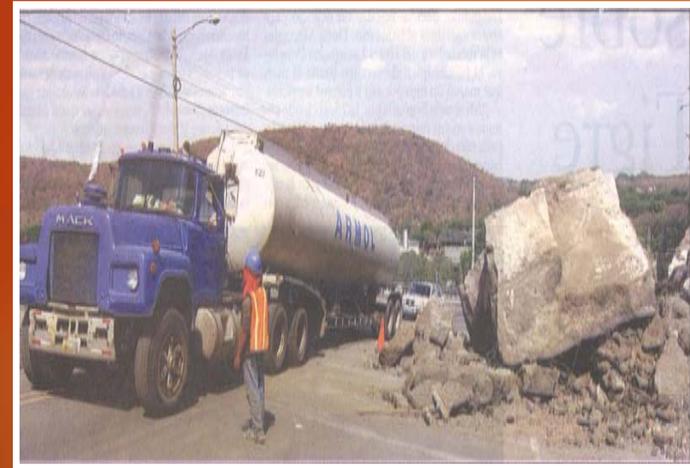


ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERA EN MANAGUA Y ALREDEDORES

Dr. Tupak Obando
Geólogo



INDICE GENERAL

- 1.- INTRODUCCIÓN
- 2- OBJETIVOS
- 3- CONCEPTOS GENERALES
- 4- RAZONES DEL ESTUDIO DE ϕ , α y a_s EN LOS MOVIMIENTOS DE MASAS
- 5- METODOLOGIA DE TRABAJO
- 6- ENSAYO DE RESISTENCIA SPT
- 7- CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL FACTOR DE SEGURIDAD (FS)
- 8- PERSPECTIVAS DEL ESTUDIO

I- INTRODUCCIÓN

La Ciudad de Managua se asienta en una superficie relativamente plana, el cual es interrumpido en varios lugares por lomas, la mayoría de origen volcánico. La base sobre el cual descansa Managua pertenece a la parte Superior del Grupo Las Sierras.

Ésta es cubierta por materiales piroclásticos del volcanismo Reciente, que consiste de lapillo, pómez, cenizas, tobas y otros. Los suelos se clasifican como limos no cohesivos, arenas y gravas poco consolidados.

La estratigrafía del Grupo Managua, está conformada del techo a la base por Toba El Retiro; Pómez de Apoyeque; Formación San Judas; Pómez de Apoyo; Fontana Lapilli; Depósitos de Gravas; y finalmente Grupo La Sierra.

El suelo opera como un filtro que ajusta algunas características de la onda a sus propiedades dinámicas particulares.

II. - Objetivos

1. Crear una base de datos en EXCEL para su integración en Mapa Geológico Checo disponible en el SIG Georriesgo de INETER.
2. Calcular V_s , N y ϕ a partir de datos procedentes de ensayos geotécnicos in situ, geofísica y prueba de laboratorio para el area de estudio.
3. Establecer fórmula de amenaza por inestabilidad de ladera en Managua y alrededores.
4. Definir criterios del uso de FS y verificar el provecho que se puede obtener del estudio.

III.- Conceptos Generales

El ángulo de fricción interna, es el ángulo de rozamiento entre 2 planos de misma roca el cual varía de 25 y 45°

La mínima resistencia se obtiene en la dirección en que se ejerce el mayor esfuerzo tangencial, formando un ángulo determinado con respecto a la dirección aplicada de carga.

Depende:

