deslizamiento de  $\gamma = 2,3 \text{ ton/m}^3$ .

Ya que el deslizamiento posee un movimiento muy lento, se asumió que las fuerzas resistentes representan un valor un poco menor que el de las fuerzas deslizantes. Se calculó el empuje por metro lineal del deslizamiento en función de la variación del factor de seguridad, que a su vez es función del ángulo de fricción, en la figura 6.13 se representan los valores obtenidos del estudio antes planteado.



**Figura 6.14.**- Valores de empujes en función del Factor de seguridad obtenidos con los parámetros representados en la figura 6.12, variando el valor del ángulo de fricción " $\varphi$ "

Se estima que el valor del empuje máximo que puede ofrecer el deslizamiento es de 300 toneladas por metro lineal, tomando que las fuerzas resistentes sean un 90 % menor que las fuerzas deslizantes. Hay que aclarar que este es un cálculo muy burdo realizado con un método muy básico, que solo puede ser tomado como de referencia.

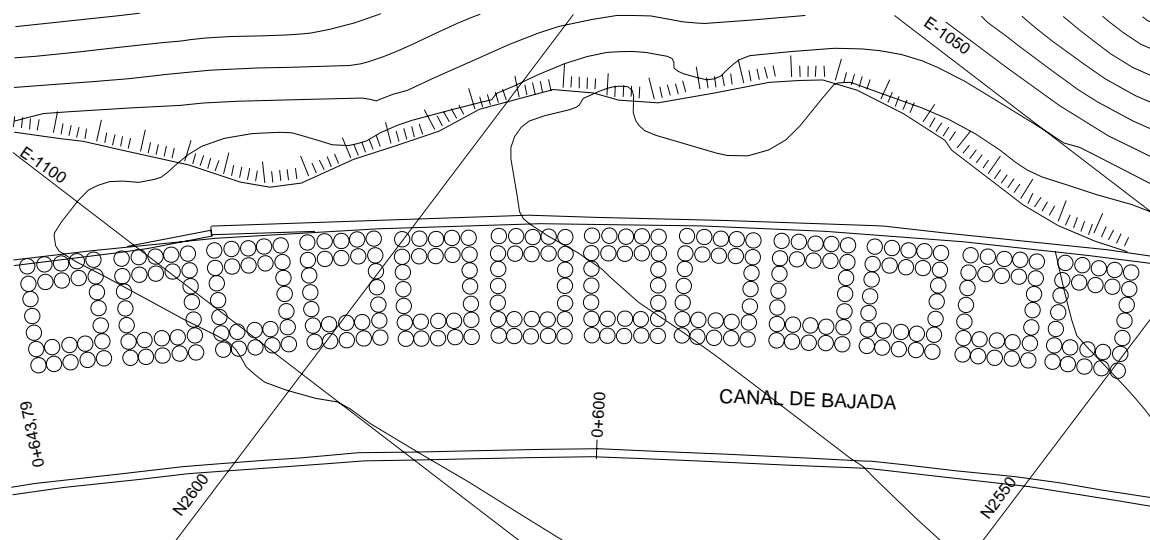
#### 6.2.1.2.- Pantalla de pilotes:

Debido a que la superficie de deslizamiento se encuentra bastante profunda se optó por estabilizar la ladera construyendo una estructura tipo pantalla, compuesta por pilotes lo

suficientemente largos como para estar empotrados más de 5 metros por debajo de la masa inestable.

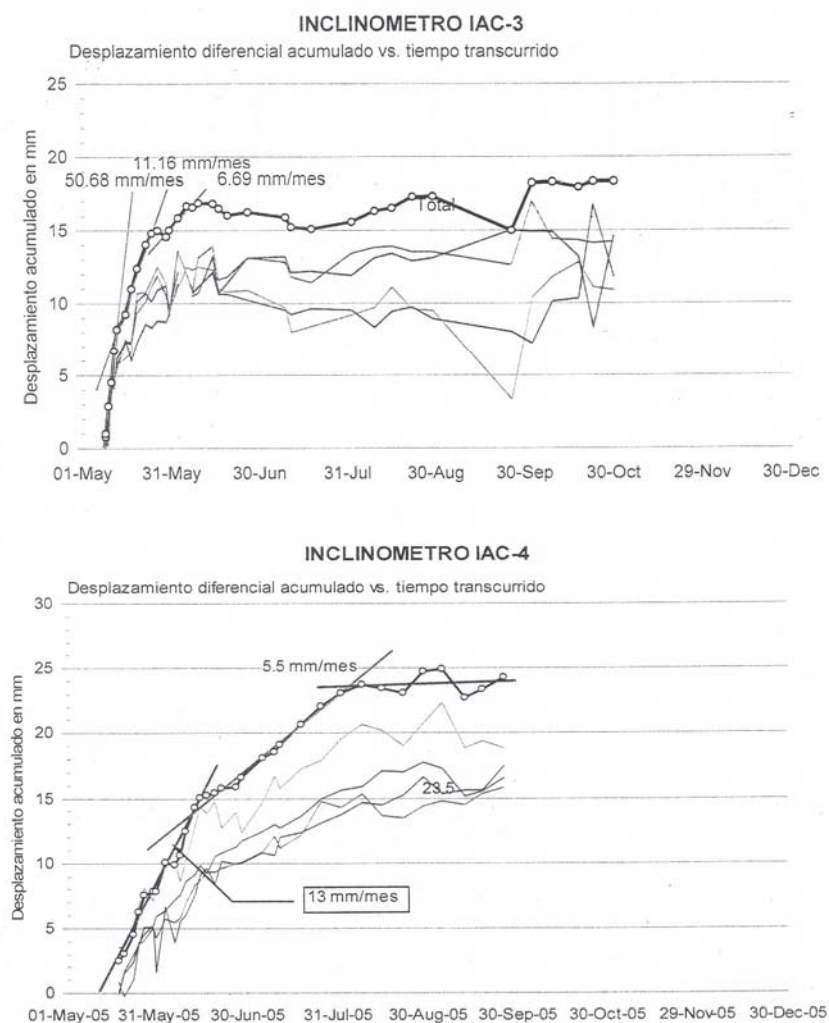
Para el momento de elaboración de este trabajo se estaban construyendo en una primera etapa doce módulos de 26 pilotes cada uno, que representa una pantalla autoestable de pilotes de un metro veinte de diámetro (1,20 m) y con profundidades medias entre 36 y 42 metros, vinculada en la parte de arriba con una viga para sostener el empuje que presenta la masa en movimiento. Los pilotes son tangentes y están dispuestos de forma tal que constituyan unos elementos estructurales que unidos en su parte superior, son capaces de resistir el empuje. (figura 6.15).

En la segunda fase de estos trabajos, está previsto reubicar la isla central de la autopista, donde también serán colocados pilotes internos.



**Figura 6.15.-** Geometría de la primera etapa de la pantalla de pilotes que se están colocando para parar el deslizamiento del kilómetro 0+600

Antes de comenzar a construir la pantalla de pilotes la velocidad de movimiento de la ladera era de 5 cm/mes, considerada como muy lenta. Para la fecha en que se realizaba este trabajo ya se había logrado construir más del 70 % de los 312 pilotes de la primera etapa, y se estaban captando las aguas que infiltraban en el talud superior. Se observó que el movimiento se detuvo en la parte baja del cuerpo del deslizamiento (Cota de la autopista), aunque se sigue moviendo a menor velocidad en cotas superiores, posiblemente por ajustes en la masa producto del cierre de las diaclasas. El inclinómetro IAC-3 se estabilizó en Junio de 2005 mientras el IAC-4 lo hizo en agosto. (figura 6.16).



**Figura 6.16.** - Desplazamiento acumulado en los dos inclinómetros entre el 31/05/05 y el 30/10/05 en ambos inclinómetros instalados

### 6.2.2.-Deslizamiento Km 0+960

Debido a un deslizamiento que afectó el canal de bajada al Litoral en la progresiva 0+960 en Junio de 1984, que provocó grietas de tracción que atravesaban diagonalmente toda la plataforma de la autopista perdiéndose en el cerro Gramoven, así como hundimientos generalizados en el pavimento entre las progresivas 0+760 y 0+900, se requirió la intervención de un talud de 200 metros de altura, y la construcción de obras de estabilización de gran magnitud.





**Figura 6.17.-**

Izquierda.- Imagen tomada desde un helicóptero por D. SALCEDO en 1985, se observa un deslizamiento en la parte superior en la progresiva 0+930, una zona de socavación profunda la ladera inferior y la ruptura de parte del canal de bajada.

Derecha.- Parte de la vía que colapsó por la falla de borde ocurrida en 1984, progresiva 0+860.



**Figura 6.18.-**

Izquierda.- Fotografía aérea de 1978, se observa el replanteo realizado al trazado de la vía, así como las dos pantallas colocadas

Derecha.- Mapa topográfico mostrando el lugar donde se colocaron las dos pantallas

Con el fin de estabilizar la cresta del deslizamiento y asegurar el tránsito por la autopista, se construyó una pantalla atirantada a unos 6 m de altura, con anclajes de 25 m de longitud. Durante los meses subsiguientes, las grietas y todo el proceso de hundimiento acusaron un progreso constante y apreciable a simple vista. Mediciones realizadas por INGEOTEC C.A. con inclinómetros revelaron desplazamientos de las masas de suelo y roca hasta una profundidad de 24 metros por debajo de la plataforma de la vía, confirmando claramente la inestabilidad del talud y el inminente peligro de colapso de la autopista.

Como medida correctiva e inmediata a los problemas que afectaban a este tramo de la vía, INGEOTEC C.A. proyectó una variante, desplazando la plataforma de la autopista hacia el cerro

Gramoven, iniciando su construcción en el año 1986, durante la cual surgieron problemas por la heterogeneidad de las propiedades mecánicas del material del talud que provocaron deslizamientos más superficiales, lo que trajo como consecuencia el reperfilamiento del talud y la puesta en marcha de las obras de contención requeridas, así como los ajustes que fueron necesarios debido a las variaciones erráticas del terreno, detectadas durante la construcción de la obra.

Los parámetros geomecánicos del material en su condición pico fueron determinados por métodos regresivos en dos deslizamientos ocurridos en la roca meteorizada, y los del material de relleno utilizado para construir el terraplén por medio de ensayos de corte directo.

Durante la construcción de la primera pantalla en 1984 se observó un gasto de lechada mayor al estimado para la inyección de los anclajes. Asumiendo que esto se debía a que se estaban rellenando las grietas existentes y mejorando los parámetros geomecánicos de la roca, se consideró utilizar lechada en zonas del talud para mejorar su comportamiento.

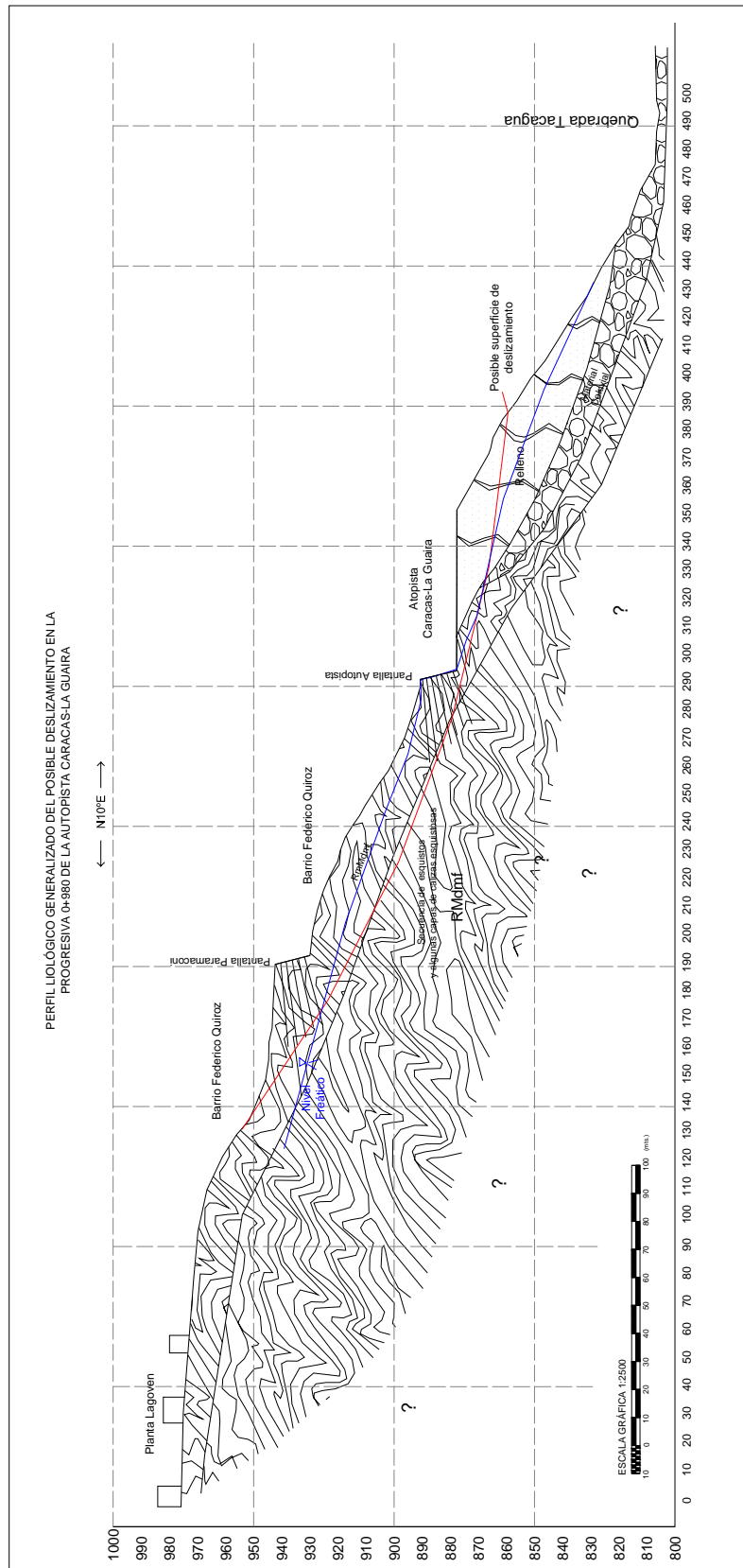
Las obras estuvieron limitadas a un área comprendida entre la calle Paramaconi y la autopista. La solución planteada consistió en el reperfilamiento del talud y la construcción de dos pantallas atirantadas: Una en la parte superior denominada “Pantalla Paramaconi” y otra al pie del talud denominada “Pantalla Autopista”.

Para el estudio de inestabilidad de la ladera en 1984, se tomó en cuenta la posibilidad de algún movimiento global que pudiera pasar por debajo de la autopista, obteniendo que en las peores condiciones el factor de seguridad era mayor a 1.3, considerado como estable.

En los recorridos realizados en la vía para este trabajo se observó que el nivel freático aumentó debido a la obstrucción de los geodrenes colocados en la pantalla autopista; tomando en cuenta que las condiciones iniciales tomadas para el estudio de estabilidad global han cambiado, y que INGEOTEC C.A. ha reportado grietas en el barrio Federico Quiroz se realizó un cálculo del factor de seguridad a deslizamiento global, tomando los valores obtenidos del retrocálculo del deslizamiento 0+600, de composición y geometría similar.



**Figura 6.19.**- Pantalla autopista, se observa la caída de agua por sobre la pantalla



**Figura 6.20-** Perfil litológico generalizado de los deslizamientos de la progresiva 0+860, La línea roja representa el posible plano de deslizamiento estudiado

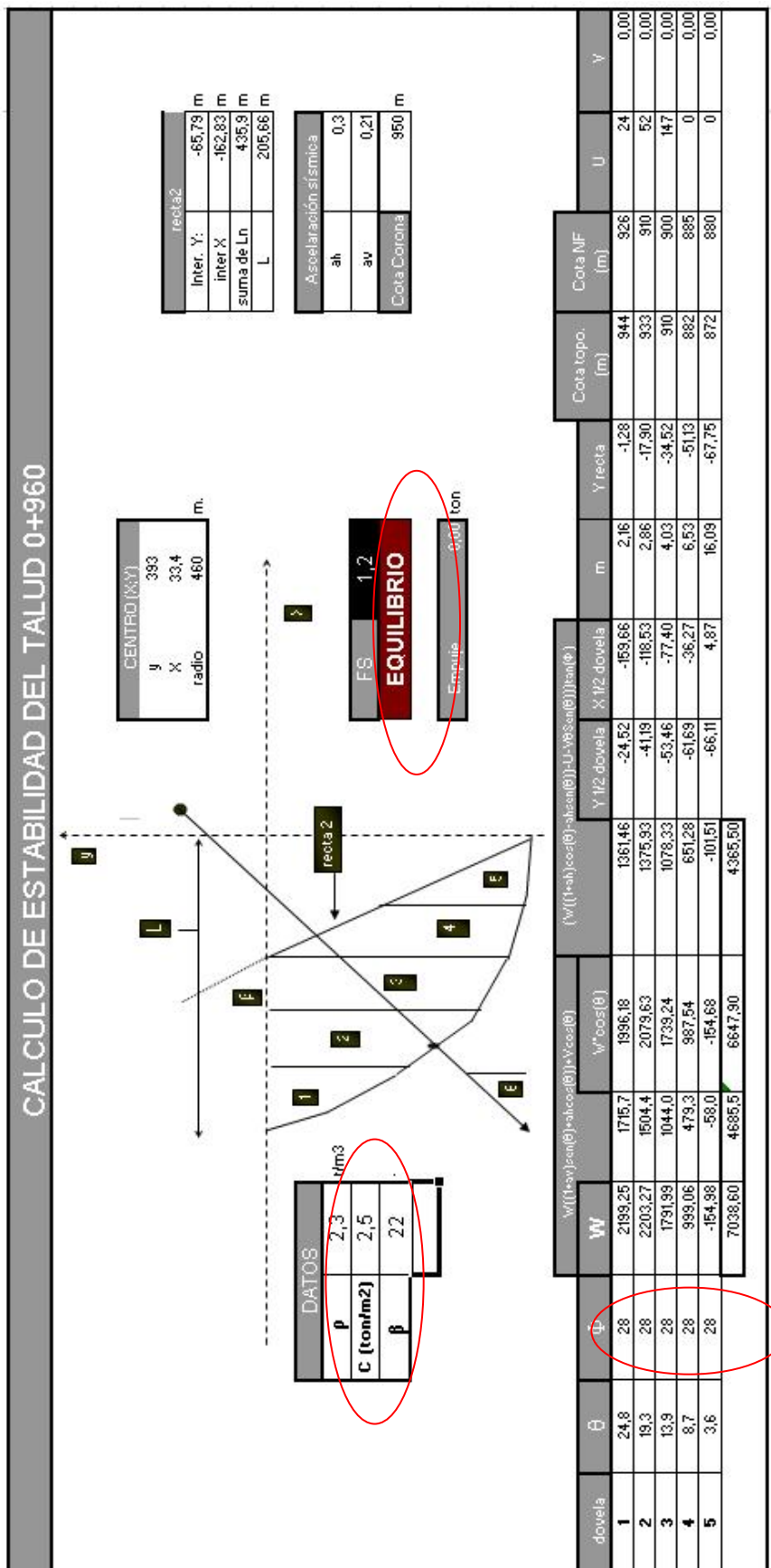


Figura 6.21- Cálculo del factor de seguridad por deslizamiento utilizando parámetros pico del material

Se obtuvo como resultado que en las peores condiciones el talud presenta un factor de seguridad de 1,2, considerado como de equilibrio, aunque seguramente con las verdaderas condiciones intrínsecas del material este valor debe ser mayor a 1,3 considerado como estable.

#### 6.2.3.- Deslizamiento 1+400 (2006)

Este deslizamiento ocurrió los primeros días del año 2006. Se presume que su detonante fueron las lluvias ocurridas por esas fechas; en el lugar se observa que las viviendas que estaban fundadas en la corona de este movimiento quedaron destruidas.

El deslizamiento es bastante superficial ( $< 3\text{m}$ ), y no produjo gran cantidad de material si se compara con otros ocurridos en la zona. Fueron cartografiados en el mapa de procesos de geodinámica superficial (anexo III) y se observa en la figura 6.22.



