

## 5 – Exploración geotécnica

2



## Importancia de la exploración de suelos

2

El costo de la falla es muy alto



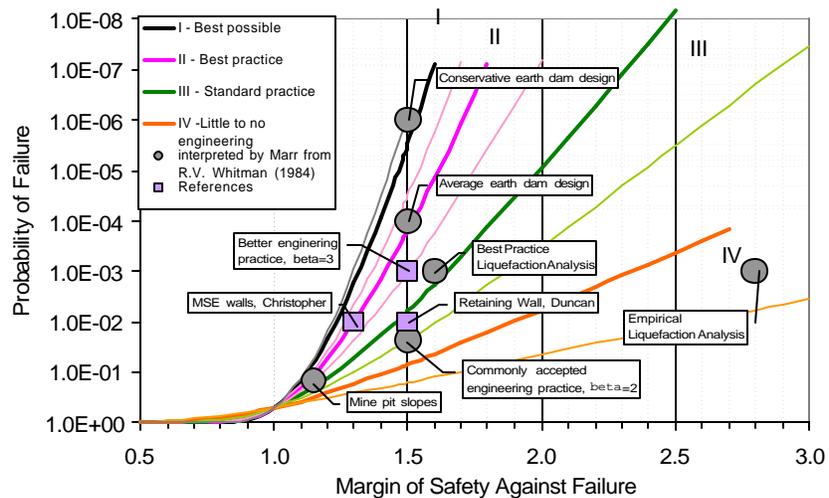
# Importancia de la exploración de suelos

Costo de ser conservador es muy alto



# Factor de seguridad vs probabilidad de falla

Geotechnical Failures  
based on original idea by Lambe, Marr and Silva



## Objetivos típicos de una exploración

5

- Determinar la ubicación y espesor de los estratos de suelo.
- Ubicar la napa de agua.
- Determinar la profundidad de la roca basal y sus características (si el proyecto lo requiere).
- Obtención de muestras para su posterior caracterización.
- Llevar a cabo ensayos en terreno y/o en el laboratorio para estimar propiedades de los distintos estratos de suelo.
- Definir problemas especiales que puedan generarse durante o después de la construcción.
- La magnitud de la exploración depende del tamaño y complejidad del talud o deslizamiento en estudio.

## Etapas típicas de una exploración

6

- Estudio preliminar.
- Reconocimiento del terreno.
- Exploración.
- Ensayos de laboratorio.
- Interpretación y análisis.

## Estudio preliminar

7

Por lo general el primer paso en la obtención de información consiste en revisar material ya publicado. Estos datos permiten a menudo reducir la extensión de la exploración.

### - Mapas geológicos

- Representan los tipos de suelo y roca expuestos en la superficie.
- Usualmente muestran la extensión de formaciones geológicas, fallas, deslizamientos de tierra importantes, etc.
- En ocasiones se pueden encontrar perfiles transversales.
- El estudio de la geología local nos ayuda a predecir posibles problemas.
- Ayudan a interpretar los datos obtenidos de la exploración del terreno.

## Estudio preliminar

8

### - Reportes geotécnicos

- Se pueden obtener de proyectos realizados en la cercanía.
- Pueden ser de gran ayuda, ya que generalmente incluyen sondajes, ensayos de suelo, e información relevante.

### - Fotografías aéreas

- Permiten identificar características geológicas, tales como deslizamientos de tierra, fallas, problemas de erosión, etc.
- Ayudan a comprender la topografía del terreno y patrones de drenaje.

- - Antecedentes varios

## Reconocimiento del terreno

9

- Consiste en recorrer el sitio y evaluar visualmente las condiciones locales.
- Generalmente sirve para responder a respuestas tales como:
  - Si hay evidencia de construcciones previas en el sitio.
  - Si hay evidencia de problemas de estabilidad de taludes.
  - Si existen construcciones cercanas.
  - Cuales son las condiciones de drenaje.
  - Que tipos de suelo y/o rocas se encuentran en la superficie.
  - Si existen problemas de acceso que puedan limitar los tipos de exploración.

## Exploración

10

- El objetivo de esta etapa es obtener el perfil de subsuelo, tomar muestras de suelo, realizar ensayos in-situ para estimar parámetros de los materiales, y determinar la profundidad de la roca basal y el nivel freático si es necesario.
- En exploraciones de poca profundidad se recurre a calicatas y/o zanjas.
- En exploraciones mas profundas se realizan perforaciones.