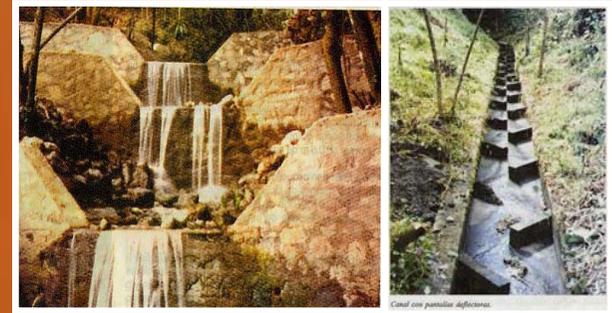
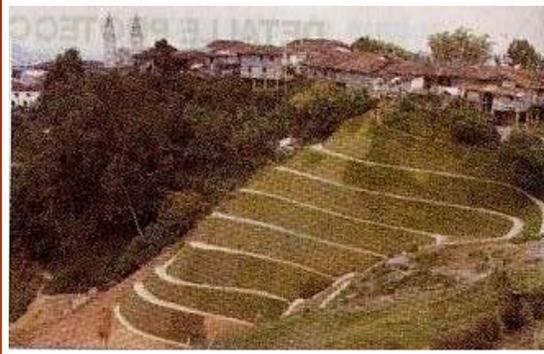
- Esfuerzos confinantes
- Presión de poros
- Velocidad de aplicación de esfuerzos

IV.- RAZONES DEL ESTUDIO DE ϕ , α y a_s EN LOS MOVIMIENTOS DE MASAS

- 1- Permite definir medidas preventivas y mitigadora a ser aplicadas en caso de roturas reales o potenciales. Así como, establecer rutas de evacuación y mejorar aún más los sistemas de avisos o alerta temprana.
- 2- Condicionan el comportamiento de roca y suelos, potenciales mecanismo de rotura, dirección, velocidad, disposición, magnitud y extensión de movimientos de masas.
- 3- Determina la probabilidad de ocurrencia procesos de remoción de masa en área específica.
- 4- Permite la selección de sitios seguros y planificación del desarrollo o uso del terreno de una zona geográfica.
- 5- Permite estimar la respuesta sísmica local a partir de columnas tipo de los distintos suelos presentes en el área, incluyendo espesores, N, densidad aparente, granulometría, SPT, modulo de deformación tangencial, velocidad de onda transversales y profundidad del nivel freático y basamento.
- 6- Determinan la estabilidad del talud o factor de seguridad
- 7- Define Costo-seguridad, grado de riesgo aceptado y el diseño de método de voladuras en proyectos constructivos (obras de infraestructura lineal o vertical, tales como: carretera, puente, cauce, casas y otros).

8- Da pauta a la modelación de factores influyentes en movimientos de masas que nos dice sobre su comportamiento presente y futuro.

9- Condiciona la selección de los métodos de ingeniería e instrumentación (SPT, Prueba triaxial, refracción sísmica y otros) apropiado para la conformación de escenarios de riesgo por inestabilidad de laderas y su control.



10- Permite simular sobre el terreno situaciones a la que puede verse sometido un talud o ladera al construir una obra o estructura

11- Establecer FS; curva G de diseño o de relación, al igual que el amortiguamiento para el caso arcillo o arenas para incorporarlo en las normativas municipales

12- Colaboración en la capacitación de personal técnico de las alcaldías y defensa civil mediante charlas y conferencias.

13- Coordinación con las autoridades locales como son: las alcaldías municipales y organismos de prevención, entre otras.

14- Vigilancia de áreas críticas y atención en casos de emergencias. A su vez, permite correlacionarla con los datos de precipitación en tiempo real que pueda desencadenar movimientos de laderas y de la Red Sísmica Nacional (Sistema de Alerta Temprana).



V- METODOLOGIA DE TRABAJO

1- Se empleó la base de datos geotécnicos procedentes de sondeos geotécnicos contenidos en la monografía de Espectro de Respuesta en el área de la Ciudad de Managua, del Proyecto Managua: Ciudad Más Vulnerable; y del Proyecto JICA para tener una cobertura uniforme de Managua y sus alrededores