**Figura 6.22** Deslizamiento reciente ocurrido en la progresiva 1+400

#### 6.2.4.- Deslizamiento 1+700 (1971)

Este deslizamiento, abarcó un área aproximada en planta de 4,0 ha, y pudo ser documentado en la foto de la misión 030491 del año 1971 (figura 6.23), en donde se muestra la forma poliédrica dejada por el material desplazado, así como también se pueden distinguir enormes bloques que quedaron sobre la base del deslizamiento. En fotos posteriores (figura 6.23, 1978) se observa

que el material fue dejado en el sitio permitiendo el crecimiento de vegetación bastante densa. También es evidente el como se asentaron viviendas informales en la corona del deslizamiento.



Figura 6.23.- Fotografías aéreas de los años 1971 y 1978

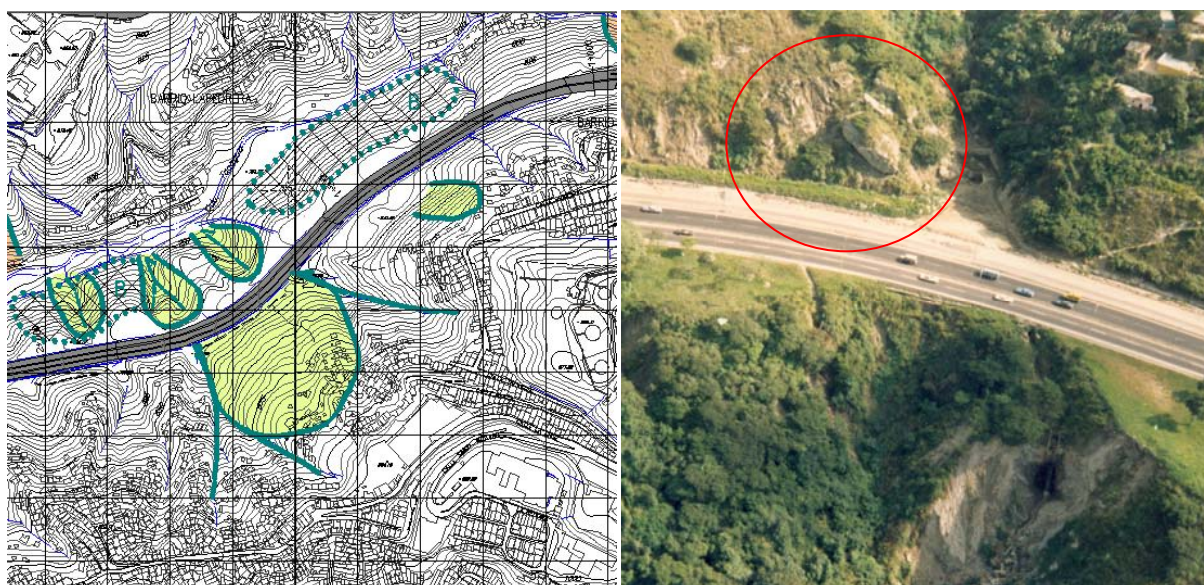


Figura 6.24.-

Izquierda.- Mapa topográfico representando el deslizamiento de 1971

Derecha.- Foto desde helicóptero tomada por D. Salcedo en 1986, se observa el enorme bloque de tamaño mucho mayor que el de los carros

Destaca que los límites de este deslizamiento son dos cauces de quebradas que tienen capacidad de erosión profunda. Estos drenajes son observados en todas las fotos, incluso en las más antiguas (1971). En la tabla 6.2 se muestran las dimensiones aproximadas del deslizamiento.

**Tabla 6.2.-** Dimensiones del deslizamiento.

Parámetro medido	Medida
Ancho de la masa desplazada "Wd"	240 m
Ancho de la superficie de falla "Wr"	240 m
Longitud de la masa deslizada "Ld"	180 m
Longitud de la superficie de falla "Lr"	190 m
Profundidad de la masa desplazada "Dd"	5 m
Profundidad de la superficie de falla "Dr"	5 m
Longitud total "L"	215 m
Longitud de la línea central "Lc1"	215 m

### 6.2.5.- Deslizamiento Barrio 19 de Abril

Este deslizamiento activo ocurre en la progresiva 2+500, con pie en la cota de la autopista (760 m) y corona a 860 m de altura. Es observado en fotografías aéreas recientes y desde la autopista, aunque su mejor vista se encuentra desde la ladera norte del Valle de Tacagua, desde la Carretera Vieja Caracas-La Guaira y en los barrios a mayor altura.



**Figura 6.25.-** Foto tomada desde un helicóptero por D. Salcedo (1986), se observan las facetas en donde se encuentran los deslizamientos de los barrios 19 de Abril y Oropeza Castillo, es evidente el material de bote que se encuentra sobre estos deslizamientos

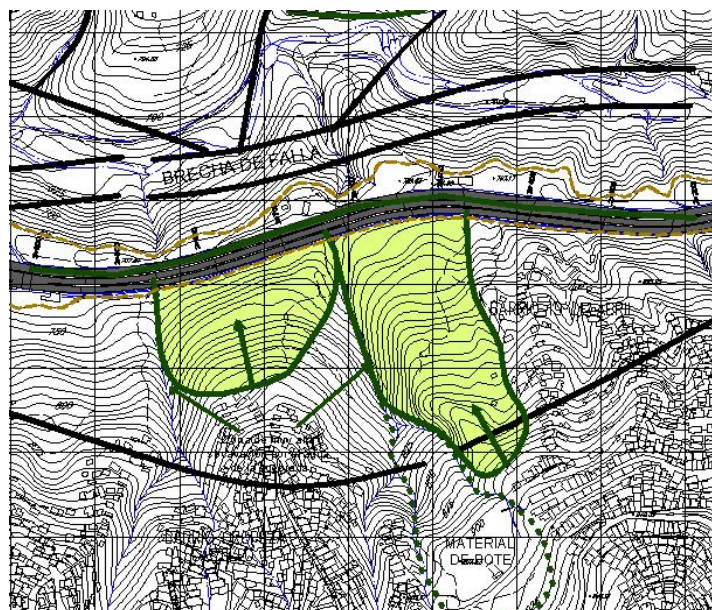




**Figura 6.26.-**  
 Izquierda.- Se observa la topografía escalonada, así como el cambio de color de la vegetación que evidencia dos deslizamientos que ocurren a cotas mayores que la autopista, foto D. SALCEDO (2006)  
 Derecha.- Vista de perfil del deslizamiento del Barrio 19 de Abril, hay evidencias de escalonamiento por deslizamiento del material.



**Figura 6.27.-**  
 Izquierda.- Foto No 75, 240 (año desconocido, anterior a 1978), se observa como el Barrio 19 de Abril estaba poblado hasta casi llegar la autopista  
 Derecha.- Foto aérea de 1978, se observa la morfología de los deslizamientos de los barrios 19 de Abril y Oropeza Castillo



**Figura 6.28.-** Mapa topográfico. Se muestra la geometría de los deslizamientos de los barrios 19 de Abril y Oropeza Castillo, así como una zona de material de bote ubicada más al sur.

Este deslizamiento es producto del desconfinamiento de material producido por el corte realizado para el paso de la autopista, y se pudo haber activado debido a la infiltración de aguas meteóricas y servidas proveniente del barrio. En la figura 6.3 se muestra las medidas aproximadas del deslizamiento.

**Tabla 6.3.-** Dimensiones del deslizamiento.

Parámetro medido	Medida
Ancho de la masa desplazada "Wd"	175 m
Ancho de la superficie de falla "Wr"	170 m
Longitud de la masa desplazada "Ld"	250 m
Longitud de la superficie de falla "Lr"	280 m
Profundidad de la masa desplazada "Dd"	No identificada, se presume cercano a 10 m
Profundidad de la superficie de falla "Dr"	No identificada, se presume cercano a 10 m
Longitud total "L"	310 m
Longitud de la línea central "Lcl"	310 m

#### 6.2.6.- Deslizamiento Barrio Oropeza Castillo

Este deslizamiento colinda con el del Barrio 19 de Abril, y posee características muy similares, aunque de menor magnitud. En la tabla 6.4 se representan sus dimensiones.

**Tabla 6.4.-** Dimensiones del deslizamiento.

Parámetro medido	Medida
Ancho de la masa desplazada “Wd”	200 m
Ancho de la superficie de falla “Wr”	230 m
Longitud de la masa deslizada “Ld”	180m
Longitud de la superficie de falla “Lr”	194 m
Profundidad de la masa desplazada “Dd”	No identificado
Profundidad de la superficie de falla “Dr”	No identificado
Longitud total “L”	210 m
Longitud de la línea central “Lcl”	210 m

En la parte superior de la quebrada que pasa entre los Barrios 19 de Abril y Oropeza Castillo existe un bote muy grande de material, socavado en el comienzo de la quebrada, que representa una zona de mucha inestabilidad y posible detonante para un deslizamiento de grandes magnitudes.

#### 6.2.7.- Deslizamientos 3+000

En la fotointerpretación fueron observados dos deslizamientos ocurridos en los años 1974 y 1981, el primero, de mayor proporción llegó a levantar y tapar parte de la vía de subida a Caracas, el material deslizado fue botado en la ladera este de la Quebrada Mulatal. El segundo deslizamiento ocurrido se llevo las viviendas que ya se habían asentado.



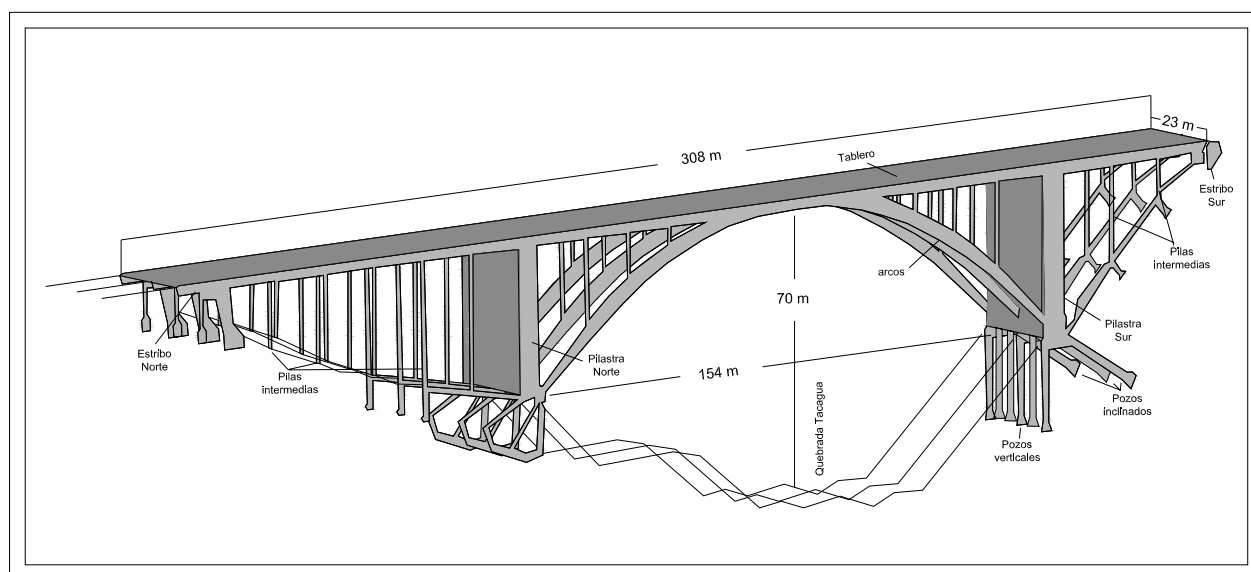
**Figura 6.29.-**

Izquierda.- foto de 1981 donde se observa el deslizamiento posterior ocurrido en el km 3+000

Derecha.- Fotografía aérea del año 1974, se observa que parte del material desplazado de la progresiva 3+000 fue depositado al oeste en la quebrada Mulatal.

#### 6.2.8.- Deslizamiento Pila Sur Viaducto No. 1

Para entender el serio problema que afecta hasta la fecha el viaducto No 1 y produjo la definitiva paralización del tránsito por sobre el, es necesario conocer las dimensiones y el funcionamiento de esta estructura, con 308 m de largo, un ancho de 23 m, 154 m entre los extremos de sus tres arcos biarticulados, y una altura de 70 m hasta la quebrada Tacagua. El lado Sur del mismo está constituido por un estribo en forma de cajón hueco con cuatro contrafuertes, dos pilas intermedias, y una pilastra hueca de 41.8 m de alto, donde se apoyan los arcos. El estribo y las dos pilas están fundados directamente, mientras que la pilastra sur está fundada sobre tres posos inclinados  $30^\circ$  con la horizontal, los cuales fueron excavados a mano en forma de galerías de 2,3 x 2,3 metros de sección y una profundidad de 29 m, de manera de penetrar 3m dentro de la roca competente. Adicionalmente, la pilastra descansa sobre ocho pozos de concreto verticales de 1,93 m de diámetro, que fueron excavados a mano hasta 18 m. estos pozos verticales toman actualmente muy poca carga, y su función principal fue cumplida durante la etapa constructiva, (tomado de la página web [www.viaducto1.org](http://www.viaducto1.org)).



**Figura 6.30.-** Dibujo esquemático del Viaducto No. 1, dibujado por Villegas (2006)



**Figura 6.31.-**  
Izquierda.- Vista desde la base de la Pilastra Sur hacia el valle de Tacagua, destaca lo imponente que es la estructura  
Derecha.- Imagen desde el helicóptero de Traffic Center, cortesía del circuito FM Center.

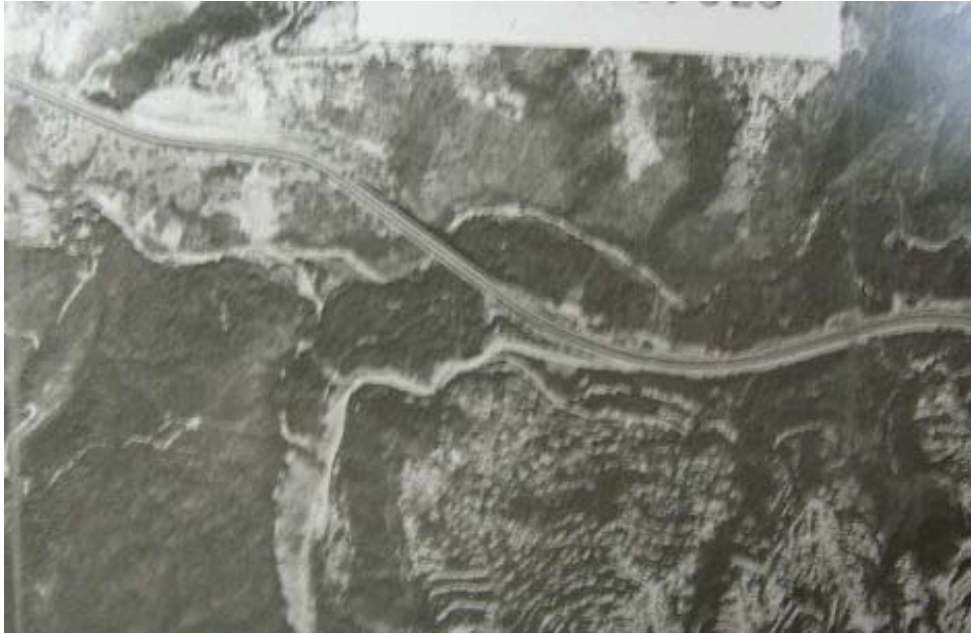
Contrario a lo que planteó GABRIEL DENGÓ (1947), quien en su informe geológico sobre el proyecto de la Autopista Caracas-La Guaira, indicó que el sitio donde se fundó el estribo y pilastra sur del viaducto No 1 no presenta mayores problemas, y no encontró indicios de cizallamiento, existe un movimiento de masas que ocurre en el Barrio Nueva Esparta y está ocasionando el deslizamiento del estribo Sur del Viaducto No 1. Este ha sido reportado desde el año 1987 por INGEOTEC C.A., cuando junto al estribo Caracas se formó una protuberancia de asfalto que sugirió la existencia del desplazamiento, por lo cual se realizó una investigación geotécnica completa, que incluyó fotogeología, geología de superficie, perforaciones, instalación de inclinómetros y piezómetros, así como la colocación de puntos de control topográfico. Para este año ya se habían reportado daños importantes en la estructura del Viaducto.



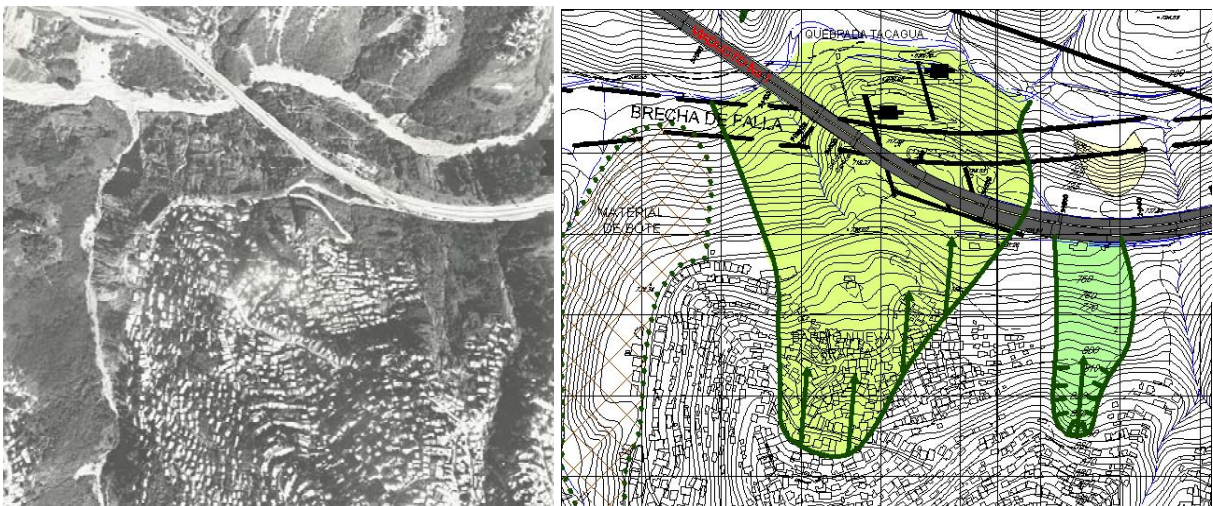
**Figura 6.32.-**Fotografía de 1936, se observa el extraño meandro de la Quebrada Tacagua, así como un cambio de tonalidad y algunos escalones en la topografía.



**Figura 6.33.-** Fotografía de 1954, cuando la autopista estaba recién inaugurada



**Figura 6.34.-** Foto de 1971, ya se observa el asentamiento desmedido de viviendas informales en la ladera sur.



**Figura 6.35.-**  
 Izquierda.- Foto aérea de 1978.- donde se muestra la fisiografía escalonada del Barrio Nueva Esparta, así como el extraño meandro de la quebrada Tacagua  
 Derecha.- Mapa topográfico que muestra las dimensiones del deslizamiento que ocurre en el Barrio Nueva esparta.