## Exploración

13

- La exploración de suelos se realiza comúnmente a través de calicatas, siempre que la profundidad de la napa de agua lo permita.
- Cuando la napa freática es elevada o se requiera alcanzar mayores profundidades, el método más común utilizado para explorar tanto suelos como rocas, es a través de sondajes.
- Existen diversos tipos de sondaje en suelos, siendo el más utilizado el de la cuchara normal para la extracción de las muestras, que proporciona además valores del número de golpes durante la penetración,
- En rocas, se utilizan sondajes a rotación con coronas de diversos tipos, según sea la dureza de la roca a muestrear.

## Exploración: Sondaje a rotación

13

- Los sondajes a rotación pueden perforar cualquier tipo de suelo o roca hasta profundidades muy elevadas.
- Se utilizan brocas que muelen el material del fondo mediante rotación y presión. El material se extrae por medio de agua inyectada a presión.
- Para obtener muestras cilíndricas “inalteradas” se utilizan coronas diamantadas.



broca



## Exploración: Sondaje con barrena

14

- La barrena se introduce en el suelo mediante rotación. Luego se extrae y se remueve el material adherido a ella. Este proceso se repite hasta llegar a la profundidad deseada.
- Cuando el terreno es firme se remueve la barrena dejando el terreno sin protección.
- Una vez que se retira la barrena es posible introducir equipos para tomar muestras “inalteradas”.
- Este método presenta problemas cuando la barrena se encuentra con materiales muy resistentes.



## Exploración: Sondaje con barrena hueca

15



## Recuperación de muestras

16



(a)



(b)

Cilindros de cuchara partida : a) muestreador abierto con muestra de suelo y cutting shoe, b) muestra de suelo, cuchara partida, tubo shelby y caja para almacenaje y transporte de muestras.

## Recuperación de muestras

17



Selección de tamaños y tipos de tubos Shelby de pared delgada

## Recuperación de muestras

18



(a)



(b)

Formas de sellar un tubo Shelby: a) cera b) oring.

## Recuperación de muestras

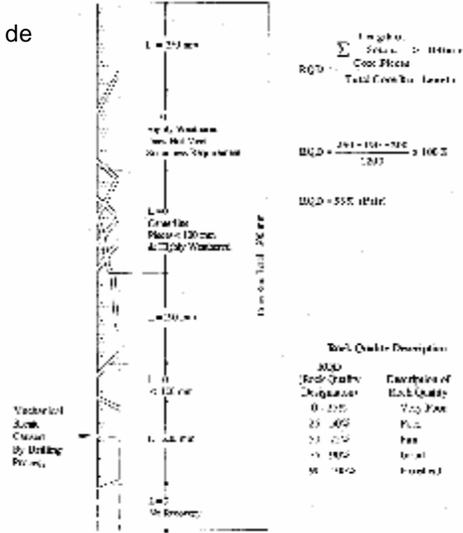
19



Coronas. De izquierda a derecha; diamante, carburo y diente de sierra

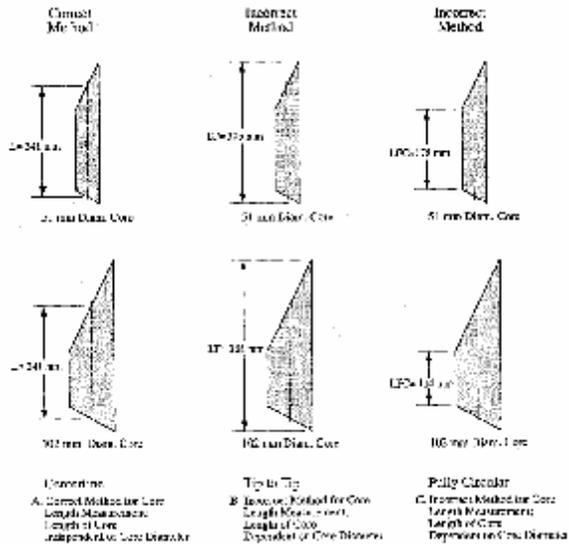
# Recuperación de muestras

Recuperación del núcleo e índice de calidad del macizo rocoso



# Recuperación de muestras

Medición de longitud para la determinación del RQD



## Exploración

22

### Número de sondajes

- No existe una regla absoluta para especificar el número de sondajes; se requiere juicio y experiencia del ingeniero.
- En general el número de sondajes debería aumentar a medida que:
  - La variabilidad del suelo aumenta.
  - La carga aumenta.
  - La estructura sea mas crítica.

## Exploración

23

### Número de sondajes

- La tabla presenta una guía básica para determinar el espaciamiento de los sondajes para edificios, tanques o estructuras similares.