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	X	Y	COD	SITE	LAYER	TS	VS	H/ft	DEPTH/metros	N	Φ	$\text{tang } \Phi$	R_{Φ}
2	573050	1341078	I-1	Esso	2		4 188	4.78536	3.61188	9	36	0.739	1.3
3	575089	1343787	I-2	Linda Vista	2		4 283	2.4384	3.5052	29	39	0.812	4.4
4	574983	1344717	I-3	Proy. Aguas Servidas	2		3 286	0.9144	2.8956	30	39	0.824	4.6
5	575878	1344734	I-4	Proy. Aguas Servidas	2		8 336	4.572	2.8956	48	46	1.035	7.3
6	577508	1342978	I-5	Montoya	3		1 296	3.048	5.1816	33	41	0.880	5.0
7	577423	1343447	I-6	Julio Martinez	2		3 254	3.2004	4.40436	21	35	0.713	3.2
8	578570	1343010	I-7	Escombros	2		4 334	1.6764	4.191	47	46	1.023	7.2
9	578891	1343653	I-8	Proy. Aguas Servidas	1		3 215	4.572	2.286	13	31	0.604	2.0
10	579012	1343920	I-9	Teatro Ruben Dario	2		5 249	7.9248	6.4008	20	35	0.700	3.1
11	579488	1343588	I-10	Instituto Loyola	3		5 362	0.6096	5.7912	60	50	1.177	9.1
12	579556	1342512	I-11	Edificio Silvio Mayora	2		3 391	3.048	3.3528	75	54	1.383	11.4
13	580815	1343182	I-12	CC. Ciudad Jardín	3		5 336	1.8288	4.8768	48	46	1.035	7.3
14	585772	1343185	I-13	Proy. Aguas Servidas	3		8 341	3.3528	4.4196	50	47	1.058	7.6
15	588507	1343185	I-14	Km 8.5 Carret. Norte	3		5 326	2.8956	5.8674	44	45	0.988	6.7
16	585578	1342438	I-15	Bello Horizonte	2		8 331	4.2672	3.9624	46	45	1.012	7.0
17	581851	1343180	I-16	TECNICSA	3		5 391	2.4384	4.8768	75	54	1.383	11.4
18	581737	1335812	I-17	San Isidro	3		8 302	2.286	5.2578	35	41	0.883	5.3
19	587171	1342971	I-18	IANIC Carret. Norte	3		5 341	2.286	3.429	50	47	1.058	7.6
20	587430	1343642	I-19	Proy. Aguas Servidas	4		8 341	2.8956	4.6482	50	47	1.058	7.6
21	587818	1343887	I-20	Proy. Aguas Servidas	3		8 341	1.3716	3.8862	50	47	1.058	7.6
22	587818	1343887	I-21	Hotel Las Mercedes	4		3 209	0.4572	5.2578	12	30	0.589	1.8
23	590017	1342333	I-22	Proy. Aguas Servidas	3		5 324	1.8288	5.4864	43	44	0.977	6.6
24	587979	1342781	I-23	Costado N.Medo. Mayor	3		8 363	3.6576	4.2672	60	50	1.177	9.2

2- Se representó el perfil del suelo en la base de datos Excel n capas horizontales caracterizado por un espesor, Vs, Número de Capa, ϕ y otros. A partir de estos datos es posible calcular el Módulo Cortante G.

3- Se hizo uso de ecuaciones matemáticas para obtener datos sobre la Vs, N y ϕ , el cual se presenta en la siguiente diapositiva

Ecuaciones de calculo.

Obtenemos

- Mapa temático en Overlay de ϕ y pendiente sobre un Mapa Geológico Checo, de aceleración JICA
- Relación de curva de N, As y Pendiente de Managua

Para ello se utilizó la relación de Imai y Fumoto(1975) para determinar velocidad de Corte, de donde es posible obtener el modulo cortante de rocas y suelos de Managua:

$$V_s = 89.9N^{0.341}$$
$$\phi = (20N)^{0.5} + 15$$

$$G = \rho V_s^2$$

Donde: $\rho = \gamma$ (densidad de masa)/g (peso volumétrico)
G = modulo cortante

Obtenemos

$F_s = N_1 * \tan \phi$
N1:obtenemos relación de curva Numero de Estabilidad(N1 y Pendiente

Ensayos realizados

➤Laboratorio:

Prueba de compresión triaxial cíclico.
Análisis de Curva Esfuerzo-Deformación Unitaria
Criterios de Mohr-Coulomb

➤Campo:

Sondeo de Penetración Estándar (SPT)
Refracción Sismica y Método Downhole.