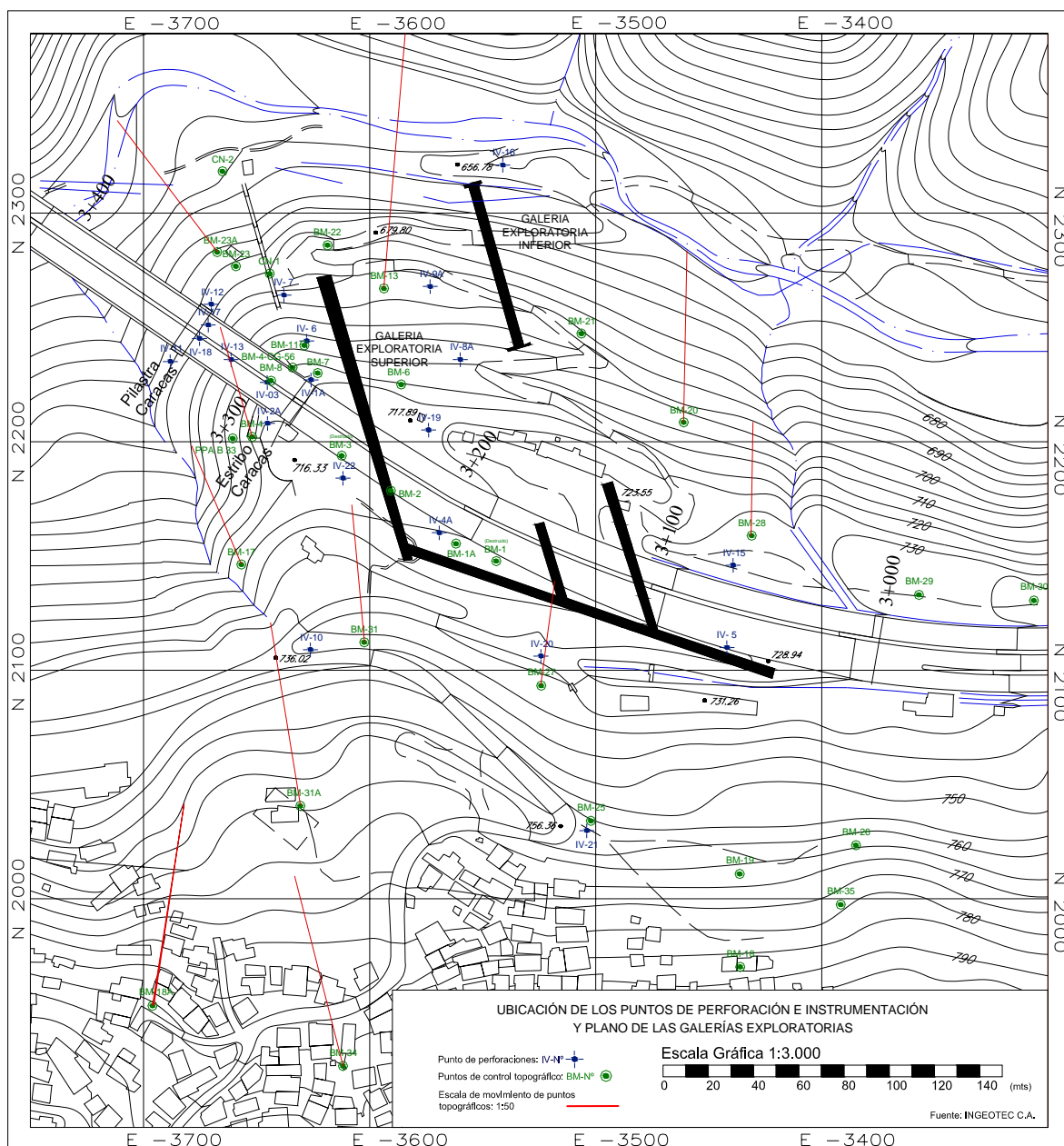


Figura 6.36.- Mapa de ubicación de las perforaciones e instalación de la instrumentación y plano de las galerías exploratorias.

Las observaciones de campo realizadas por INGEOTEC C.A., en el cauce de la quebrada en el km. 2+940 y en otras áreas, confirmaron el desplazamiento de las rocas duras, a lo largo de los planos de foliación, los cuales tienen buzamiento en mismo sentido de la pendiente de los taludes y con ángulo menor, con indicios de cizallamiento en dichas superficies. En el levantamiento de geología de superficie se detectó una superficie de deslizamiento antiguo que aflora al pie de la ladera sur inferior, a una cota de 670 m aproximadamente, unos 20 metros por encima del cauce de la Quebrada Tacagua. El material en la superficie de deslizamiento está constituido por una arcilla arenosa con textura brechoide, estrías y superficies pulidas y fragmentos de rocas metamórficas. Este material tenía un contenido de humedad mayor al de



los suelos coluviales que lo circundan, observándose un goteo de agua muy limitado en ciertas zonas, SALCEDO & ORTAS (1992).

El análisis de fotografías aéreas desde 1936 a 1981 permitió conocer la historia de procesos que habían afectado la zona. Los resultados de la evaluación fotogeológica, pudieron resumirse como sigue:

- La ladera Sur donde fue fundado el Viaducto tiene una morfología con claros indicios de un paleodeslizamiento. En la foto aérea de 1936, se pueden observar escarpas de, topografía escalonada, diferente tonalidad del área del problema comparada con el área alrededor, y un curioso cambio de pendiente.
- Un indicio fisiográfico de interés es la presencia de un meandro no justificable en la quebrada Tacagua. La morfología resultante ha sido considerada como una evidencia del movimiento de la ladera, originando un cambio brusco del curso de dicha quebrada.
- Entre los años 1970 y 1971, la ladera fue invadida por viviendas informales, las cuales carecen en muchos casos de sistemas de disposición de aguas negras, que se infiltran y contribuyen a la meteorización de la masa rocosa.
- En 1974, un deslizamiento afectó la ladera Sur, y destruyó numerosas viviendas. Asimismo, para esa época se observó un levantamiento de la isla central de la Autopista. La masa deslizada fue removida y colocada en la margen derecha de la quebrada Mulatal. En fotografías de 1976 también se identificaron nuevas escarpas de movimiento.
- En el año 1981 ocurrió otro deslizamiento en la ladera superior, de unos 130 m de ancho y de 300 m de longitud. Este deslizamiento está ubicado a unos 250 m al Sur del Viaducto, pero está dentro de la gran masa considerada inestable.

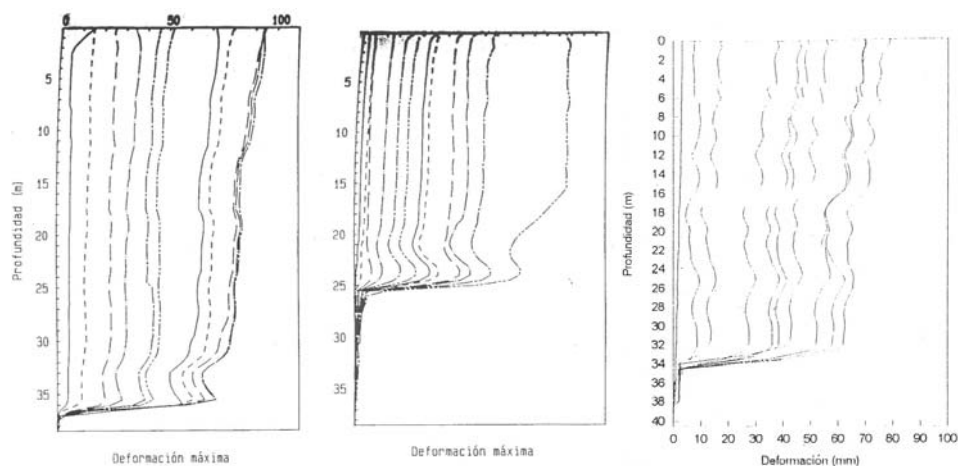


**Figura 6.37.-** Límite este del deslizamiento actual en progresiva 3+020 se observa el hundimiento de la capa asfáltica a lo largo de la vía.

#### 6.2.8.1.-Exploración del Subsuelo e Instrumentación Superficial y Profunda:

Para la fecha INGEOTEC C.A. ha realizado más de 30 perforaciones entre 40 y 50 m, donde se han instalado un gran número de inclinómetros y piezómetros (más de 15). De las perforaciones se observó que el perfil está compuesto por un material coluvial que cubre la masa rocosa del sitio. En general los núcleos obtenidos de las perforaciones mostraron evidencia de varias etapas de tectonismo, y subyacente al coluvio se evidencia alto fracturamiento y material arcilloso de textura brechoide. La definición de las características de este intervalo se consideró de extrema importancia para tratar de explicar el mecanismo del deslizamiento.

Los inclinómetros colocados en la ladera Sur, revelaron la existencia de dos superficies de cizallamiento. La más superficial coincidió en alineamiento a 25 metros de profundidad por debajo de la cota rasante del Viaducto, con la traza de la superficie del deslizamiento antiguo encontrada en la ladera inferior. La orientación de las estrías medida en dicha traza, coincidió con la del vector de desplazamiento determinado en los inclinómetros.



**Figura 6.41.-** Desplazamiento de los inclinómetros IV-2A, IV-4 y IV-3 colocados en el canal de bajada al litoral. Medidas realizadas entre el 23/12/87 a 20/08/91 y 16/06/87 a 15/10/88 respectivamente. no se obtuvo la fecha de medición del IV-3

Durante la instalación y posteriores mediciones con inclinómetros, no se detectó nivel freático ni flujo de agua a estas profundidades. Naturalmente la presencia de coluvio y roca muy fracturada dificulta la retención de agua en esta masa rocosa.

Para controlar el movimiento en la superficie se instalaron tres puntos de referencia en la ladera opuesta, considerada estable, así como también en sectores al Norte y Sur del Viaducto en zonas no afectadas por el movimiento, para medir el movimiento de la ladera sur por medio de puntos de control (BM) sobre la superficie determinando su desplazamiento horizontal y vertical que coincidió con la dirección del movimiento del vector desplazamiento de los inclinómetros y con la dirección de deslizamiento de las estrías de la superficie antigua que aflora en la ladera inferior. Se instalaron puntos en el tablero de la estructura, que son sujetos a nivelaciones periódicas de alta precisión, de manera de estimar las deformaciones del tablero por empuje de la ladera. Se instalaron puntos de control en las pilastras Caracas la Guaira, en su tope y en su base, con el fin de medir su desplazamiento y determinar el cierre de la cuerda del arco, puntos de control en ambos estribos para determinar sus movimientos horizontales y verticales puntos de control en el tablero y en la base de las pilastras para determinar rotaciones de estos elementos.

El levantamiento de la clave del arco del Viaducto No. 1 ha sido medido desde 1987 hasta la actualidad logrando construir una curva deformación vs tiempo, que supone un rápido aceleramiento de la velocidad de deformación para los próximos años. En la figura 6.38 se muestra la gráfica publicada por el diario El Universal, en diciembre de 2005

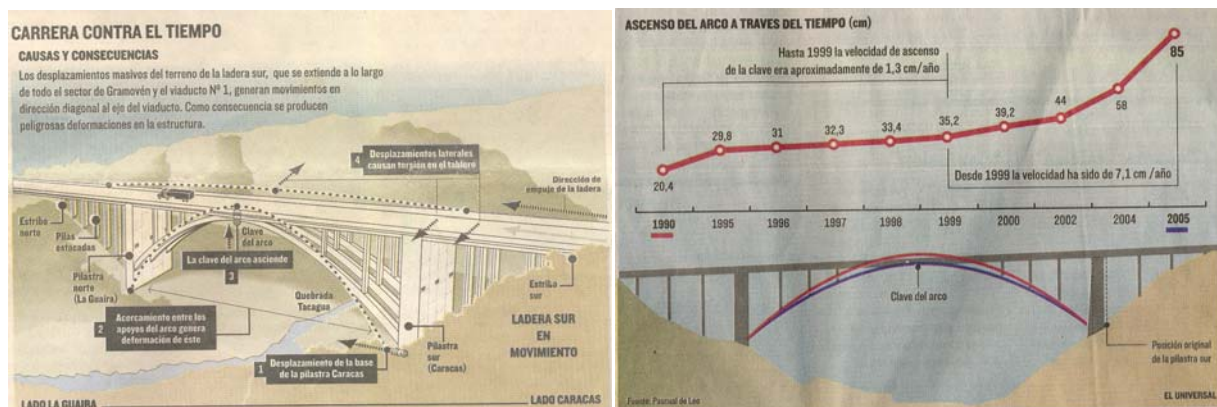


Figura 6.42.- Diarío EL UNIVERSAL, portada del cuerpo 4, Jueves 08 diciembre de 2005

Se construyó una curva de tendencia exponencial con los datos de los puntos de control topográfico colocados en la estructura. Si se extrapola la curva hacia el pasado se podrá apreciar que el comienzo de la deformación se encuentra cercano a 1967, fecha en la que ocurrió el Terremoto de Caracas.

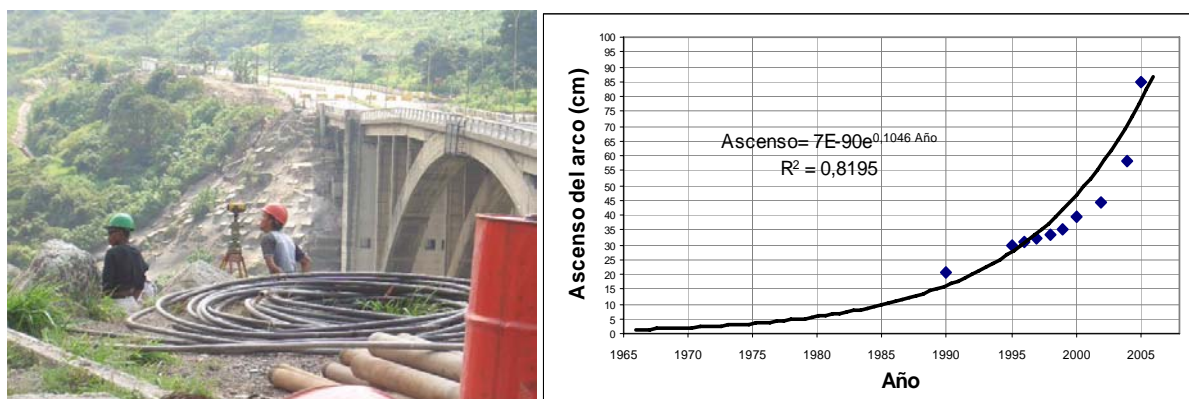


Figura 6.43.

**Derecha**- Punto de control topográfico para la construcción de la vía de contingencia al fondo se observa el levantamiento de la clave del arco de la estructura del Viaducto No. 1 para (Enero de 2006)

**Izquierda** Línea de tendencia exponencial que muestra que el comienzo del levantamiento del arco de la estructura ocurrió cerca de 1967

### 6.2.8.2.-Galerías Exploratorias:

Como parte de los trabajos exploratorios se decidió diseñar y construir galerías exploratorias con ramales que serían decididos en función de las características que se fuesen encontrando durante la excavación de las mismas obteniendo los siguientes resultados:

- El hallazgo de una brecha de falla geológica de unos 50 metros de ancho, medidos en sentido del rumbo de la galería denominada transversal, la cual se realizó paralela al vector de desplazamiento del deslizamiento. Dentro de la galería exploratoria fue posible interpretar al menos tres periodos de tectonismo, el primero caracterizado por estrías petrificadas, probablemente contemporáneo con la edad de la falla, y el último de estos caracterizado por presencia de arcillas pulidas con estrías de apariencia reciente, a nuestro juicio atribuible a eventos geotectónicos. Cabe destacar que algunas estrías se orientaron paralelas a la ladera en planos que inclusive se inclinaban en sentido contrario al movimiento, revelando claramente que se tratan de movimientos de origen tectónicos. Las estrías son atribuibles al movimiento rumbo-deslizante de la falla. En la masa rocosa que constituye el labio inferior de la falla, se observaron entre los intervalos de calizas marmóreas duras, intervalos de esquistos con textura brechoide, luciendo como auténticas brechas paralelas a la foliación.
- No se encontraron flujos de agua dentro de la galería que sugieran este factor como causa activante del deslizamiento. Algunos goteos detectados en el material coluvial, revelaron un contenido anormal de sales y valores de ph muy altos (10.9). Este tipo de aguas ha sido identificada por RODRIGUEZ *et al* (1984), como aguas fósiles entrampadas, se han encontrado bacterias o partículas fecales que puedan sugerir su proveniencia de las viviendas ubicadas en la ladera superior. En la galería inferior a cota 657, se han encontrado afloramientos de agua en su piso, estimándose que corresponden al nivel freático. Este nivel se encuentra muy por debajo de la superficie de deslizamiento más profunda detectada por los inclinómetro.
- Dentro de las Galerías exploratorias se instalaron 11 extensómetros, tres de ellos en forma horizontal en el piso de las mismas. Dos extensómetros adicionales se colocaron, uno en la ladera superior y otro en la inferior. Asimismo, la instrumentación dentro de las galerías se complementó con ocho secciones para mediciones de convergencia. En la figura 6.43, se muestra la galería mientras se excavaba y sus condiciones para agosto de 2005.



**Figura 6.44.-**

Izquierda.- Frente de excavación de las galerías exploratorias. Se aprecia la geometría original de las galerías.

Derecha.- Vista de los primeros metros de las galerías exploratorias en Agosto de 2005, se notan costillas cizalladas y rotas hasta los primeros cuarenta metros, coincidiendo con la profundidad del coluvio. Estas galerías colapsaron con los deslizamientos de los primeros días de 2006

El deslizamiento que afecta el Viaducto No 1, es el más reciente de los dos detectados, estando a 25 metros por debajo de la cota rasante del estribo Caracas en calizas metamórficas duras y muy fracturadas; observadas en las perforaciones donde se instalaron los inclinómetros y en inspecciones detalladas de campo que confirman la existencia al pié de la ladera inferior, de una superficie de deslizamiento antiguo, en la que aflora el material coluvial. Se cuantificó el área en horizontal que abarca el movimiento de masas es aproximadamente de 130.000 m<sup>2</sup>. La superficie de deslizamiento es plana y está controlada por la litología con orientación de la foliación N50°-55°E 20-40°N, que genera un plano escalonado de deslizamiento con buzamiento de 22° al norte y que intercepta al Viaducto en un ángulo cercano a 45° produciendo su convergencia en un proceso de flexo-compresión. Las diaclasas se presentan en dos direcciones importantes pseudos-ortogonales entre sí, haciendo que el macizo se comporte como una gran masa de infinitos bloques aislados que muestran un diferencial de movimiento que en sumatoria forma toda la ladera deslizando como si fuera una especie de suelo. El peso aproximado en las peores condiciones es de 20.000 toneladas por metro lineal, compuesto de material de relleno y bote sobre el coluvio representado por los bloques de roca diaclasada, y/o brechada. Ver tabla 6.5, que representa las dimensiones del deslizamiento y figura 6.45, perfil litológico generalizado.

**Tabla 6.5.-** Dimensiones del deslizamiento.

Parámetro medido	Medida
Ancho de la masa desplazada “Wd”	330 m
Ancho de la superficie de falla “Wr”	340 m
Longitud de la masa deslizada “Ld”	460 m
Longitud de la superficie de falla “Lr”	450 m
Profundidad de la masa desplazada “Dd”	25 – 30 m
Profundidad de la superficie de falla “Dr”	25 – 30 m
Longitud total “L”	500 m
Longitud de la línea central “Lcl”	490 m

Debido a lo complejo del movimiento, la gran magnitud que este presenta, la heterogeneidad de su composición, no fue posible estimar un valor del empuje que este ofrece a la estructura del Viaducto No.1, esto se podría modelar con métodos avanzados de cálculos de movimientos de masas, que contemplan el uso de muchas variables que son despreciadas con métodos convencionales.

Si se realiza un retrocálculo para obtener el valor pico del ángulo de fricción del material de la superficie de deslizamiento, se obtendría que este valor estaría muy cercano a la pendiente de esta superficie ( $\phi = \pm 23^\circ$ ).