Obtenemos

- Cohesión
- Ángulo de fricción interna
- Esfuerzos y deformaciones axiales, Vs, Propiedades físicas resistentes, módulos dinámicos, y análisis de testigo de perforación otros.

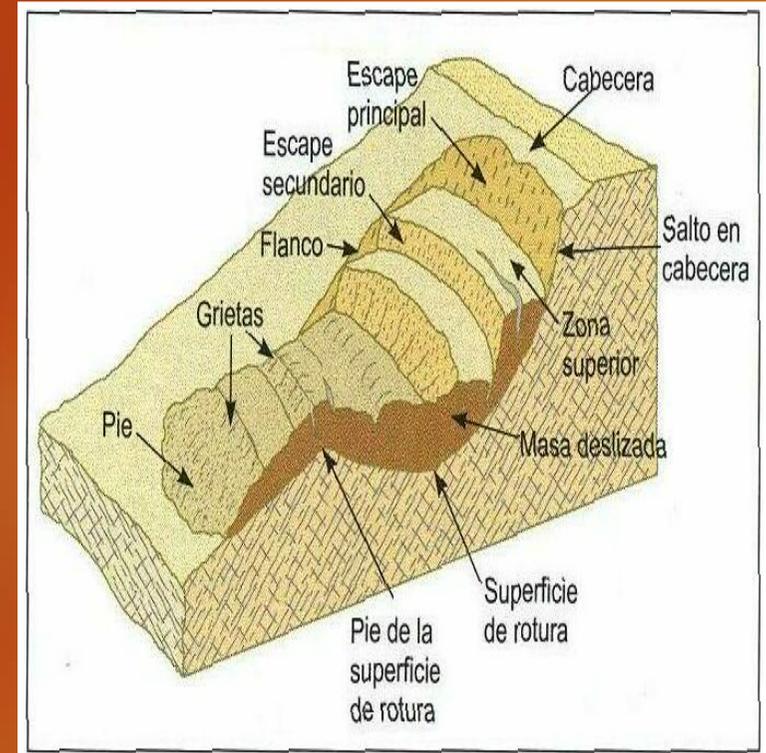
Obtenemos

- Corte geológico del Sitio.
- Espesor de capas
- Contactos o límite entre capas
- Fracturas y fallas significativas
- Formaciones geológicas
- Propiedades física-mecánica de los materiales
- Testigo de perforación a cualquier profundidad del corte y otros

Criterios de Selección de la ecuación Imai y Fumoto 1975

- a. Propagación en sentido vertical de ondas cortantes desde la formación rocosas subyacentes.
- b. Sismos fuertes con profundidad somera. Las ondas sísmicas inciden con pequeño ángulo respecto a la vertical.
- c. Configuración del suelo
- d. Las fronteras de los depósitos estratificado, bien definidas u homogéneo son horizontales(modelo de viga cortante vertical)

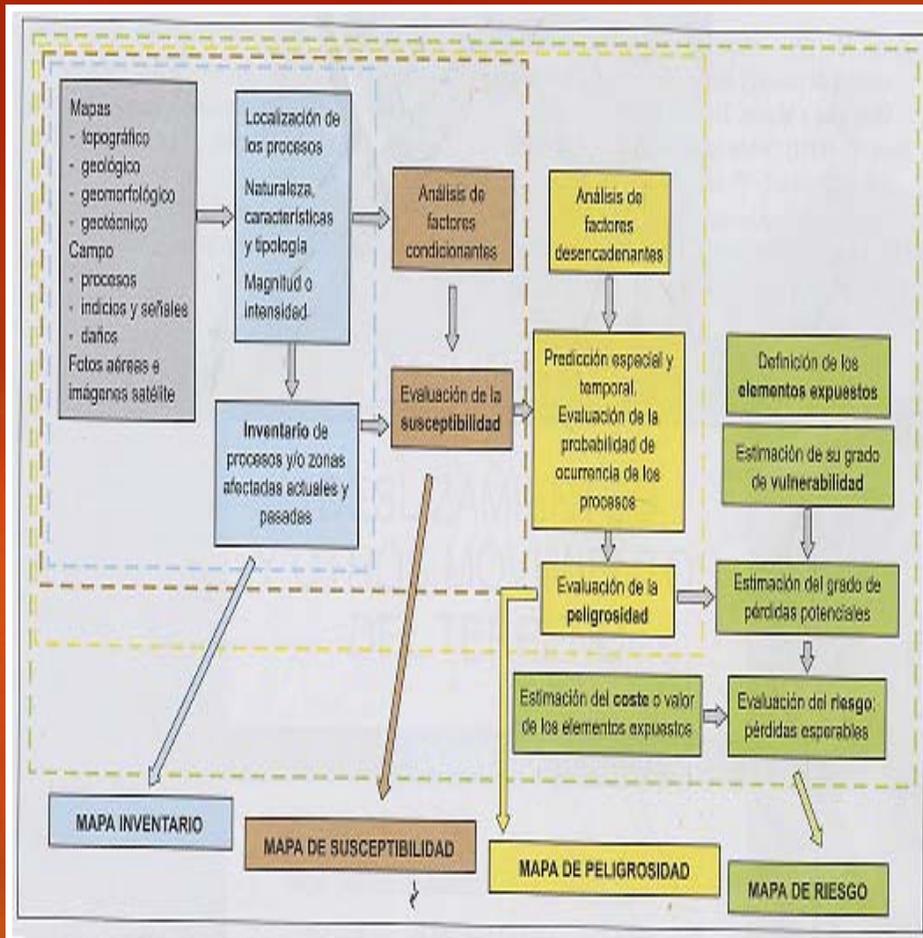
4- Se empleó una profundidad de la superficie de deslizamiento menor de los 5m con base a criterios de campo