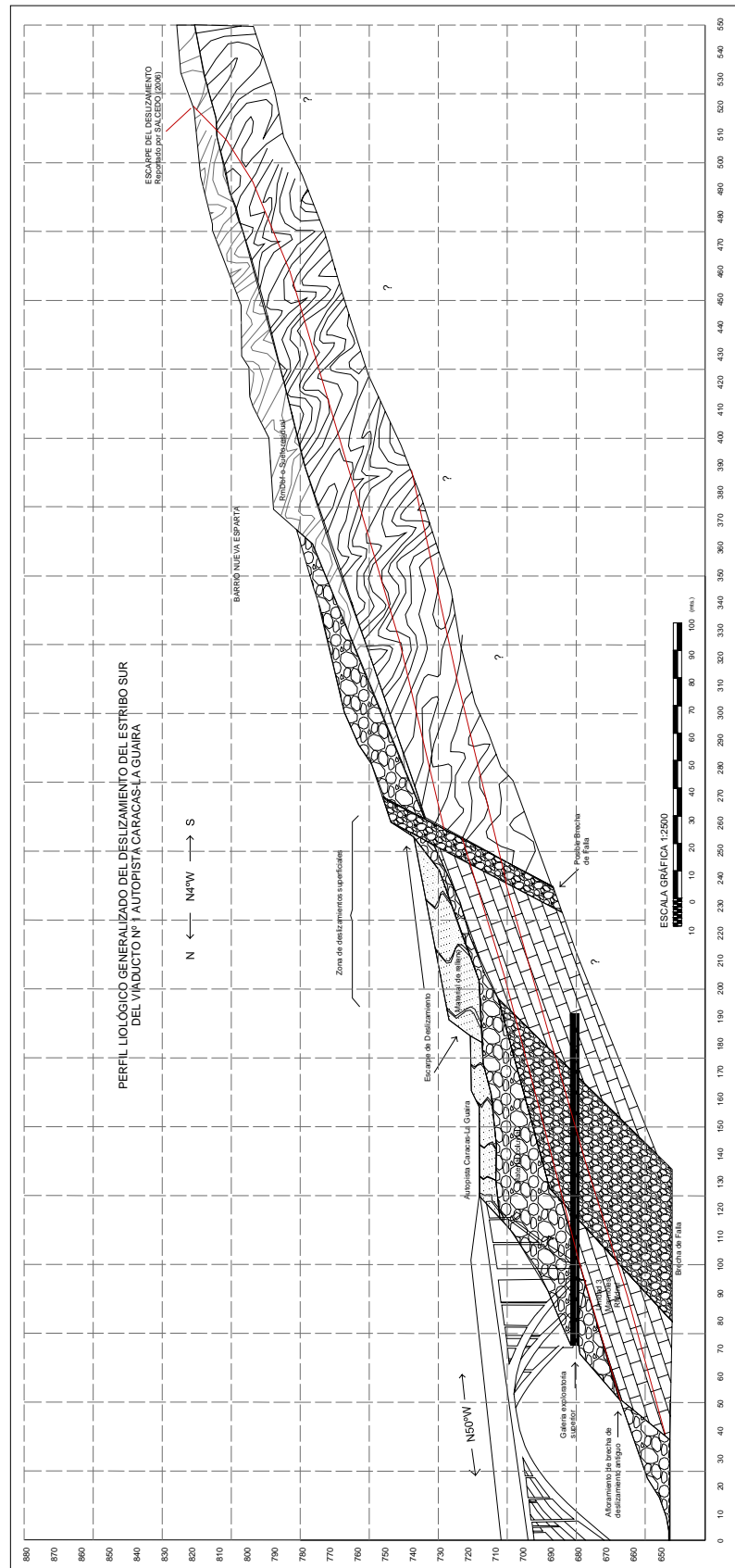


Figura 6.45.- Perfil litológico generalizado del deslizamiento del Barrio Nueva esparta, tomado de INGEOTEC C.A. y modificado por VILLEGAS (2006)



## 6.2.8.2.-Obras realizadas

En el año 1987 se instalaron 245 anclajes pasivos, constituidos por barras de acero de 1 3/8" de diámetro, inyectadas en toda su longitud. Estas barras se inclinaron 55° con la vertical, de manera de atravesar la superficie de cizallamiento, resultando longitudes entre 30 y 36 m. Este trabajo fue inicialmente realizado en un área de 25 m x 70 m, cubriendo una zona entre el estribo Caracas y la segunda pila articulada. Posteriormente se continuó con el tratamiento hasta la zona de la pilastra Sur del arco. Adicionalmente se constituyeron 20 anclajes activos de guayas de 60 m de longitud tensados entre 40 y 60 toneladas. Los anclajes activos se inclinaron 30° con la horizontal; nueve de ellos se colocaron en dirección paralela al eje del puente y el resto se orientaron paralelos y opuestos al vector de desplazamiento de la ladera, el cual forma entre 30° y 50° con el eje del viaducto. Dado que el viaducto está ubicado próximo al límite sur del deslizamiento, la instalación de los anclajes mencionados cerca de la estructura estaba orientada no a detener completamente el deslizamiento, sino a reforzar esa zona, con la esperanza que el vector desplazamiento cambiara su orientación, fracturando en cierta manera la masa en movimiento al encontrarse con una zona de mayor resistencia.

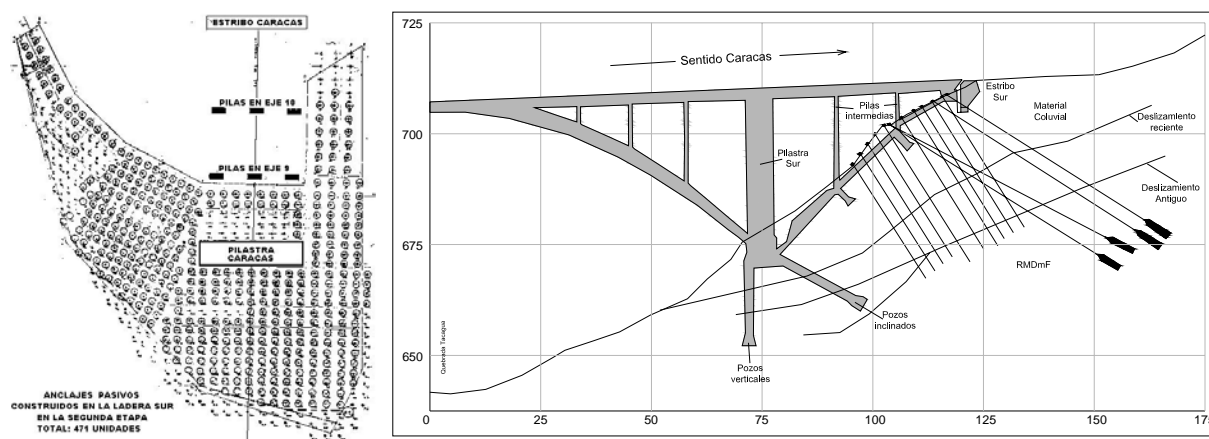


Figura 6.46.-

Izquierda, representación de la ubicación de los anclajes instalados. Tomado de la página web [www.viaducto1.org](http://www.viaducto1.org)

Derecha.- representación de la posición y profundidad de los anclajes dentro del perfil litológico.

Mediante un modelo en computador la empresa JEAN MULLER INTERNACIONAL (1987) reveló que en el arco del Viaducto se reportaba un perfil de deformación asimétrica con respecto al centro, inclusive con un punto de inflexión. Por lo que se procedió a la liberación de las juntas, que permitieron una redistribución del patrón de esfuerzos en la estructura, así el perfil de deformación pasó a ser perfectamente simétrico con respecto al centro del arco. En el momento

de la liberación de las juntas, todas las personas sobre el viaducto, pudieron sentir el movimiento del tablero, cambiando su deformación asimétrica a una simétrica con su máximo desplazamiento vertical en el centro del arco

Una vez terminadas la liberación de las juntas, se procedió a instalar tres pares de puntos de control localizados a cada lado de las juntas en cada estribo, los cuales se miden periódicamente para el seguimiento del cierre de las mismas.

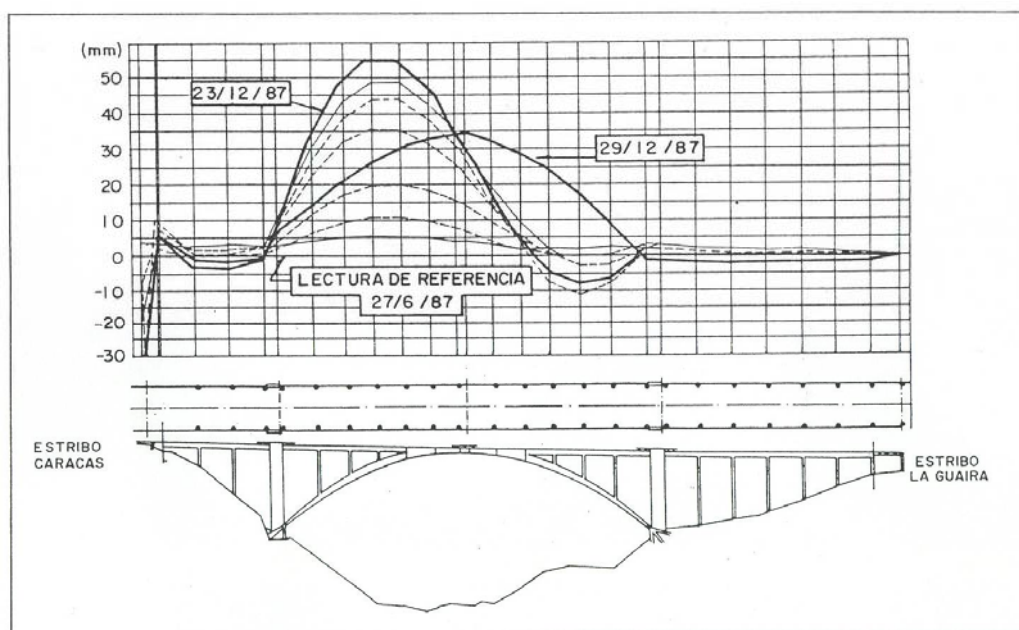
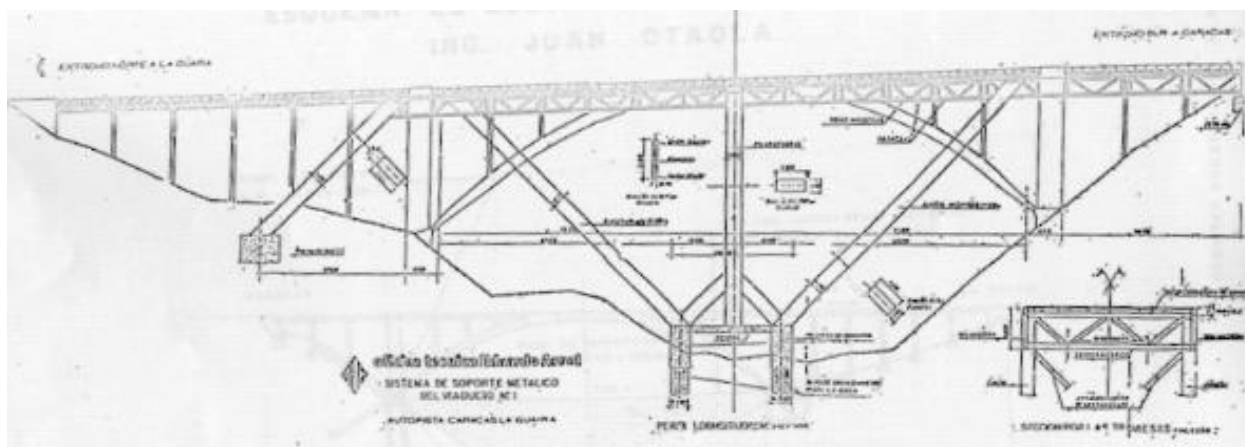


Figura 6.47.-Simetría del perfil de deformación mostrado por el arco antes y después de haber soltado las juntas

Otros trabajos de emergencia incluyeron la reparación de alcantarillas cercanas y la construcción de canales de recolección de aguas negras que escurrían en forma irregular por la ladera, llegando algunas de ellas a la zona del Viaducto.

#### 6.2.8.3.- Algunas de las soluciones propuestas (Fuente: página web [www.viaducto1.org](http://www.viaducto1.org))

Refuerzo metálico de la estructura propuesto por el ING. EDUARDO ARNAL, consistente en dotar un nuevo apoyo ubicado verticalmente bajo la clave del arco, para “soportar la calzada del Viaducto con una estructura independiente, isostática, que no este afectada por el deslizamiento del macizo al sur del puente”. (1988)



**Figura 6.48.-** Solución propuesta por el ING. ARNAL (1988)

El ING. KILIAN DE FRIES (1990) propuso rellenar integralmente el valle de Tacagua paralelamente a los tres o cuatro primeros kilómetros de la Autopista. El material de relleno sería procedente del terracedo del Cerro Gramoven, e inclusive se planteó la utilización de cintas transportadoras para la tierra excavada, para no interrumpir el paso de la Autopista. La concepción de este megaproyecto, por un lado eliminaría totalmente el recurrente problema de inestabilidad de la vía en todo el sector mencionado, incluyendo el paso sustitutivo al Viaducto, y por otra parte, crearía inmensas áreas de desarrollo urbanístico que realzarían integralmente la entrada a Caracas.

Proyectos Estructurales Ing. HENRY PARIS plantea un terraplén como vía alterna de paso, hecho con la técnica de "Tierra Armada" (2000)

VINCCLER – TRANSPLAN, proponen soluciones de terraplén como vía alterna. (2000)

Estabilización de la ladera Sur ideada por OFIEDE, C.A., con una red de túneles que actuarían como macro armaduras bajo el concepto de "tierra armada". (2000)

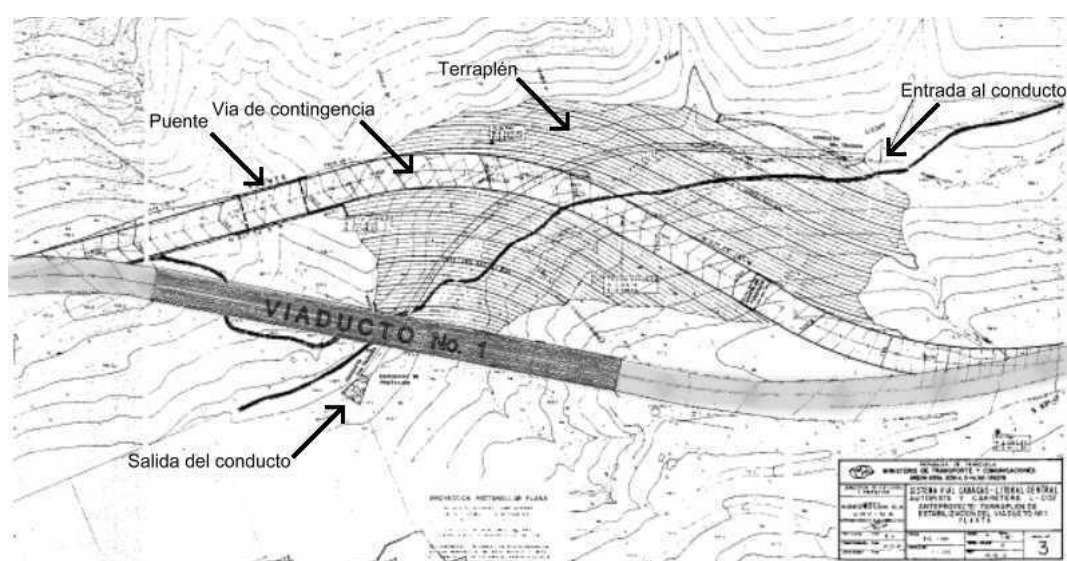
Otra solución ideada por OFIEDE, C.A., para aliviar el empuje sobre el Estribo Caracas con la construcción de una gran columna hueca triangular ("caisson") (2000)

INSITUTEK propuso reparar el Viaducto basado en la sustitución de los apoyos con dispositivos especiales que actúan como aisladores, amortiguadores y uniones deslizantes.(2000)

R & G INTERNATIONAL plantean un refuerzo estructural, independizando la estructura de la masa del terreno que se está desplazando. Mediante "patines" en las bases, desvinculando éstas de los Pilotes cortándolos bajo el cabezal y haciendo una mesa de transferencia que apoya sobre nuevos pilotes y sobre la cual van los "patines". Incorporan Tirantes Anclados en la Pilastra La Guaira.(1988, 2000)

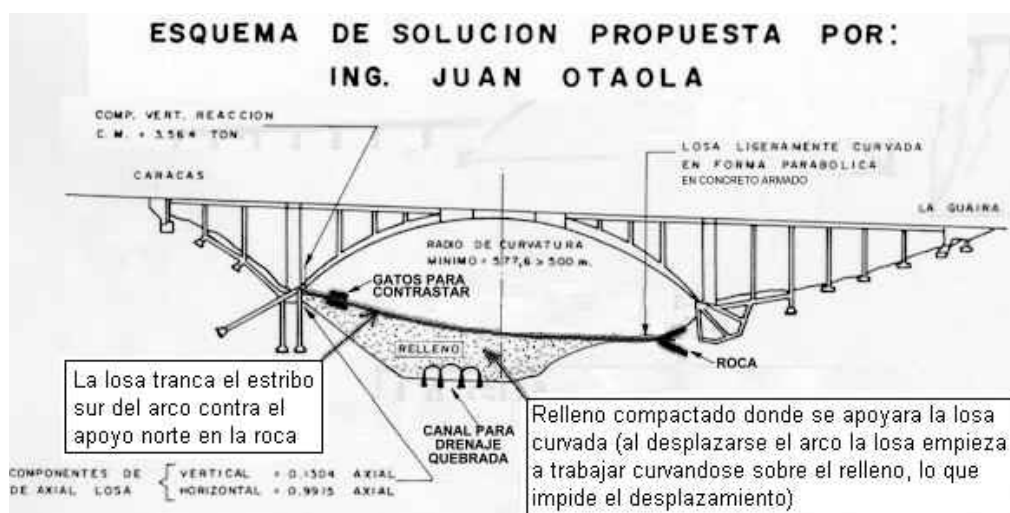
MABEY & JOHNSON, LTD plantean dos puentes metálicos gemelos, independientes, de 310m, con capacidad de dos canales de 3,65m y una acera de 1,00m cada uno. (2000)

Se recomendó la construcción de un gran terraplén de relleno compactado sobre la Quebrada de Tacagua, cuya función sería la de actuar de contrafuerte para estabilizar la ladera en la cual se encuentran fundados el estribo y el apoyo del lado Sur del Viaducto (extremo hacia Caracas). La ejecución de tal terraplén implicaría la necesidad de construir una estructura para el conducto de la Quebrada Tacagua, y diversas obras complementarias o de relocalización de servicios.



**Figura 6.49.-** Plano del proyecto de construcción del terraplén de contrafuerte, canalización de la Qda. Tacagua y planteamiento de la nueva vialidad

Refuerzo de la estructura propuesto por el ING. JUAN F. OTAOLA, consistente en la ejecución de un terraplén construido a nivel de ambas fundaciones del arco, cubierto por una losa de concreto curvada ligeramente en forma parabólica. En el extremo Caracas se disponen gatos para contrarrestar el efecto de empuje. (1988, 2000)



**Figura 6.50.-** Terraplén con canalización de la quebrada Tacagua en un tramo de mayor longitud.

VSL FRANCE introducen un refuerzo estructural para el Arco, que lo liberaría de las presiones producidas por el terreno, mediante la desolidarización de las Fundaciones, colocando Gatos Hidráulicos y apoyos controlados electrónicamente y para absorber los movimientos (1988).

El grupo CAMPENON BERNARD (Francia), propuso la construcción de un nuevo Viaducto de 10 tramos, mas o menos paralelo al actual, usando voladizos sucesivos. La longitud total es de 470m. (1989, 2000)

Losa de concreto con anclajes activos de alta capacidad al pié y debajo de la fundación del arco.

En un informe técnico de INGEOTEC C.A. (1989), se afirmó que si bien es cierto que con un relleno se podrían controlar las fuerzas generadas por el movimiento, existen muchas incertidumbres acerca de su efectividad como solución geotécnica definitiva, debido a que los desplazamientos que ocurrirían antes de la estabilización final del movimiento, podrían ser de mayor magnitud que los desplazamientos tolerables por la estructura. La solución del relleno de toda la Quebrada Tacagua en los primeros 4 km, como solución de vía alterna implicaría la canalización de dicha quebrada, un movimiento de tierra de gran magnitud y acarrearía problemas difíciles de orden constructivo, debido a la presencia de botes de tierra en la ladera inferior sobre la cual se adosaría.

Sobre la base de las consideraciones, un equipo multidisciplinario nombrado en 1987 para evaluar el problema, se pronuncia por la construcción de una nueva vía en estructura elevada

sobre el fondo del valle de la quebrada Tacagua, cuyo estudio se encuentra a nivel de anteproyecto. A finales del año 1987, se recomendó comenzar de inmediato una primera etapa de construcción de la estructura, desde el estribo La Guaira hacia aguas arriba, hasta enlazarse con la vía actual, en la progresiva 2+750. En una segunda etapa, luego superada la emergencia del Viaducto N° 1, se podría continuar la estructura hasta el km 0+750, donde se enlazará con el Distribuidor Catia de la Avenida Boyacá, cuyo proyecto había sido finalizado.

#### 6.2.9.- Reperfilamiento del talud en al estribo norte del Viaducto No. 1

A unos pocos metros del estribo norte del Viaducto No 1 existe un talud de corte construido para el paso de la vía, muy alto (100 m) y empinado ( $\pm 45^\circ$ ), que en el pasado ha generado problemas de caída de bloques y deslizamientos muy superficiales. De la fotointerpretación se observó que se han realizado trabajos de reperfilamiento de la cara del talud, que para 1985 ya mostraba algunos deslizamientos menores en la corona, y acaravamientos debido a la escorrentía de aguas meteóricas.



**Figura 6.51.-** Fotos de 1976 y 1983 donde se muestra el talud reperfilado

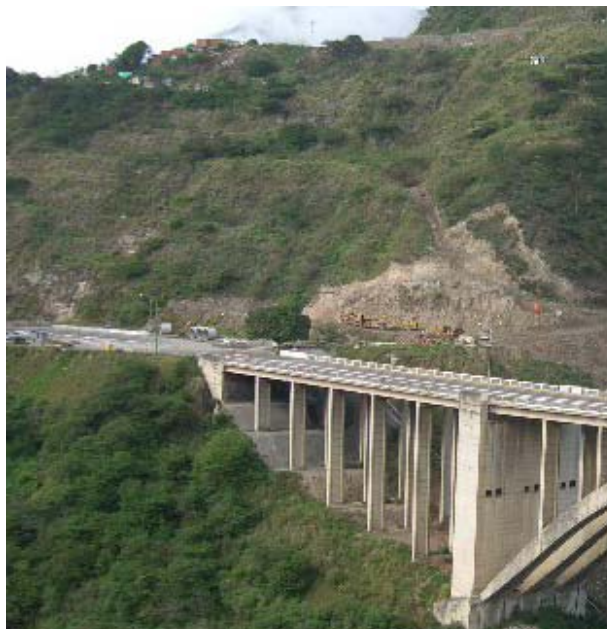


**Figura 6.52.-**

Izquierda.- fotografía aérea de 1976., la misión no se identificó

Derecha.- Vista desde un helicóptero en 1985 del talud reperfilado tomada por D. SALCEDO, ya se evidenciaban deslizamientos en la parte superior, así como acarcavamientos

En la actualidad este talud no muestra evidencias de deslizamientos que puedan crear problemas en la vía, pero existe la posibilidad de caída de bloques de gran magnitud, y deslizamientos en la corona que puedan afectar a la Carretera Vieja Caracas-La Guaira.



**Figura 6.53.-** Foto tomada en enero de 2006, a la izquierda se observa que el talud aun muestra evidencia de las bermas realizadas para el reperfilamiento

#### 6.2.10.- Deslizamiento Plan de Manzano

A fines de los 80 ocurrió un deslizamiento en un sector de la Carretera Vieja Caracas-La Guaira que pasa al norte de la quebrada que baja al estribo norte del Viaducto No. 1. Según los vecinos de la zona esto ocurrió por la ruptura de una tubería matriz de INOS. Con el material removido se reconstruyó la carretera sobre un terraplén, pero por fallas en el drenaje que ya habían debilitado el suelo y con las intensas lluvias de 1999 la vía colapsó, siendo reabierto con tractores a los dos días, para volver a interrumpirse el 15 de diciembre. URBANI *op cit*, . “Guía de excursión, geología de la Autopista y Carretera Vieja Caracas-La Guaira”, página 55.

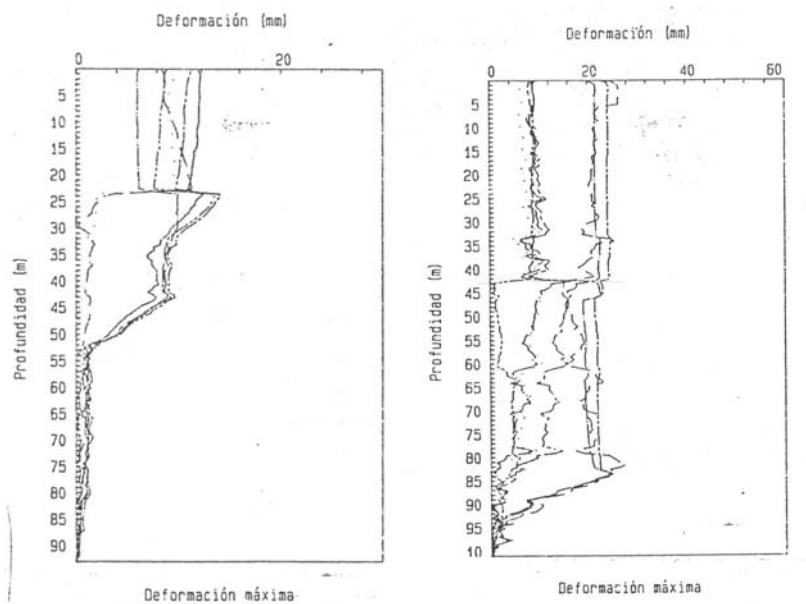
#### 6.2.11.- Deslizamiento PDVSA Cantinas

En 1990 se observaron evidencias de algún movimiento en las estructuras de la Planta PDVSA Cantinas que motivaron a realizar estudios bastantes profundos del fenómeno que la estaba afectando, debido a la importancia que tiene esta planta de almacenamiento para la capital de la ciudad.

Este deslizamiento posee un movimiento muy lento en dirección  $S70^{\circ}W$ , con buzamiento muy bajo del plano de deslizamiento ( $8^{\circ}$ ), la roca bajo la planta buza en sentido norte, pero al encontrarse confinado el material del deslizamiento y no poder desplazar a través de la recta de máxima pendiente, este busca la dirección de no confinamiento, ubicada hacia el valle estrecho de la quebrada Cantinas ( $N20^{\circ}E$ ).

De la interpretación de los datos obtenidos por los inclinómetros, se obtuvo que existen dos planos de deslizamiento, uno entre 20 y 25 m de profundidad y la otra entre 40 y 45 m, medidos desde la cota de la topografía en la zona oeste de la planta.





**Figura 6.54.-** Datos obtenidos de la medición con los inclinómetros IC-13 e IC-8, realizadas por INGEOTEC en el oeste de la planta

El nivel de agua fue medido cercano a la profundidad del deslizamiento superior, a unos 25,8 metros de profundidad con respecto a la parte oeste de la planta.



**Figura 6.55.-** Imagen satelital de la Planta PDVSA Cantinas (2003) obtenida del programa google earth. Se observan las fracturas en el asfalto que evidencian la dirección del deslizamiento

**Tabla 6.6.-** Dimensiones del deslizamiento:

Parámetro medido	Medida
Ancho de la masa desplazada "Wd"	325 m
Ancho de la superficie de falla "Wr"	325 m
Longitud de la masa desplazada "Ld"	750 m
Longitud de la superficie de falla "Lr"	650 m
Profundidad de la masa desplazada "Dd"	25 m
Profundidad de la superficie de falla "Dr"	25 m
Longitud total "L"	750 m
Longitud de la línea central "Lc1"	620 m

6.2.12.- Otros

Los otros deslizamientos observados en la carretera vieja Caracas-La Guaira, fueron el de Plan de Manzano en el Barrio el Porvenir (1999), y Vuelta la Llanera en el barrio Santa Eduvigis (2005), este último fue un deslizamiento rápido, que destruyó unas 60 viviendas que habían sido desalojadas días antes.

En los alrededores de la autopista existen también varios deslizamientos recientes que se observan si se camina por la autopista, algunos de ellos se ubican en los siguientes lugares:

- Desde el km 0+600 se ven dos deslizamientos en las laderas sur y norte de una loma que ahí se encuentra, es muy notable el que existan viviendas sobre el material que se está deslizando.
- En la parte baja de la ladera norte del Valle de Tacagua, frente las progresivas 1+000 y 2+000, se observan diversos escarpes de deslizamiento.
- Bajo de la Planta PDVSA Cantinas existen dos deslizamientos recientes, que llegan hasta la quebrada Tacagua.
- También fueron observados indicios de deslizamientos en la partes altas del los barrios de la carretera vieja Caracas-La Guaira.

## CAPÍTULO VII

---

En este capítulo se estudia la posible amenaza por deslizamientos que puede existir en los taludes de las laderas del valle de Tacagua, para así lograr cartografiar a escala 1:5.000 la zonificación del área de estudio en función de la posibilidad que ocurran movimientos de masas y daño potencial que estos puedan ocasionar.

### **7.- Zonificación de Amenaza**

La ocurrencia de deslizamientos es un fenómeno sujeto a muchos grados de incertidumbre debido a que incluyen diferentes tipos de movimientos, velocidades, modos de falla, materiales, restricciones geológicas, etc. MORGENSTEM (1997), expresó que el papel del factor de seguridad es complejo debido a que no tiene en cuenta la incertidumbre de la ignorancia con respecto a la confiabilidad de los datos para el análisis, a incertidumbres en los modelos matemáticos y a incertidumbres humanas.

Cuando existe incertidumbre de la posibilidad o no de la ocurrencia de un fenómeno, generalmente, se toman decisiones equivocadas de diseño. La zonificación de amenazas es una herramienta muy útil para la toma de decisiones; esta consiste en la división del terreno en áreas homogéneas y la calificación de cada una de estas áreas, de acuerdo al grado real o potencial de amenaza.

La cartografía puede realizarse sobre un área donde se tiene información de la ocurrencia de deslizamientos o se tiene un inventario de estos eventos, o sobre áreas en las cuales no se tiene conocimiento de deslizamientos en el pasado, pero se quiere predecir la posibilidad de amenaza hacia el futuro. En el primer caso se trabaja con una metodología de cartografía directa con base a la experiencia y en el segundo con una metodología de cartografía indirecta con base a factores que contribuyen a su ocurrencia.

Se debe diferenciar entre técnicas de análisis relativo y técnicas de análisis absoluto. El análisis relativo presenta la posibilidad diferencial de ocurrencia de deslizamiento sin dar valores exactos y en el análisis absoluto se presentan factores de seguridad o probabilidad real de ocurrencias de movimientos.

De acuerdo a La Asociación Internacional de Ingeniería Geológica (1976), la zonificación puede efectuarse a diversas escalas:

1. Escala nacional (más de 1:1.000.000). A esta escala se pueden tomar decisiones de política general pero no permite definir metodologías de prevención o manejo.
2. Escala regional (1:100.000 a 1:500.000).
3. Escala de cuenca (1:25.000 a 1:50.000). Esta escala da información de la amenaza o riesgo y permite realizar evaluaciones de costos.
4. Escala grande (1:5.000 a 1: 15.000). Esta escala permite la toma de decisiones sobre prevención y manejo. Generalmente la escala 1:5.000 es la mejor para establecer planes de manejo de los riesgos (LEROI, 1996) y fue la utilizada para los mapas temáticos realizados en este trabajo.

Para definir la amenaza a deslizamientos se debe contar con herramientas que permitan representar de forma gráfica los parámetros que influyen en la probabilidad de ocurrencia, por ello se ha utilizado una metodología sistemática de cartografía de los elementos más influyentes. Los mapas que sirvieron de herramienta para definir la amenaza a los deslizamientos en la zona son:

1. Mapa topográfico y urbanístico.
2. Mapa de Pendientes
3. Mapa geológico local
4. Mapa de inventario de procesos de geodinámica superficial.

También se tomó en cuenta la susceptibilidad a los deslizamientos debido a las condiciones físicas generales, que representan el punto de partida para estudiar la amenaza potencial a los deslizamientos en las laderas del Valle de Tacagua.

## 7.1.-Susceptibilidad

Expresa la factibilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La posibilidad de ocurrencia de un factor detonante como una lluvia o un sismo no se considera en un análisis de susceptibilidad, que se puede evaluar de dos formas diferentes:

### 1. Sistema de la experiencia

Se utiliza la observación directa de la mayor cantidad de deslizamientos ocurridos en el área estudiada y se evalúa la relación entre los deslizamientos y la geomorfología del terreno.

### 2. Sistema Teórico

Se cartografía el mayor número de factores que puedan afectar la ocurrencia de deslizamientos y luego se analiza la posible contribución de cada uno de los factores. Se toma en cuenta la historia de los deslizamientos ocurridos en el pasado, así como la topografía y las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del terreno. KANUNGO (1993) clasificó la susceptibilidad a los deslizamientos en forma cualitativa en función de los criterios antes planteados (Tabla 5.1).

**Tabla 7.1.-** criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos (KANUNGO, 1993)

Grado de susceptibilidad	Criterio
Muy Alta	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas, y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe alta posibilidad de que ocurran
Alta	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos pero no existe completa seguridad de que no ocurran
Moderada	Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados donde no han ocurrido deslizamientos pero no existe completa seguridad de que no ocurran.
Baja	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados, no saturados con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permiten predecir deslizamientos
Muy Baja	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos

La susceptibilidad del área de estudio a los deslizamientos según la tabla de KANUNGO, (1993) es alta a muy alta, debido a que la actividad tectónica del levantamiento de la Cordillera de la Costa, ha sido muy fuerte en este abra topográfico, que es producto de la interacción del

elemento estructural con el litológico y el exógeno, provocando una fisiografía de valle encajado característica de gargantas epígenicas. La envolvente geomorfológica obtenida es complicada para el uso antrópico, porque ésta contempla un valle encajado estrecho con laderas bastante pronunciadas y rocas muy fracturadas y meteorizadas.

Las litologías presentes muestran configuración diversa entre ellas, por ello se estudia el comportamiento general de cada unidad informal definida en el capítulo IV:

Unidad I: Esquistos bastantes meteorizados pero no profundamente (RMdmf), los planos de foliación en general buzan en sentido contrario a la cara del talud, los deslizamientos son superficiales o de caída de bloques, a excepción del ocurrido en la planta Cantinas de PDVSA, donde la pendiente de la cara del talud presenta un rumbo relativo en la misma dirección de la foliación. Las laderas compuestas de rocas de esta unidad son consideradas como de alta susceptibilidad a los deslizamientos superficiales, y de muy alta susceptibilidad en el caso de la zona oeste de la planta de PDVSA Cantinas.

Unidad II: Mármoles y esquistos bastante fracturados (RMdmf), con foliación general subparalela a la cara de los taludes, y buzando en el mismo sentido (norte), se evidencian más de dos sistemas de diaclasas que han producido que la roca este fragmentada en infinitos bloques de tamaños variables. Los deslizamientos son bastantes profundos y de magnitudes casi incontrolables. Las laderas del sur del Valle de Tacagua que están compuestas de rocas de esta unidad son consideradas como de alta susceptibilidad a los deslizamientos profundos y superficiales, a excepción de las zonas donde ya ha ocurrido algún movimiento de masas y los alrededores que se considera como de muy alta susceptibilidad a los deslizamientos.

Unidad III: Compuesta de esquistos cuarzo micáceos (RmMbf), con foliación bien marcada de orientación aproximada N70-80°W, 20-40°S, en general contrario a la cara de los taludes, esta roca presenta un perfil de meteorización bastante profundo compuesto de roca muy meteorizada dura muy fracturada, que ha producido deslizamientos superficiales y algunos profundos como en el caso de la progresiva 0+600 de la autopista. Los taludes de esta unidad compuestos por roca, ubicados en los alrededores de la autopista se consideran de alta susceptibilidad a los deslizamientos, aunque en los lugares donde han ocurrido deslizamientos y los alrededores se consideran de muy alta susceptibilidad a los deslizamientos.

## 7.2.- Mapa de inventario de deslizamientos

Después de un cuidadoso análisis de las fotografías aéreas y correlaciones de campo junto con la información obtenida de informes técnicos, se digitalizó sobre el mapa topográfico los deslizamientos activos o inactivos que se detectaron en el área estudiada. El producto final presenta la distribución espacial de los deslizamientos en forma de áreas afectadas.

La zona estudiada corresponde a los primeros 4 km de la Autopista Caracas-La Guaira, y los alrededores en donde se encontraron más de 10 deslizamientos de magnitudes variables y considerables.

Los deslizamientos fueron identificados según el lugar en donde se encuentran y su área de influencia, por ejemplo el deslizamiento de la progresiva 3+200, tiene como nombre “Deslizamiento del Barrio Nueva esparta”, debido a que afectó a esta estructura hasta el cierre del tránsito los primeros días del mes de enero de 2006, por motivos del alto riesgo que planteaba el uso de esta estructura.

**Tabla 7.2.-** Inventario de los deslizamientos ocurridos en los primeros 4 kilómetros de la autopista Caracas-La Guaira

INVENTARIO DE LOS DESLIZAMIENTOS EN LA AUTOPISTA				
Nombre	Límites	Vestigios de actividad	Área (aprox)	Urbanismo presente (2006)
Macrodeslizamiento 0+600	0+550-0+650	Ha deformado el asfalto de la autopista. Se ha instrumentado, consiguiendo un plano de deslizamiento activo entre 20 y 30 metros de profundidad desde la cota de la autopista. Para la fecha se está tratando de estabilizar..	16700 m <sup>2</sup>	Tramo de la autopista. Parte norte del barrio Federico Quiroz. Asentamiento de viviendas informales en el pie del deslizamiento.
Deslizamientos 9+860	0+700-1+050	Debido a una falla de borde se replanteó el paso de la vía más al sur, realizando un corte a la topografía. Dos deslizamientos superficiales fueron estabilizados en su parte superior. Existe posibilidad de un macrodeslizamiento.	72.000 m <sup>2</sup>	Tramo de la autopista Parte norte del barrio Federico Quiroz y viviendas informales en la Quebrada Tacagua.
Deslizamiento 1971	1+600-1+750	En fotos de 1971 se observa un macrodeslizamiento, el material fue dejado en el sitio, incluyendo enormes bloques de roca. Alta vegetación en una zona coluvial, depósitos a pie de deslizamientos, alta socavación por las quebradas Deslizamientos superficiales que han afectado a las vivienda que se han tratado de asentar en el lugar.	70.000 m <sup>2</sup>	Tramo de la autopista Viviendas informales en la parte superior
Deslizamiento 1+400 (2006)	1+380 a 1+430	Forma de anfiteatro en deslizamiento, con el material depositado en la parte baja.	4.500 m <sup>2</sup>	Algunas viviendas en la corona del deslizamiento.
Deslizamiento	2+300-2+700	El estudio fotogeológico mostró la	45.000 m <sup>2</sup>	Tramo de la autopista y

Barrio 19 de Abril		evolución de un deslizamiento que bastante lento. Fisiografía escalonada, y extraño cambio de color de la vegetación.		parte norte del barrio 19 de Abril Ha afectado las viviendas que han tratado de construir.
Deslizamiento Barrio Oropeza Castillo	2+700-2+800	Geometría de las quebradas que rodean al barrio evidencia un antiguo movimiento de masas. Colinda con el deslizamiento del barrio Nueva Esparta, y el 19 de Abril. Fisiografía escalonada y extraño cambio de color de la vegetación.	110.000m <sup>2</sup>	Tramo de la autopista y parte norte del barrio Oropeza Castillo. Ha afectado las viviendas que han tratado de construir.
Deslizamiento superficial 3+000	3+000	Deslizamiento de grandes magnitudes en los años 1974 y 1981.	36.000 m <sup>2</sup>	Afectó a las viviendas que se encontraban dentro del área.
Deslizamiento del Barrio Nueva Esparta	3+000 hasta 200 m al oeste del la pilastra sur del Viaducto No 1	Geometría de las quebradas que rodean al barrio evidencia un antiguo movimiento de masas. Extraño meandro de la quebrada Tacagua en el límite oeste del deslizamiento La topografía muestra escarpas de deslizamiento, en ladera algo escalonada. Se ha instrumentado exhaustivamente desde el año 1987 hasta la fecha del colapso definitivo del viaducto, ver capítulo VI.- Geotecnia detallada. Se evidenció un plano de deslizamiento profundo inactivo, y uno superior activo. Daños importantes a la estructura del Viaducto No. 1 y plataforma de la autopista. Las viviendas del barrio Nueva Esparta que ahí se encontraban fueron desalojadas.	130.000 m <sup>2</sup>	Tamo de la autopista, Viaducto No. 1 y gran parte del barrio Nueva Esparta

**Tabla 7.3.-** Inventario de algunos deslizamientos ocurridos en los alrededores de la autopista.

INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS RECONOCIDOS EN LOS ALREDEDORES				
Nombre	Límites	Vestigios de actividad	Área	Urbanismo presente
Deslizamiento PDVSA Cantinas.	Desde la carretera hasta la quebrada al oeste	Daños severos en las instalaciones. Morfología de las quebradas que bajan desde la planta.	170.000 m <sup>2</sup>	Instalaciones de la planta PDVSA Cantinas. Tramo de la Carretera Vieja Caracas-La Guaira
Deslizamiento Vuelta la Llanera	Carretera vieja al norte del estribo Norte del Viaducto No 1	Deslizamientos que han provocado el desalojo de los habitantes de las viviendas afectadas	48.000 m <sup>2</sup>	Viviendas informales dentro del área de influencia del deslizamiento. Tramo de la carretera vieja Caracas-La Guaira
Deslizamiento Blandín	Frente a la ladera de la progresiva 0+700 de la autopista	No conocidos	12.000 m <sup>2</sup>	Asentamientos informales dentro de la zona de influencia y tramo de la carretera vieja Caracas-La Guaira
Deslizamiento Plan de Manzano	Al norte del estribo norte del Viaducto No. 1	No conocidos	26.000 m <sup>2</sup>	Asentamientos informales dentro de la zona de influencia y tramo de la carretera vieja Caracas-La Guaira

También se reporta en el mapa de inventario que en la ladera sur del valle, bajo la autopista, existen diversas zonas de socavación profunda producto de la caída del agua de las tuberías canalizadas para pasar el terraplén donde se encuentra la vía. Estas zonas de socavación profunda se encuentran en las progresivas: 0+600, 0+950, 1+700, 1+200, 1+800, 1+950, 2+600 y 2+950.