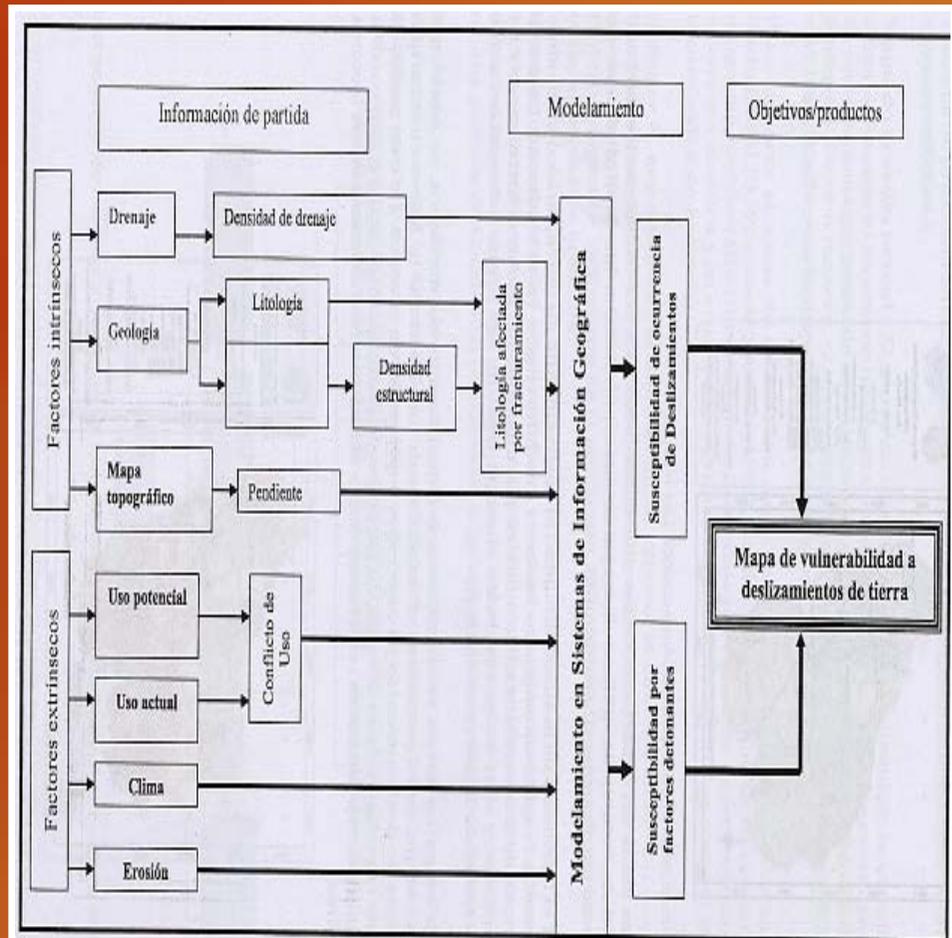
Componentes de un movimiento de masa

5- Se obtuvo ecuación de amenaza por inestabilidad de ladera como $H = (Pt * \phi * \text{litología}^*) * (as)$ el cual permite conocer mediante niveles de calificación de cada variable su aporte a los fenómenos de movimientos de masa, siendo los primeros 3 condicionante susceptibles y el último desencadenantes o disparador.

6. Finalmente, los valores numéricos calculado de pendiente del terreno, ángulo de fricción interna y aceleración máxima del suelo se plasma en el mapa geológico de los checos que se presentan en las charlas a continuación.



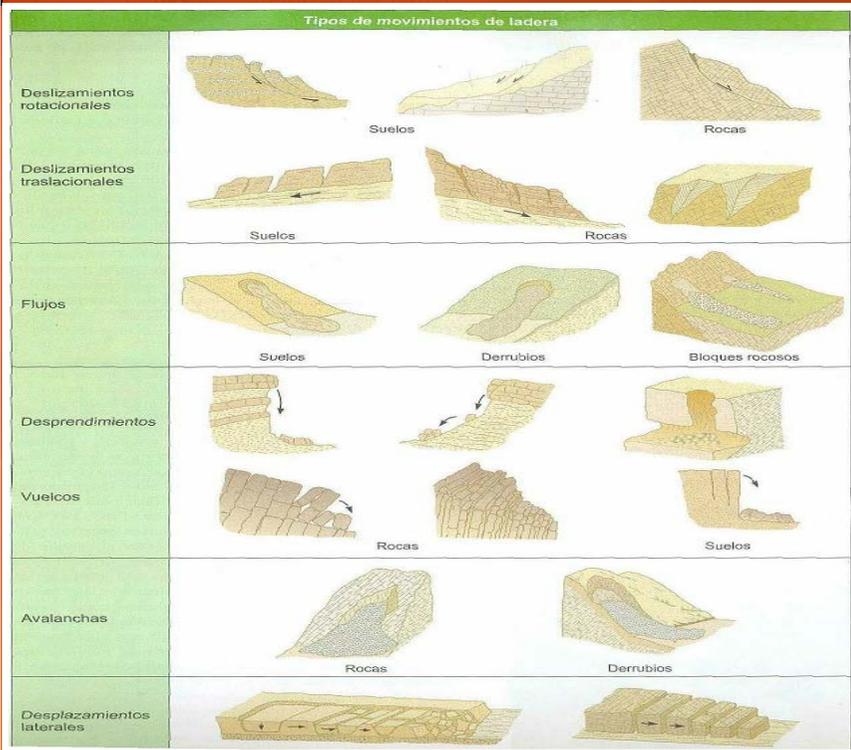
Fuente: Ferrer, 1991



Fuente: Acuña, 2005

Modelos metodológicos conceptuales para realización de los mapas de susceptibilidad, peligrosidad y riesgo por Movimiento en Masas

Ventajas	Limitaciones
1. Correlación de datos geotécnico, sísmicos y de pendiente del terreno.	1. No se considera parámetros como porosidad, precipitación, mecanismo de rotura, extensión, dirección, velocidad de movimiento de masas, dirección de esfuerzo, velocidad de los esfuerzos, coeficiente de presión intersticial, cohesión , grieta de arranque, humedad del suelo, grado de saturación, plano de debilidad estructural, forma e inclinación de laderas, presión de poro, nivel freático, fracturación y otros.
2. Creación o incorporación de tablas de atributos geotécnicos a base SIG-Georiesgo.	2. No define los tipos y características de procesos de movimiento en masas, origen de su desarrollo, importancia, daños provocados, grado de actividad, diferencia uno de otros, y otros.
3. Obtención de valores característicos de parámetros resistentes de roca y suelos; Curvas tensión-deformación representativa de su comportamiento.	3. Escaso empleo de mapa topográfico y fotos aéreas y otros;



Tipos de Procesos de inestabilidad de ladera o taludes

Fuente: G. Vallejo, 2002

Factores influyentes en la inestabilidad de los taludes o laderas.