El material removido del deslizamiento de la progresiva 3+000 fue depositado sin ningún tipo de control un poco más al oeste, exactamente en la ladera este de la Quebrada Mulatal con orientación norte-sur, esto causa inestabilidad, ya que este bote es empujado por los deslizamientos del barrio Nueva Esparta.

### **7.3.- Mapa de pendientes**

Un parámetro que constituye un factor productor de amenazas en el Valle de Tacagua, es el grado de pendiente que muestran los relieves tanto naturales como artificiales.

El grado de amenaza de la zona de estudio depende de muchos factores presentes, aparte del de la pendiente, por eso es equivocado afirmar que a mayor pendiente es mayor la amenaza, ya que a pesar de ser un parámetro influyente, es la confluencia de los diversos parámetros los que definen el comportamiento de una ladera o talud, que se entiende como reajustes del terreno para conseguir el equilibrio ante un cambio de condiciones, adoptando pendientes naturales cercanas al equilibrio.

Algunos criterios que sirven para entender el concepto de lo que es una pendiente son:

- La pendiente se define como el grado de inclinación que tiene una recta o superficie plana con respecto a un plano horizontal y su rango de valores normalmente va desde  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , aunque se pueden presentar casos de taludes con pendiente negativa.
- Además, para la descripción de la pendiente se añade el término de concavidad que suele tener la superficie de inclinación. La concavidad se puede dividir como cóncava hacia arriba y cóncava hacia abajo. En la naturaleza es posible apreciar la combinación de estas dos formas de concavidad.
- El grado de la pendiente se define como la diferencia de altura que hay entre dos puntos y se puede expresar en porcentaje de la distancia horizontal o a nivel que los separa. Para el presente trabajo, se tomará la medida en grados.

- La longitud de la pendiente es la distancia en superficie existente entre el punto de mínima altura, proyectado con cierto ángulo, al de máxima altura.
- El ángulo de inclinación del talud es igual al arcotangente de la relación entre la distancia horizontal y la altura que está representa.

A diferencia de la concavidad que es una característica de percepción visual, la pendiente de un talud puede ser calculado por métodos instrumentales, un método muy convencional utilizado en campo es por medio de la Brújula, obteniendo el rumbo y el buzamientos del plano que representa al talud.

Para catalogar el universo de las pendientes, estas se dividen para este trabajo en 5 grupos, siendo necesario recordar que en ocasiones las pendientes podrían variar a lo largo del talud, por ello se toma una medida representativa del valor de inclinación.

Del estudio de los perfiles realizados en el capítulo anterior, se tomaron valores representativos de los posibles rangos de pendientes mostrados por la topografía, aproximando los valores a números fácilmente manejables, la tabla 5.4 muestra el rango de valores tomados para la clasificación de las pendientes de la zona de estudio, y la figura 5.1 muestra gráficamente el rango de los ángulos que representan estas pendientes.

**Tabla 7.4.-** Clasificación utilizada para elaborar el mapa de pendientes

CLASIFICACIÓN	PENDIENTE		
	Porcentaje	Grados	Relación (H/V)
Muy baja	0 a 5%	(0° a 8,5° grados)	<6:1
Baja	15 a 30%	(8,5° a 16,7°)	6:1 a 3:1
Mediana	30 a 35%	(16,7° a 26,6°)	3:1 a 2:1
Alta	50 a 100%	(26,6° a 45°)	2:1 a 1:1
Muy Alta	Más del 100%	(más de 45°)	> 1:1

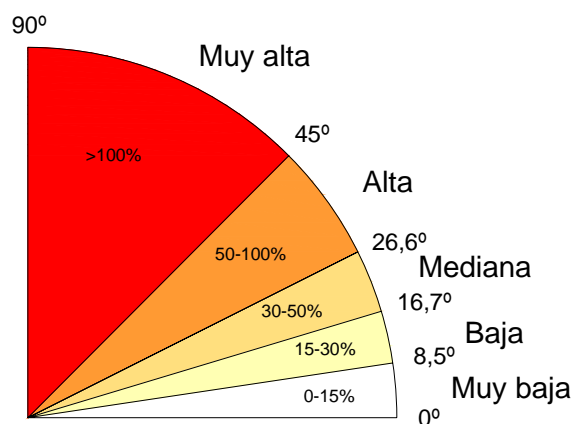


Figura 7.1.- Gráfico de rangos reales de las pendientes del área

La geometría y dimensiones del talud o las laderas así como su componente litológico, se puede relacionar con el grado de infiltración que podría suscitarse en la cara del talud, asimismo la influencia de la longitud y concavidad de la pendiente. “La longitud de la pendiente influye en la velocidad energía y volumen del agua de escorrentía, lo cual aumenta su poder erosivo a medida que aumenta la longitud. Ya que la inclinación de un terreno no se puede variar fácilmente”, HENAO (1998).

Las pendientes de la zona son clasificadas en su mayoría como altas y en menor porcentaje como medias, aunque existen sectores donde el hombre ha modificado la topografía para dejar pendientes muy bajas que sirven para obras de vialidad como la misma autopista, o para complejos estructurales como el caso de la planta PDVSA Cantinas.

Otra característica de las laderas del valle de Tacagua es que la diferencia en altura entre la Quebrada Tacagua y las divisorias de aguas es bastante alta (>100 m), y que están compuestas por laderas cóncavas hacia abajo con algunos escalonamientos.



Figura 7.2.- Vista del valle de Tacagua sacada del programa Google Earth, dirección de la imagen S80°E.  
Se observa la morfología de las laderas del valle cóncavas hacia abajo

El resultado del estudio de pendientes se ve reflejado en el mapa de pendientes (anexo IV), donde destaco que las pendientes comprendidas entre  $26,6^\circ$  a  $45^\circ$  ocupan la mayor parte del área, y que las pendientes bajas y muy bajas ocupan un importante porcentaje, que esta representado por modificaciones a la topografía realizadas para realizar obras de gran envergadura, como en el caso de la Planta Cantinas de PDVSA. Las pendientes muy altas están presentes en un bajo porcentaje, ubicado en el cause de las quebradas que han socavado y perfilado la roca, también son característicos los cortes realizado con pendiente mayor a 1:1 realizado para la construcción de la autopista, sobretodo en los primeros 1.500 m.

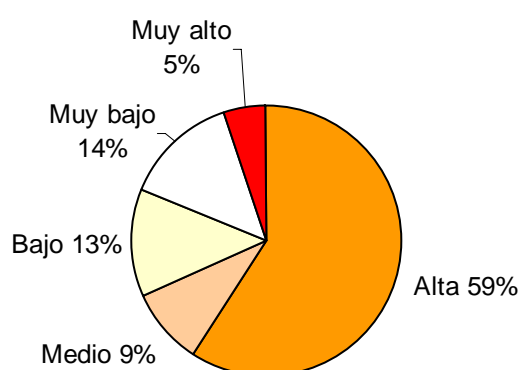


Figura 7.3.- Porcentaje del área que ocupa cada rango de pendiente en el área de estudio

#### **7.4.- Características geológicas.**

Se debe realizar un mapa geológico a escala conveniente en el cual se indiquen las rocas o materiales más susceptibles a sufrir procesos de deslizamiento. El objetivo principal es definir cuales áreas tienen un comportamiento crítico, y si estas se encuentran localizadas en zonas de influencia de corrientes de agua reales o eventuales provenientes de los sistemas de drenaje natural o artificial. Para la calificación de los diversos parámetros se requiere la intervención de Geólogos y Geotécnicos con conocimientos de los comportamientos de los materiales del área en estudio.

En capítulo IV se sectorizó el área de estudio por unidades macroscópicamente homogéneas obteniendo las características geomecánicas representativas de cada grupo litológico, así como la distribución espacial de los planos que podrían crear inestabilidad a los taludes. Las unidades litológicas fueron sectorizadas en tres grupos cartografiando su área de ocupación, ver anexo III “mapa de geología local”.

#### **7.5.- Amenaza**

Amenaza natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado período de tiempo (VARNES. 1984)

La amenaza a los deslizamientos generalmente, se muestra en planos que indican la distribución espacial de los diversos tipos de amenaza.

Según SUARES DIAZ (1998), la zonificación de amenaza requiere tener en cuenta varios elementos:

1. Un inventario detallado de los deslizamientos y procesos de inestabilidad que han ocurrido en el pasado.
2. Un conocimiento detallado de los procesos y de los factores que los producen.
3. El análisis de la susceptibilidad a la ocurrencia de esos fenómenos, relacionada con las condiciones ambientales existentes.

4. El estudio de las probabilidades reales que se presenten, las condiciones para la ocurrencia de los fenómenos. (por ejemplo, de que ocurra una lluvia o un sismo de tal magnitud que pueda activar los posibles deslizamientos de tierra).

Tomando en cuenta que la zonificación es el resultado de la aplicación de un modelo en el que se involucren todos los factores que intervienen en el fenómeno, se adoptó una metodología propuesta por AMBALAGAN en 1992 y modificada para adaptarse al área de estudio, que toma en cuenta las variables litológicas representadas en el mapa de geología regional, la ponderación de las pendientes, la ocurrencia de movimientos de masas, y el urbanismo presente. Asignando valores a los factores litológicos, estructurales, hidrológicos, urbanísticos topográficos, etc., se evalúa la amenaza a deslizamientos según la tabla 5.5.

**Tabla 7.5.-** Pesos de los diferentes factores a tener en cuenta en la evaluación de amenazas a deslizamientos, tomado y modificado de AMBALAGAN (1992)

FACTORES GEOLOGICOS				
Factor	Descripción	Categoría	Peso	Observaciones
Litología	Tipo de material	Tipo I		
		Cuarcita y Caliza	0.2	Muy meteorizado Multiplicar por 4
		Granito y Gabro	0.3	Algo meteorizado Multiplicar por 3
		Gneiss	0.4	Poco meteorizado Multiplicar por 2
		Tipo II		
		Areniscas	1.0	Muy meteorizado Multiplicar por 1.5
		Areniscas con algo de lutitas	1.3	Algo meteorizado Multiplicar por 1.25 Poco meteorizado Multiplicar por 1.1
		Tipo III		
		Pizarra y Filita	1.2	
		Esquisto	1.3	
Lutitas no arcillosas	1.8			
Lutitas, esquistos o filitas muy meteorizadas	2.0			
Materiales aluvionales antiguos muy bien consolidados	0.8			
Suelos arcillosos	1.0			
Suelos arenosos, blandos	1.4			
Colusiones antiguos	1.2			
Colusiones jóvenes	2.0			
Estructura	Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades	Más de 30°	0.20	Se mide el ángulo que forma la dirección del talud y la dirección de las discontinuidades más representativas.
		21° a 30°	0.25	
11° a 20°		0.30		
6° a 10°		0.40		
Menos de 5°		0.50		
	Relación entre el buzamiento de las	Más de 10°	0.3	Si el del buzamiento es mayor que el del talud
		0° a 10°	0.5	

	discontinuidades y la inclinación del talud	0° 0° a -10° Más de -10°	0.7 0.8 1.0	en ángulo positivo y si es menor que el del talud el ángulo en negativo.
	Buzamiento de la discontinuidad	Menos de 15° 16° a 25° 26° a 35° 36° a 45° Más de 45°	0.20 0.25 0.30 0.40 0.50	
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m 6 a 10 m 11 a 15 m 16 a 20 m Más de 20 m	0.65 0.85 1.30 2.00 1.20	

## FACTORES TOPOGRÁFICOS AMBIENTALES

Factor	Categoría	Peso
Morfometría Pendiente de los taludes	Más de 45°	1.6
	36° a 45°	1.3
	26° a 35°	0.9
	16° a 25°	0.4
	Menos de 15°	0.1
Relieve relativo Diferencia de altura entre la divisoria de aguas y el valle.	Menos de 100 m	0.3
	101 a 300 m	0.6
	Más de 300 m	1.0
Uso de la tierra	Área urbana	2.0
	Cultivos anuales	2.0
	Vegetación intensa	0.8
	Vegetación moderada	1.2
	Vegetación escasa	1.5
	Terrenos áridos	2.0
Aguas subterráneas	Inundable	1.0
	Pantanosos	0.8
	Muy húmedo	0.5
	Húmedo	0.2
	Seco	0.0

## SUMATORIA O AMENAZA TOTAL

Amenaza	Descripción	Suma de los pesos
I	Amenaza muy baja	<4.5
II	Amenaza baja	4.5 a 5.5
III	Amenaza moderada	5.6 a 6.5
IV	Amenaza alta	6.6 a 7.5
V	Amenaza muy alta	>7.5

Ya que la relación entre el buzamiento de los planos de debilidad y la pendiente del talud depende de un parámetro variable de la topografía, se pondera la amenaza a los deslizamientos de cada grupo litológico según la posible variación de las pendientes en el área, para luego relacionar estos resultados con el mapa de pendientes y poder cartografiar la amenaza en función de los cambios topográficos existentes.

En los lugares donde ya ha habido algún deslizamiento o que las condiciones fisiográficas muestran un inminente movimiento, se consideran automáticamente como de muy alta

amenaza, haciendo un estudio más detallado y a menor escala de las condiciones existentes en las proximidades.

La evaluación por expertos es tal vez, el método de mapeo más utilizado. Este se basa en la experiencia de un experto quien define las reglas y criterios de estabilidad y evolución de los movimientos. Estos criterios se basan en la experiencia adquirida en situaciones supuestamente similares.

Las ventajas de la evaluación por parte de un experto son el análisis multicriterio que está implícito en la mente del profesional experimentado, que puede ser analizado en diferentes escalas con un manejo constante de información anterior basada en la descripción detallada de la situación de campo.

Las desventajas de la valuación por expertos están en la subjetividad de los criterios. Cada experto puede llegar a conclusiones diferentes de acuerdo a su propia experiencia. El experto no es dado a analizar alternativas y es muy difícil y prácticamente imposible que el experto pueda explicar su criterio y sus reglas para permitir un análisis crítico de los resultados obtenidos LEROI (1996).

#### 7.5.1.- Mapas de amenaza

Según Suarez Diaz (1998) los mapa de amenaza a deslizamientos debe presentar información de:

1. Probabilidad de ocurrencia
2. Tipo de deslizamiento. Cada tipo de deslizamiento puede tener un impacto diferente sobre el ambiente y producir riesgo diferente.
3. Magnitud de los movimientos.
4. Velocidad y características.
5. Distancia de recorrido.
6. Limite de progresión o retroprogresión.



Los mapas de amenaza se pueden digitalizar en base en los mapas de topografía, urbanismo, geología, inventario de procesos de geodinámica superficial y el análisis de los diversos factores que podrían generar deslizamientos en un proyecto específico.

La elaboración de mapas de amenaza de deslizamiento es una herramienta muy importante para la planeación de obras de infraestructura tales como presas, canales, oleoductos, carreteras, líneas eléctricas, etc., por cuanto le provee a los profesionales no especializados la información sobre los diferentes tipos de deslizamientos, la severidad de las amenazas y el riesgo que pueden correr las obras que se plantea construir.

Para la elaboración de mapas de amenaza se deben analizar los siguientes parámetros:

1. Susceptibilidad a los deslizamientos
2. Hidrología
3. Usos de la tierra y la vegetación
4. Factores antrópicos y urbanos
5. Tectónica y sismicidad
6. Procesos de geodinámica superficial.

El análisis de la información para obtener el mapa de amenaza se puede realizar de varias formas:

Para el estudio de la amenaza por deslizamientos en el área, se tomó en cuenta la variación litológica, diferenciada en unidades informales en el capítulo IV, debido a que el comportamiento de los taludes de la zona tiene una respuesta diferente para cada unidad.

De los parámetros más importantes cuando se estudia la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento son la competencia litológica a la meteorización, la orientación de las foliaciones y el grado de estructuración que esta presente. Siendo la susceptibilidad a los deslizamientos el resultado de la interacción de las variables litológicas, estructurales y topográficas, se ha tomado un perfil tipo de cada unidad informal identificando sus parámetros más constantes.

Al obtener los parámetros generales de comportamiento de cada grupo litológico presente en la zona se relaciona con la topografía para la zonificar la amenaza a los deslizamientos según la interacción de la litología con las pendientes de los taludes.

#### 7.5.2.- Análisis de amenaza a deslizamientos en la Unidad I.

Esta unidad está compuesta de rocas esquistosas, gneis, y algunos lentes de caliza, bastante meteorizadas pero no muy profundamente, la foliación general es en sentido contrario que el de la ladera norte del valle, con orientación aproximada  $N40^{\circ}E$ ,  $20-40^{\circ}N$ , por lo que los deslizamientos que ocurren son superficiales o de caídas de bloques, aunque la ladera este del valle al oeste de la planta PDVSA Cantinas presenta un rumbo  $N20^{\circ}E$ ,  $40^{\circ}N$  subparalelo a la foliación general, esto ha provocado un movimiento de masa en casi todo el sector oeste del complejo, que se desliza con rumbo  $S70^{\circ}W$  y pendiente del plano de deslizamiento de unos  $12^{\circ}$  al oeste.

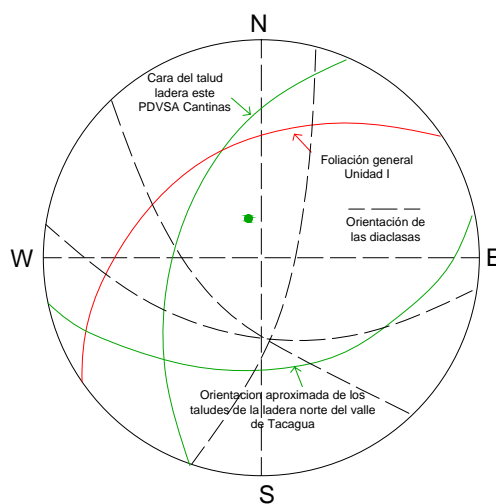


Figura 7.4.- Representación en la red estereográfica de orientación general de los planos de debilidad y taludes en la ladera norte sur del Valle de Tacagua, unidad I

**Tabla 7.6.-** Estudio de la amenaza por deslizamientos en la unidad I

Parámetros geológicos de la unidad I.- Esquistos cuarzo-muscovítico-grafitoso y esquistos anfibolítico-cuarzo-micáceo					
Factor	Descripción	Categoría	Peso	Observaciones	Ponderación
Litología	Esquistos, gneis y calizas	Tipo I y III	0.9	Foliación bien marcada, bastante meteorizada en los primeros metros.	0.9
Estructura	La relación entre el paralelismo de la foliación y el talud	6° a 10°	0.4	En el valle al oeste de la planta PDVSA Cantinas los rumbos de la foliación y la cara del talud difieren en más de 30°	0.4 (0.20 en la Planta Cantinas)
	*Factor variable 1: La relación entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud	Parámetro variable			
	Buzamiento de la discontinuidad	26° a 45°	0.30		0.3
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 metros	0.65	Están representados por coluvios, botes y suelos residuales de poco espesor.	0.65
Factores topográficos y ambientales					
Factor	Categoría	Peso	Observaciones	Ponderación	
**Factor variable 2: Morfometría Pendiente de los taludes	Parámetro variable				
Relieve relativo Diferencia de altura entre la divisoria de aguas y el valle	101 a 300 metros	0.6		0.6	
Uso de la tierra	Área urbana	2.0	Urbanismo informal, muy vulnerable a todo tipo de deslizamiento	2.0	
Aguas subterráneas	Húmedo	0.2		0.2	
<b>SUMATORIA PARCIAL</b>					

\* y \*\*. Los factores variables uno (1) y dos (2) se ponderan en función de las pendientes o inclinación de los taludes

Cuantificación de la amenaza según las pendientes de los taludes en la unidad I						
Clasificación	Pendiente (ángulo de inclinación)	Ponderación		Sumatoria de ponderaciones - tipo de amenaza	Descripción de la Amenaza	
		Factor variable 1	Factor variable 2			
Muy baja	0 a 5% (0° a 8,5° grados)	La única pendiente muy baja de la zona es donde se encuentra la Planta PDVSA Cantinas, rodeada de pendientes altas que representan una alta amenaza.				
Baja	15 a 30% (8,5° a 16,7°)	0.3*	0.1	5.45	III	Baja
Mediana	30 a 35% (16,7° a 26,6°)		0.3	5.65	III	Moderada
Alta	50 a 100% (26,6° a 45°)		1.0	6.35	III	Moderada
Muy Alta	Más del 100% (más de 45°)		1.6	6.95	IV	Alta

\* El buzamiento de los planos de foliación en su mayoría es contrario al de la cara de los taludes, solo una dirección de diaclasa poco continua buza en el mismo sentido, pero con ángulo mucho mayor.

Al oeste de la Planta PDVSA Cantinas existe un valle cuya ladera este tiene dirección aproximada N20°E, 30-40° N, que cambia las condiciones generales de los demás taludes y que se ha estudiado por separado obteniendo que la amenaza a deslizamientos es muy alta en el sector oeste de la Planta, correspondiendo a que en esa zona ya se ha reportado un movimiento de gran magnitud.

Esta unidad se encuentra ubicada en la ladera norte del abra topográfico de Tacagua con inclinación de las pendientes entre medianas (16.7° a 26.6°) y altas (26.6° a 45°), a excepción de el lugar donde se encuentra la planta PDVSA Cantinas, que tiene pendiente muy baja. (ver anexo No IV, mapa de pendientes)

La clasificación de la zona como de amenaza moderada, alta y muy alta, se corresponde con los vestigios de deslizamientos observados en el área, sobretodo hacia algunos sectores de los barrios El Porvenir, Santa Eduvigis y Chevrolet, en donde existen gran cantidad de pantallas atirantadas así como evidencias fisiográficas de deslizamientos recientes y antiguos, tales como escarpas de deslizamiento y morfología de la laderas escalonadas. Se evidenció también en daños estructurales en viviendas informales y vialidad, en contraste con otros sectores cercanos donde no se ha podido observar ninguna evidencia de movimientos o deslizamientos.

Los cortes a la topografía realizados para la construcción de la carretera vieja, son considerados como de alta amenaza a los deslizamientos, debido a que se han construido viviendas informales en la parte superior de estos taludes artificiales que han desmejorado sus condiciones intrínsecas naturales, evidenciado por la caída continua de material rocoso en la vía, que ha provocado la construcción de gran cantidad de pantallas atirantadas y otros tipos de obras de contención.

Los taludes de corte realizados en la vía de contingencia poseen inclinación mucho mayor a 1:1 (45°), siendo en algunos casos entre 0,5:1 y 0,2:1, por ello la amenaza a deslizamientos depende de parámetros más locales de orientación, persistencia y frecuencia de de los planos de debilidad así como de litología, aunque destaca que de haber problemas de inestabilidad en la ladera, estos serían de caídas de bloques aislados de roca.

En el mapa de amenaza por deslizamientos, realizado tomando en cuenta las ponderaciones obtenidas en la tabla No 5.6, así como de las consideraciones planteadas y de la información de los mapas de pendientes e inventario de procesos, se observó que en esta unidad no existen amenazas bajas o muy bajas, y que en su mayoría son amenazas moderadas, a excepción de los lugares donde se han ubicado deslizamientos que lógicamente se consideran de muy alta amenaza, el resto son áreas donde la pendiente es muy alta, que se considera como de alta amenaza.

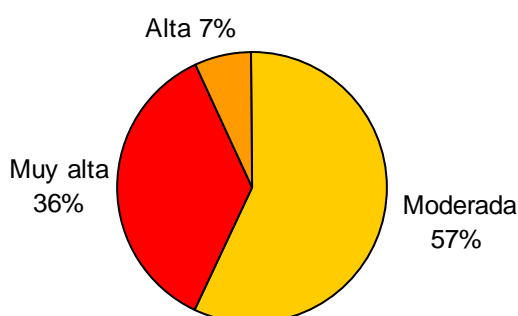


Figura 5.5.- Porcentaje del área que representan las amenazas a los deslizamientos en la unidad I

### 7.5.3.- Análisis de amenaza a deslizamientos en la Unidad II.

La foliación de la zona es casi paralela a la cara de los taludes, pero con buzamiento un poco menor que define la posibilidad de falla planar. La litología esta compuesta por mármoles y esquistos bastante fracturados (RMdmf), con más de dos sistemas de diaclasas (ver capítulo IV). Las laderas presentan pendientes variables, pero en su mayoría se consideran altas. (26,6° y 45°).

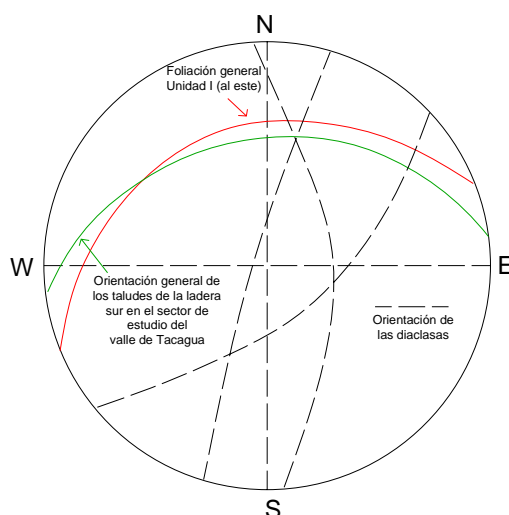


Figura 7.6.- Representación en la red estereográfica de orientación general de los planos de debilidad y taludes en la ladera sur del Valle de Tacagua, unidad II

**Tabla 7.7.-** Estudio de la amenaza por deslizamientos en la unidad II

Parámetros geológicos de la unidad II .- Mármoles y esquistos calcáreos.					
Factor	Descripción	Categoría	Peso	Observaciones	Ponderación
Litología	Calizas esquistosas	Tipo I	0.20	Algo meteorizada (multiplicar por 3)	0.6
Estructura	Relación entre el paralelismos de la foliación y el talud	11° a 20°	0.3		0.3
	Relación entre la foliación y la inclinación del talud	Parámetro variable			
	Buzamiento de la discontinuidad	20° a 40°	0.3		0.3
	Espesor de la capa de suelo	Más de 20 metros	1.2	Los coluvios llegan en algunos casos hasta 35 metros de profundidad.	1.2
Factores topográficos y ambientales					
Factor	Categoría		Peso	Observaciones	Ponderación
Morfometría Pendiente de los taludes	Parámetro variable				
Relieve relativo Diferencia de altura entre la divisoria de aguas y el valle	101 a 300 metros		0.6		0.6
Uso de la tierra	Área urbana		2.00	Urbanismo informal, muy vulnerable a todo tipo de deslizamiento	2.00
Aguas subterráneas	Húmedo		0.20		0.20
<b>SUMATORIA PARCIAL</b>					<b>5.2</b>

\* y \*\*. Los factores variables uno (1) y dos (2) se ponderan en función de las pendientes o inclinación de los taludes

Cuantificación de la amenaza según las pendientes de los taludes en la unidad II							
Clasificación	Pendiente (ángulo de inclinación)	Ponderación		Sumatoria de ponderaciones - tipo de amenaza	Descripción de la Amenaza		
		Factor variable 1	Factor variable 2				
Muy baja	0 a 5% (0° a 8,5° grados)	No existen zonas con pendientes muy bajas, excepto sobre el terraplén de la autopista, insignificante a esta escala de trabajo.					
Baja	15 a 30% (8,5° a 16,7°)	0.3 (>10°)	0.1	5.6	III	Moderada	
Mediana	30 a 35% (16,7° a 26,6°)	0.5 (0-10°)	0.4	6.1	III	Moderada	
Alta	50 a 100% (26,6° a 45°)	0.7 (+/- 0°)	1.0	6.9	IV	Alta	
Muy Alta	Más del 100% (más de 45°)	1.0 (>-10°)	1.6	7.8	V	Muy alta	

Los sectores donde han ocurrido deslizamientos de gran magnitud como en el caso del Barrio Nueva Esparta, se considera que a cotas mayores de las incluidas en el área de estudio (+/- 900 m) existe alta amenaza a los deslizamientos, por representar un límite de retrogresión en donde el desconfinamiento puede causar futuros movimientos de masas.

Los cortes realizados durante la elaboración de este trabajo en la parte inferior de la ladera sur del valle para la construcción de la vía de emergencia, presentan alta amenaza a deslizamientos y a caídas de bloques que ameritan estudios de estabilidad local, y posibles medidas de estabilización.

Casi la totalidad de la zona se encuentra zonificada como de alta a muy alta amenaza, lo que concuerda con el comportamiento observado de la ladera sur del valle de Tacagua para la elaboración de este trabajo.

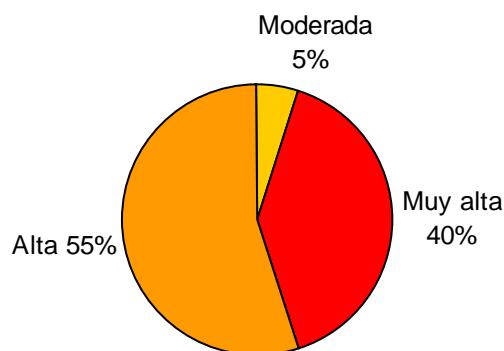


Figura 7.7.- Porcentaje del área que representan las amenazas a los deslizamientos en la unidad II

## 7.5.4.- Análisis de amenaza a deslizamientos en la Unidad III.

La foliación general de las rocas que afloran en los primeros 1500 metros de la autopista posee un rumbo en dirección opuesta a la dirección de los taludes de la enorme curva que representa a esta tramo de la vía.

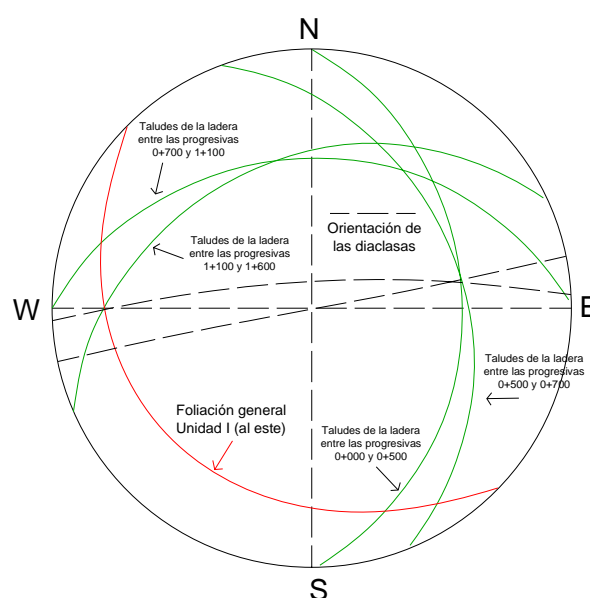


Figura 7.8.- Representación en la red estereográfica de orientación general de los planos de debilidad y taludes en la ladera sur del Valle de Tacagua, unidad III

La roca comprende un esquisto cuarzo micáceo meteorizado, intercalado con calizas foliadas bastante competentes en cuanto a su comportamiento mecánico, que en conjunto ofrecen un comportamiento de roca meteorizada blanda muy fracturada.

Tabla 7.7.- Estudio de la amenaza por deslizamientos en la unidad III

Parámetros geológicos de la unidad III .- Esquisto cuarzo micáceo feldespático grafitoso					
Factor	Descripción	Categoría	Peso	Observaciones	Ponderación
Litología	Esquisto con calizas	Tipo I y III	0.8		1.3
Estructura	Relación entre el paralelismos de la foliación y el talud	11° a 20°	0.3		0.3
	Relación entre las discontinuidades y la inclinación del talud	Parámetro variable			



	Buzamiento de la discontinuidad	16° a 25°	0.25		0.25
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 metros	0.65	En general lo representa suelo residual, coluvial y el terraplén de relleno de la autopista..	0.65
<b>Factores topográficos y ambientales</b>					
Factor	Categoría		Peso	Observaciones	
Morfometría Pendiente de los taludes	Parámetro variable				
Relieve relativo Diferencia de altura entre la divisoria de aguas y el valle	101 a 300 metros		0.60		0.60
Uso de la tierra	Área urbana		2.0	Urbanismo informal, muy vulnerable a todo tipo de deslizamiento	2.00
Aguas subterráneas	Muy húmedo		0.5	Nivel freático bastante alto	0.5
<b>SUMATORIA O AMENAZA TOTAL</b>				Varía según las pendientes de la zona	

\* y \*\*. Los factores variables uno (1) y dos (2) se ponderan en función de las pendientes o inclinación de los taludes

Cuantificación de la amenaza según las pendientes de los taludes en la unidad III						
Clasificación	Pendiente (ángulo de inclinación)	Ponderación		Sumatoria de ponderaciones - tipo de amenaza	Descripción de la Amenaza	
		Factor variable 1	Factor variable 2			
Muy baja	0 a 5% (0° a 8,5° grados)	* *Amenaza baja a muy baja			Baja	
Baja	15 a 30% (8,5° a 16,7°)	0.3*	0.1	5.5	II	Baja
Mediana	30 a 35% (16,7° a 26,6°)		0.4	5.7	III	Moderada
Alta	50 a 100% (26,6° a 45°)		1.0	6.6	IV	Alta
Muy Alta	Más del 100% (más de 45°)		1.6	7.0	V	Muy alta

\* El buzamiento de los planos de foliación en su mayoría es contrario al de la cara de los taludes

\*\*En pendientes muy bajas para esta zona no se toma en cuenta el factor estructura

En el sector donde se encuentra el Barrio Blandín, el buzamiento general es en el mismo sentido de la cara de la ladera norte del Valle de Tacagua, ahí han ocurrido diversos movimientos de masas, como es el caso reciente del deslizamiento blandín. Esta zona

es considerada como de alta amenaza a los deslizamientos, lo que concuerda con el elevado número de pantallas atirantadas observadas, sobretodo en el paso de la carretera

A pesar que la foliación general de la roca es favorable, esta muestra un comportamiento geomecánico bastante malo, eso explica por que más del 70% de la ladera sur del valle de Tacagua compuesta por esta litología se considera como de alta o muy alta amenaza por deslizamientos.

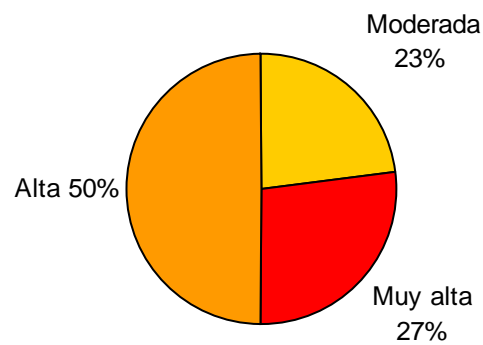


Figura 7.9.- Porcentaje del área que representan las amenazas a los deslizamientos en la unidad III

## CONCLUSIONES

---

### Conclusiones Geológicas

El Abra Topográfico de Tacagua representa una unidad fisiográfica representada por un valle en “V” entallado, producto de la erosión de la Quebrada Tacagua, que busca los planos de debilidad representados por el sistema de fallas Tacagua-El Ávila, producto del levantamiento orogénico de la Cordillera de la Costa.

De los levantamientos de campo y de la bibliografía consultada para este trabajo se evidenció que la zona está conformada por franjas de rocas metasedimentarias con bajo grado de metamorfismo (esquistos verdes) representadas por calizas, gneis y esquistos con diversa mineralogía (cuarzo, muscovita, anfíbol, grafito, feldespato, biotita, granate piritita, etc.).

De lo observado en secciones finas se concluye que la roca aun presenta características de roca sedimentaria, como en el caso de los mármoles de la Unidad II, que se observan como calizas con algo de orientación de los minerales minoritarios.

El comportamiento general de los drenajes esta representado por sistemas dendríticos que confluyen en quebradas rectilíneas, que buscan zonas de debilidad representados en su mayoría por fallas, asociadas al sistema de fallas Tacagua-El Ávila

En el lugar donde se encuentra la Unidad I, según la bibliografía afloran rocas correspondientes a los esquistos de San Julián y Tacagua representadas en la zona por gneis o esquistos (de grano grueso) cuarzo-micáceos-anfibolíticos y esquistos anfibolíticos-cuarzo-micáceos-grafitosos respectivamente, lo cual se pudo corroborar por los levantamientos realizados, reportados en el Capítulo IV.

La mayor parte de los cuatro primeros kilómetros de la autopista Caracas-La Guaira esta construida sobre las rocas marmóreas de las Calizas de Antímano (progresivas desde la 1+600 hasta la 3+400), con foliación general en el mismo sentido de la ladera en que se encuentra la vía. La roca se encuentra sumamente fracturada (Unidad II).

La Unidad III, es característica de los esquistos de Las Mercedes, representada por esquistos cuarzo micáceos feldespáticos, con intervalos de mármoles.

La litología encontrada en los levantamientos de campo concuerda con la estudiada en la bibliografía, anexada en este trabajo (Capítulo III, Geología Regional).

La foliación general al igual que la bibliografía concuerda con la investigada, salvo en algunas excepciones como en la quebrada Cantinas, y los levantamientos de las galerías exploratorias en los primeros 100 metros. Esto se debe a que en esos sectores los planos de foliación se encuentran dislocados por la cercanía con fallas apreciadas en la fisiografía a través de la fotointerpretación.

### Conclusiones Geotécnicas

El sector del Valle de Tacagua en donde se encuentran los 4 primeros kilómetros de la Autopista Caracas La-Guaira, está y estará, produciendo grandes problemas por procesos de geodinámica superficial a las líneas vitales que ahí transitan.

Mientras se elaboraba este trabajo ocurrió el deslizamiento del km 1+400, se aceleró el deslizamiento del Barrio Nueva Esparta, ocurrieron los deslizamientos Blandin y Vuelta la Llanera en la carretera vieja, y estaban en movimiento los deslizamientos 0+600, 19 de Abril y Oropeza Castillo, algo que muestra lo activa que se encuentra la geodinámica superficial de la zona.

La ladera sur del valle de Tacagua donde se encuentran los primeros 3,4 km de la autopista, pudo ser considerada antes del momento de su construcción como en equilibrio, en donde en los peores casos las fuerzas resistentes excedían a las deslizantes por muy poco. Ese equilibrio fue roto por el agente antrópico impuesto sobretodo desde la construcción de la autopista Caracas-La Guaira.

Las condiciones originales que se tomaron para la construcción de la autopista han cambiado desde la fecha de su fundación, debido al asentamiento sin medida de viviendas informales, que ha ocupado todos los espacios posibles, estables e inestables. Estas estructuras presentan un crecimiento descontrolado e improvisado, que ha traído como consecuencia una mala

canalización de las aguas servidas que terminan infiltrando dentro del perfil de meteorización de la masa rocosa, así como dentro del material de relleno, bote o coluvial existente, disminuyendo las condiciones intrínsecas de resistencia al corte del material en los posibles planos de deslizamiento.