1. Estratigrafía y litología (grado de alteración y meteorización, composición y textura).	1. Sobrecarga estática (peso de estructuras o edificios, tránsito de vehículo pesado y otros.)
2. Estructura geológica	2. Carga dinámica (fuerza pseudoestática en función de la aceleración máxima horizontal debida al sismo)
3. Condiciones hidrogeológica y comportamiento hidrogeológico (presiones intersticiales, resistencia al corte, grado de saturación, nivel piezométrico y freáticos, coeficiente de permeabilidad, conductividad hidráulica, gradiente hidráulico, transmisividad y coeficiente de almacenamiento)	3. Cambios en las condiciones hidrogeológicas.
4. Propiedades físicas, resistentes y deformacionales (cohesión y fricción interna)	4. Factores climáticos (en función de la pluviometría como sequía, generación de grietas, humedad del suelo)
5. Tensiones naturales y estado tenso-deformacional (tensiones verticales y horizontales)	5. Variaciones morfológicas y de geometría en las laderas
6. Relieve (pendiente y geometría)	6. Reducción de los parámetros resistentes
7. Deforestación (modificación del balance hídrico)	7. Erosión o socavación del pie
8. Meteorización (erosión interna y externa, cambios físico y químicos)	

VI.- Ensayo de Resistencia SPT.

1. Permite obtener N de resistencia a la penetración correlacionado con ángulo de fricción interna, cargas admisibles y asientos en los suelos.
2. La frecuencia habitual para la realización del SPT es cada 2 a 5m en función de las características del terreno.
3. Cuando el ensayo se realiza por debajo del nivel freático se utiliza la corrección aplicables a suelos poco permeables (limos y arenas finas):

$$N = 15 + [(N' - 15)/2] \text{ valida para } N' > 15, \text{ siendo } N \text{ el valor corregido y } N' \text{ el valor medido}$$

4. Es correlacionable con la compacidad para suelos granulares; con la densidad relativa considerando la profundidad; el ϕ aplicable a partir de 2m de profundidad. El N Permite calcular capacidad de soporte, profundidad de desplante, selección de tipo de fundamento, asentamientos diferenciales y otros.
5. Consiste en hincar tomamuestra 60cm, contando número de golpes para hincar tramos de 15cm con un mazo de 63.5kg cayendo libremente desde una altura de 76cm sobre un yunque.

VII. Consideraciones Generales sobre el Factor Seguridad

CONSIDERAR:

- 1- Variaciones que pueden ocurrir en las propiedades física del suelo, composición, G , V_s , ϕ , N_1 y α . Éstas pueden verse alterada por aceleraciones debidas a sismos en Managua.
- 2- Esfuerzos triaxiales que pueden esperarse en el terreno y sus tipos pueden provocar movimiento de masa.
- 3- Tipo de suelos o rocas; rocas frágiles se fallan de manera repentina sin indicación de el colapso inminente.
Por otra parte, los materiales geológicos sufren deformación antes de fallar, cuando existe evidencia de falla repentina debe emplearse un mayor F_s que cuando la falla es precedida por señales obvias de advertencia.
- 4- Incertidumbre en los métodos de análisis. Todos los métodos de laboratorio y de campo se basan en suposiciones simplificadas que se traducen en que las propiedades físicas calculadas sea solo aproximaciones a valores reales.
- 5- El desencadenamiento de movimiento de masa que puede ocurrir en el futuro por causa de la precipitaciones(F_s es mayor cuando es difícil de controlar)

- 6- Importancia de los factores influyentes dado a la integridad de las laderas con F_s menor para parámetros mínimos que el empleado a variables principales.
- 7- Riesgo para la vida y para la propiedad que un movimiento de masa. Cuando el movimiento de masa no implica un riesgo para la vida, sino sólo un riesgo mínimo para la propiedad, puede considerarse el uso del F_s menor.
- 8- Una estructura preventiva puede no desempeñar la función para la que fue diseñada en dependencia del F_s .
- 9- La aplicación geológica y constructiva de los F_s se establece en especificaciones de diseño o códigos de construcción elaborados por ingenieros civiles a nivel municipal.
- 10- Si el F_s se elige demasiado pequeño, la posibilidad inestabilidad de ladera se tiene inaceptablemente grande. Si se elige demasiado grande, el resultado es un diseño caro o no funcional.

VIII.- Perspectiva del presente estudio

1. Inspeccionar en el campo indicadores cinemáticos, geológicos, estructurales, litológicos, morfológicos y constructivos que presiden un movimiento de masa para confirmación de los resultados y su ampliación.

2. Integrar parámetros de velocidad de movimiento , magnitud, extensión y espesor de flujo masa

3. Calcular esfuerzos máximos principales basado en el criterio de Mohr-Coulomb, conocer la dirección y magnitud de los esfuerzos tangenciales y normales al momento de la rotura. Esto se puede obtener de las siguientes ecuaciones:

$$\tau = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\theta$$

$$\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) + \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \cos 2\theta$$

$$\tau = C + \sigma_n \tan \varphi \longrightarrow \text{Criterio Mohr-Coulomb}$$

$$\sigma_1 = 2C + \sigma_3 [\sin 2\theta + \tan \varphi (1 - \cos 2\theta)] / \sin 2\theta - \tan \varphi (1 + \cos 2\theta)$$

$$\theta = 45 + \varphi/2$$

$$\sigma_1 = 2C \cos \varphi + \sigma_3 (1 + \sin \varphi) / 1 - \sin \varphi$$

$$\sigma_1 = 2C \cos \varphi / 1 - \sin \varphi$$

4. Curva de relación G(en arena o arcilla) y amortiguamiento considerando la densidad relativa, Vs y relación

de Poisson. Esto permitirá definir parámetros de diseños y evitar realizar sondeo geotécnicos.

5. Determinar la probabilidad de ocurrencia $P_t(n) = (Nt)^n e^{-Nt}/n!$; Periodo de Retorno $Pr = 1/p$; Probabilidad de excedencia

6. Proponer modelo del subsuelo con base a propiedades físicas de N, tomando en cuenta α , espesor, V_s y ρ para el Grupo Managua. Por ejemplo: relación de densidades en la estratigrafía de Managua y los valores de N para cada tipo de material (Parrales, 2001)

Tipo de Material	Peso unitario(ton/m ³)	N(golpes por pie)
Toba El Retiro	$\rho = 1.25$	6 < N < 50
Formación San Judas	$\rho = 1.3$	13 < N < 34
Suelo Fósil	$\rho = 1.3$	10 < N < 32
Pómez	$\rho = 0.82$	10 < N < 33
Lapillo Fontana	$\rho = 1.03$	21 < N < 48
Arena(limosa, francas y gruesa)	$\rho = 1.41$	17 < N < 56
Suelo pumáceo	1.16 < ρ < 1.4	15 < N < 32
Suelo aluvial indiferenciado	1.13 < ρ < 1.32	12 < N < 32
Suelo indiferenciado color café o marrón	$\rho = 1.06$	6 < N < 29
Arcilla limosa	$\rho = 1.2$	20 < N < 66

7. Tomar máximo valor absoluto de ϕ , N_1 , α y α del terreno como expresión de movimiento de masa ante la acción de sismo o lluvias y dibujarlo en diagrama. Es decir, definir umbrales tolerables para evitar desencadenar movimiento de laderas.

8. Curva suavizada de G y otros parámetros resistentes o deformacionales.

¡Muchas Gracias!