La metodología utilizada para sectorizar el grado de amenaza en zonas de igual magnitud, dio resultados satisfactorios, que corresponde con la realidad del área estudiada, en líneas generales se concluye de la amenaza obtenida por cada litología lo siguiente:

- Unidad I: A excepción de los lugares donde ya ha habido deslizamientos se considera que el área presenta amenaza moderada, lo que indica que en los barrios de la Carretera Vieja Caracas-La Guaira existen algunas condiciones que puedan causar inestabilidad, pero estas necesitan de alguna variación contundente que provoque inestabilidad, como en el caso de los cortes mayores a 30° realizados para el paso de la carretera, y que tienen viviendas con malos servicios de drenajes en la corona de los taludes considerados como de alta amenaza a deslizamientos.
- Unidad II: A pesar que la roca presenta una gran competencia, esta se encuentra sumamente fracturada, con buzamiento de la foliación en el mismo sentido de la ladera en que se encuentra, factores fundamentales para que la zona quedara considerada como de alta y muy alta amenaza a los deslizamientos. Las áreas consideradas como de muy alta amenaza corresponden a los deslizamientos reportados en este trabajo y a las pendientes de la topografía mayores a 45°. Hay que tomar en cuenta que las zonas habitadas a cotas superiores de las coronas de deslizamientos, son consideradas como límites de retrogresión, ya que cuando ocurra el desconfinamiento del material por el vacío dejado en los movimientos actuales estos se van a convertir en parte del movimiento de masa.
- Unidad III: Es la que presenta menor competencia litológica, debido a que su mineralogía característica es más vulnerable a los procesos de meteorización profunda, sumado al alto grado de fracturamiento en que se encuentra la roca, factores que hicieron que la ponderación de amenazas sea alta y muy alta para las laderas en donde se encuentran los primeros 1.600 metros de la autopista, con pendientes mayores a 26°,

esto a pesar que la foliación general de la roca buza en sentido contrario a la ladera sur del valle.

Para realizar una zonificación de amenaza a deslizamientos, hay que tener en cuenta que lo más importante es realizar un buen trabajo de reconocimiento y geología de superficie, utilizando criterios objetivos que puedan ayudar a estimar las condiciones geodinámicas del área. No es recomendable utilizar los fundamentos teóricos existentes como una verdad absoluta, por ello se le asigna una mayor ponderación a la evaluación realizadas por expertos, en base a los levantamientos realizados en campo. Las tablas como las de AMBALAGAN (1992), son muy genéricas y a veces no se corresponden con la realidad de algunos lugares, por ello fue necesario adaptarla al Valle de Tacagua, logrando conseguir buenos resultados.

Los pilotes colocados para frenar el deslizamiento que está ocurriendo en el km 0+600 han dado buenos resultados, en vista que la instrumentación colocada ha evidenciado desaceleración del movimiento, pero hay que ser enfáticos en que esta solución debe ser tomada como algo temporal que permita el buen funcionamiento de la vía mientras se construya una alternativa vial, para luego poder desincorporar los 4 primeros kilómetros de la autopista existente, por lo menos como vía principal.

En el lugar donde ocurrió el deslizamiento de 1971, quedaron bloques de gran magnitud que fueron volados con explosivos a mediados del año 2005, se presume que dentro de la masas de material deslizado y que posteriormente se llenó de vegetación, existan bloques que puedan causar problemas a futuro.

Los deslizamientos ocurridos en los Barrios 19 de Abril y Oropeza Castillo, son causados por la modificación a la topografía realizada para el paso de la vía, una evidencia de esto es que estos movimientos de masa se ubican a mayor altura que la vía, estando el talud inferior relativamente estable.

Para la fecha de entrega de este trabajo ya había ocurrido el cierre del paso de vehículos por sobre el Viaducto No. 1, y se estaba comenzando a construir una solución definitiva para solventar el problema del flujo vehicular entre la capital y el litoral central. Esta solución plantea la construcción de un viaducto de 900 metros de longitud, que va desde el estribo norte del antiguo Viaducto No 1, hasta la progresiva de obra 2+700 en donde existía una estación de

gasolina, y donde se ubica el deslizamiento del barrio 19 de Abril, reportado en este trabajo. El talud del estribo norte de esta nueva vía no presenta mayor problema para la vida útil de la misma, mas que el desprendimiento de bloques aislados de roca y quizás algún deslizamiento de magnitud controlable, si se toman medidas de estabilización oportunamente.

Del trabajo de geología de superficie local realizado para este trabajo se encontraron evidencias tangibles de posibilidad de deslizamientos por falla planar en el barrio Nueva Esparta, debido a que la foliación de la roca posee rumbo pseudoparalelo al de la ladera sur del Valle de Tacagua, y buzamiento en el mismo sentido con menor ángulo. También se observa la presencia de un material coluvial que cubre la masa rocosa y que ha desplazado la quebrada Tacagua al norte en una especie de injustificable meandro. Se observaron escarpes de deslizamiento en la topografía sumado al hallazgo de una superficie de deslizamiento antiguo reportada por SALCEDO & ORTA (1987).

En las fotos aéreas comprendidas entre 1971 hasta la actualidad, se observa un gran crecimiento demográfico informal y una alta ocurrencia de deslizamientos, lo cual señala que la geodinámica superficial del valle de Tacagua está muy activa

Existe la posibilidad que el deslizamiento del Barrio Nueva Esparta fue reactivado por el sismo de Caracas en el año 1967. Si se toma el desplazamiento acumulado antes del comienzo de la instrumentación, obtenido de la expresión fisiográfica, y se prolonga la curva de desplazamiento vs tiempo hacia el pasado, la intercepción de esta con la deformación inicial igual a cero, está cercana a 1967.

De la construcción de las galerías exploratorias se concluyo para la época, que el agua no había sido el factor detonante para activar el deslizamiento del Barrio Nueva Esparta. El estado de alto fracturamiento de la roca, sobretodo la que compone la brecha de falla reportada en el Capítulo IV, y la presencia de material coluvial ha causado que el agua servida y meteórica percole rápida y caprichosamente dentro la masa rocosa, posiblemente también a través de la superficie de deslizamiento. Si bien es verdad que este factor no es el causante del deslizamiento, si ha tenido alguna repercusión en el aceleramiento del deslizamiento reportado en los últimos años.

La vía de contingencia que se estaba construyendo para la fecha de elaboración de este trabajo, presenta alta y muy alta amenaza a los deslizamientos en algunos tramos, sobretodo a la caída de bloques. Hay que tomar en cuenta que esta vía esta planificada para corta duración, mientras se lleva la emergencia planteada por la suspensión del paso por el Viaducto No. 1, que se debe superar en el transcurso del 2007, cuando se ha prometido estar listo el nuevo viaducto. Para el buen funcionamiento de esta solución de corta duración se deberá llevar un continuo chequeo de los taludes construidos con pendientes iguales a  $70^\circ$  (0,5:1), y rápidas medidas de contención de problemas de inestabilidad que se puedan suscitar en su vida útil, sobretodo en la ladera sur del valle.

En el año 1989 se planteó la rápida construcción del viaducto que ahora se está proyectando para evitar la emergencia que hoy se vive, y también se planteo que después de terminada esta solución se comenzara a construir un viaducto que empalmara con el ya terminado, y que llegaría hasta la progresiva 0+750 en donde se intercepte con la vía existente. Debido a que en los primeros 750 metros de la autopista existen problemas serios de inestabilidad, como en el caso del deslizamiento del km 0+600, se sugiere emprender la construcción de esta solución vial hasta el antiguo peaje o algún lugar cercano (km 0+000 de la actual vía). Sería oportuno buscar el empalme con la Av. Boyacá.

Se propone realizar un estudio a mayor detalle de la amenaza y el riesgo a los deslizamientos; así como de los problemas geotécnicos de los barrios de la ladera sur del Valle de Tacagua a escala conveniente, para obtener una data cartográfica más detallada de los sectores que deben ser desalojados por encontrarse en los límites de retrogresión de los deslizamientos, así como cartografiar problemas más locales.

Al igual que lo concluido en el año 1989 por INGEOTEC C.A., con este trabajo se afirma que debido a la magnitud y complejidad del deslizamiento del Barrio Nueva Esparta, no es posible su estabilización, y si esta se pudiera hacer, los costos la haría una solución desproporcionada. Las diversas soluciones planteadas para la construcción de terraplenes, son viables pero no como solución de estabilización de la autopista, sino como plataforma para la construcción de nuevas vías, ya que para equilibrar las fuerzas actuantes en la ladera sur del valle se debe esperar que esa estructura de suelo absorba la energía cinética de los deslizamientos y la convierta en deformación, para lo cual seguramente sobrepasaría la tolerancia de movimiento que puede permitir tramos de la vía ya existentes, sobretodo si se piensa como solución para



rescatar el Viaducto No 1. También hay que tomar en cuenta que el problema de la autopista es en los 4 primeros kilómetros, por ende la única solución planteada que salvaría de este problema es un terraplén diseñado para cubrir por completo el Valle de Tacagua desde Caracas hasta el Viaducto No. 1.

Según SALCEDO (1987) Las evidencias mostradas en la foto del año 1937, donde se observa que ya existían vestigios de algún movimiento de masas en el lugar donde se fundó la pilastra y estribo sur del Viaducto No 1, hace interpretar que el lugar donde se fundó esta estructura no era el adecuado.

**BIBLIOGRAFÍA**

---

- AUDEMARD, FRANK (2002) *Schematic map of Quaternary fault of Venezuela. Informe Inédito. FUNVISIS. Caracas. 1-20 p*
- ACOSTA LUIS A. (1997). *Estudio de la traza activa de la Falla de Acagua-El Avila para fines de microzonificación Sísmica del corredor estratégico Caracas-Litoral Norte-Central de Venezuela. Memorias del VIII congreso Geol..S.V.G. tomo I 21-27.*
- AGUILERA, J. (1981). *Venezuela y sus ambientes naturales. Coedición de la Facultad de Humanidades y Educación de la U.C.V. y el Colegio Universitario de Carúpano, Caracas, Litotecnia, 122p.*
- AUDEMARD, FRANK A. (1984). *Evaluación geológica de la Cuenca del Tuy para fines de investigaciones neotectónicas. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 226p. Trabajo Especial de Grado. INEDITO.*
- AYALA-CARCEDO (2002). *Una reflexión sobre los mapas de susceptibilidad a los movimientos de laderas, su naturaleza, funciones, problemática y límites. Instituto Geológico y Minero de España. España p.7-20*
- AYALA-CARCEDO (1991). *Manual de Ingeniería de Taludes. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, 459 p.*
- CABRERA, M. (1984). *Geología y geotécnica del área metropolitana de Caracas. Zona de Filas de Mariches, Dpto. Sucre, Edo. Miranda. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 196 p. Trabajo Especial de Grado. INEDITO.*
- CHACON, J Y IRRIGARÍA, C. (2002). *Metódo de análisis a la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante S.I.G. Universidad de Granada, Dpto. de Ingeniería Civil. Granada, p.21-34.*
- F.O. PATTON (1971). *Estabilidad de taludes en suelos residuales. IV Congreso Panamericano de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. V 01.1. : 93185.*
- DENGO, G. (1951). *Geología de la Región de Caracas. Bol. Geol. 8. (1): 38-115.*
- DE SANTIS, F., DURVILLE, J.L., POUGET, P., SEVE, O., SINGER, A (1993). *Suivi instrumental rustique des glissements de terrain dans les zones marginales de Caracas: Le cas de Nueva Tacagua. Paris. PANGEL (19):8-15.*

- DEERE, D Y PATOON, F (1971), *Estabiliadd de taludes en suelos residuales*. University of Illinois, USA. P.93-175
- DIAZ G. JORGE F. (1994). *Estudio Geológico Geotécnico de la Urbanización Nueva Tacagua*. Distrito capital. Trabajo especial de Grado. INEDITO
- FANTI, O ; FRONTADO, L. Y VECCHIO, A (1980). *Tectónica y Sismicidad del área de Caracas y sus alrededores*. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica..Trabajo Especial de Grado. INEDITO.
- FRANCESCHINI, F. (1984) *Geología y geoténia del área metropolitana de Caracas. Zona de Filas de Mariches, Dtto. Sucre, Edo. Miranda*. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofisica.Trabajo Especial de Grado. INEDITO.
- GONZALES, A.; MILLAN, J.; SOLER F. Y VESGA L. (2000) *Evaluación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa en Santafe de Bogotá-Colombia*. INGEOCIM, Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogoá-DPAE. Colombia-Bogotá . p 1-19.
- GONZALES DE JUANA, C.; ITURRALDE DE AROCENA, J Y PICCARD, X. (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Ed. Foninves, Caracas,Tomo 1. 4071'.
- GONZALES ALVARO Y OTROS (2000). *Terminos de referencia para el estudio de riesgo por inestabilidad del terreno. Seminario de riesgos por por fenómenos de remición en masa*. Colombia p. 1-13.
- GONZALEZ DE VALLEJO, LUIS (2002). *Ingeniería Geológica*. Editorial Pearson-Prentice Hall, España-Madrid, p.2-695.
- INGEOTEC (1994). *Informe geotécnico N° 1. Terraza "O", bloques 23 y 24, sector Nueva Tacagua*. Distrito Federal. Informe técnico. 9 p. más anexos.
- INGEOTEC (1991). *Estudio geotécnico para el estudio de galerías exploratoris y de drenaje, Viaducto No. 1 Autopista Caracas-La guaira*. Distrito Cápital. 70p. más anexos
- ISTED (1988). *Aménager les terrains en pente*. Institut de Sciences et des Techniques de l' Equipement et de l' Environnement pour le Développe-ment. Paris, 56 p.

- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1977). *Manual de Taludes*. Madrid. España.
- LABORA TOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES (1976). *Stabilité des talus. Vol 2. Déblais et remblais*. Paris, LCPC, 196 p.
- LEOUREIL, S., T A VENAS, F. (1981). *Pitfalls of Back-Analyses*. Proc. Tenth International Conf. on S.M.F.E. Stockholm. Vol.1.: 185-190.
- LXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA (1999). Disponible en: <http://www.lexicoestratigraficodevenezuela.com>.
- LITTLE, A. L. (1969). *The engineering classification of residual tropical soils*. Proc. Inter. Conf. Soil & Found. Engng. 7th Mexico, 1: 1-10.
- MARQUEZ M., O. (1993). *Geología y geotécnica de una zona comprendida entre el km. 4 Y el km. 16 de la carretera panamericana, municipio Los Salias, Edo. Miranda*. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 148 p. Trabajo Especial de Grado. INEDITO.
- MARQUEZ O., R., Y SINGER, A. (1977). *Zonificación preventiva de riesgos geológicos para el ordenamiento geotécnico del sector urbano colinas de Sta. Mónica Dto. Federal*. Memorias V Congo Geol. Ven. Tomo IV.p. 1749-1758.
- MENDEZ, M. (1983) *Distribución anual de los deslizamientos de tierra en el área metropolitana de Caracas (1970/1981). Ensayo de correlación con las precipitaciones atmosféricas*. XXXIII Convención anual de Asovac, Vol. 34, p.533.
- MENENDEZ, V. (1966). *Tectónica de la parte central de las montañas occidentales del Caribe, Venezuela*. Boletín Geológico 8 (15): ] 16 -139.
- MONTES, L. & SINGER, A. (1977). *Inventario y diagnóstico geotécnico aplicado a sectores urbanos*. Memorias V Congo Geol. Ven. Tomo IV. : 1699-1708.
- OSTOS, M. NAVARRO, E Y YORKYS, F. (1987). *Revisión y redefinición de las Formaciones Las Brisas y Las Mercedes del Grupo Caracas. Sistema montañoso del Caribe. Definición de la Unidad Litodémica de Corrimiento La Costa*. Ieras Jornadas de investigación de ingeniería. (U. C. V. Fac. de Ingeniería). Mem. : 7175.
- PESTI, A. (1988) *Experiencias Derivadas del Diseño y Construcción de las Obras de*

- Estabilización del cerro Gramoven, Autopista Caracas-La Guaira. IX Seminario de Geotecnia. venezuela. 9p*
- PLAZA, 1. (1974). *Observaciones preliminares de las características geotécnicas de la zona de El Cafetal Petare*. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 125p. Trabajo Especial de Grado. INEDITO.
- RAGAN, D. M.(1973). *Structural geology, and introduction to geometrical techniques* (second edition): John Wiley & Sons, New York, 288 p.
- RAMSAY, 1. G. & MARTIN 1. HUBER (1989). *The techniques of Modern Structural Geology*. (Third printing).Vol 2. London. Academic Press. 700 p.
- ROJAS, C. & LUGO M. (1983). *Inventario nacional de riesgos geológicos*.Caracas, FUNVISIS, 26p.
- SALCEDO, D. (1978). *El uso de las proyecciones hemisféricas como técnica de predicción y análisis de problemas de estabilidad de taludes en macizos rocosos*. Trabajo de ascenso a Profesor Agregado. Departamento de Geología, U.C.V. 78 p.
- SALCEDO & ORTAS (1994). *Comportamiento del deslizamiento de la ladera sur del Viaducto No. 1 Caracas-La Guaira*. Boletín sociedad Venezolana de Geotecnia (1994). Venezuela. 31 p.
- SANCIO T., R (1986) *Exploración de los resultados de diversos ensayos y del retrocáculo en la determinación de la resistencia al corte de la filita de Caracas*. IX Seminario de Geotecnia S.V.M.S.I.F. : 379-399.
- SEIDERS, V. (1965). Geología de Miranda Central, Venezuela. Bol. Geol.298-416.
- SGAMBA TTI, 1. (1976). *Estudio geotécnico de una zona ubicada en los alrededores del Hatillo, Edo. Miranda*. Caracas. U. C. V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado. INEDITO
- SINGER, ANDRE (1977). *Tectónica Reciente, Morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el graben de Caracas*. Memorias V. Congreso Geol. Ven. Tomo IV. P.1861- 902.
- SCHUBERT, VALASTRO & COWART (1977) *Evidencias del levantamiento reciente de la Costa Norte-central (Cordillera de la Costa) Venezuela*. 10 p.

SOCIEDAD VENEZOLANA DE MECÁNICA DE SUELOS E INGENIERÍA DE FUNDACIONES (1989)  
*Problemática del Viaducto No. 1 Autopista Caracas-La Guaira*. Inédito, 25 p.

SOWERS, G. F. (1953). *Soil problems in the southern Piedmont region*. Proc. ASCE, Vol. 80,  
Separate 416, 18 pp.

SUARES, DIAZ (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Escuela de  
Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Santander Colombia

TALUCKDAR, S. Y LOUREIRO, D. (1982). *Geología de una zona ubicada en el segmento  
norcentral de la cordillera de la costa, Venezuela: Metamorfismo y deformación. Evolución  
del margen septentrional de suramérica en el marco de la tectónica de placas*. GEOS 27,  
Caracas, : 15-76.

TRUZMAN P., M. (1990). *Estudio de la meteorización de rocas metamórficas en las colinas del  
área metropolitana de Caracas*. Caracas U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología,  
Minas y Geofísica. 308 p. Trabajo Especial de Grado. INEDITO.

OSTOS , M. (1987). *El complejo Avila Cordillera de la Costa*. Jornadas 50 Aniversario Escuela  
de Geología. Minas y Geofísica. Geos 29: 205-207.

Urbani, Franco (2002). *Guia de excursión. Geología del área de la Autopista y Carretera Vieja  
Caracas-La Guaira, Distrito Cápital y Estado Vargas*. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería  
departamento de Geología, Funvisis e Infrasur. 60 p.

Urbani, Franco (1993) *Contribuciones Geológicas en las Obras Venezolanistas de Alejandro de  
Humboldt*.

EL VIADUCTO ENFERMO, *trabajo de investigación sobre el Viaducto No 1*, (1999). Disponible en:  
<http://www.viaducto1.org>

WEHRMAN P. M. (1972). *Geología de la región Guatire - Colonia Tovar*. IV Congreso Geol Ven.  
T. IV: 2093 : 2121.