Subsurface Conditions	Structure Footprint Area for Each Exploratory Boring	
	(m <sup>2</sup> )	(ft <sup>2</sup> )
Poor quality and/or erratic	100-300	1,000-3,000
Average	300-400	2,000-4,000
High quality and uniform	300-1,000	3,000-10,000

## Exploración

24

### Profundidad de sondajes

- No existe una regla absoluta para especificar la profundidad de los sondajes.
- En general el sondaje debería alcanzar una profundidad a la cual el incremento de esfuerzos sea menor a un 10% de la generada por la estructura a nivel de la fundación.

## Exploración

25

### Profundidad de sondajes

- La tabla presenta una guía básica para determinar la profundidad de los sondajes para edificios con fundaciones superficiales.

Subsurface Conditions	Minimum Depth of Borings ( $S$ = number of stories; $D$ = anticipated depth of foundation)	
	(m)	(ft)
	Poor	$6 S^{0.7} + D$
Average	$5 S^{0.7} + D$	$15 S^{0.7} + D$
Good	$3 S^{0.7} + D$	$10 S^{0.7} + D$

(después de Sowers, 1979)

## Ensayos en terreno (In-situ)

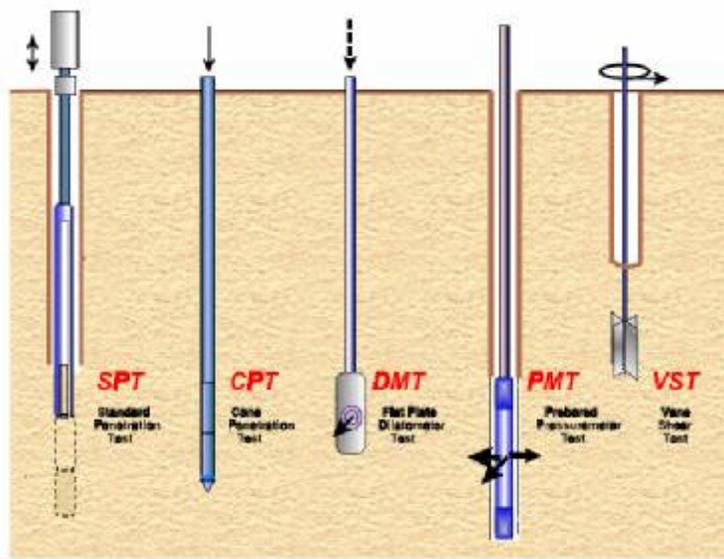
26

- Se utilizan cuando es difícil obtener muestras inalteradas, en arenas por ejemplo.
- Sirven para estimar propiedades y parámetros del suelo.
- Ensayos típicos en terreno son:
  - Ensayo de penetración estándar (SPT)
  - Ensayo de penetración de cono (CPT)
  - Placa de carga
  - Ensayo de corte in-situ (Vane shear tests, VST)
  - Presiómetro
  - Dilatómetro

## Ensayos en terreno (In-situ)

27

Ensayos de terreno más comunes.



## Ensayo de penetración estándar (SPT)

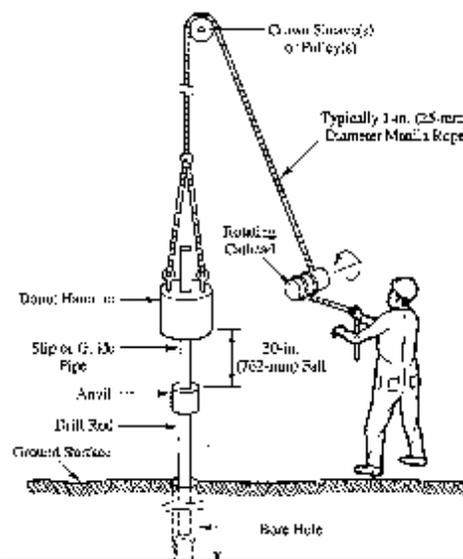
28

- Permite tomar muestras y realizar ensayo in-situ.
- La muestra sin embargo es alterada.
- Este ensayo se utiliza para estimar parámetros como la densidad relativa, ángulo de fricción y cohesión.
- Se introduce un tubo hueco cilíndrico mediante golpes de un martillo de 63.5 Kg. de una altura de 76 cm.
- Se introduce el tubo 45 cm., registrando el número de golpes necesario para avanzar tramos de 15 cm.
- $N_{SPT}$  = número de golpes necesarios para avanzar los últimos 30 cm.
- Este resultado debe ser corregido antes de poder ser utilizado (N).
- Suelos muy sueltos tienen valores típicos de N menores a 5.
- Suelos muy resistentes tienen valores del orden de 50 o superior.

## Ensayo de penetración estándar (SPT)

29

### Esquema del procedimiento manual



## Ensayo de penetración de cono (CPT)

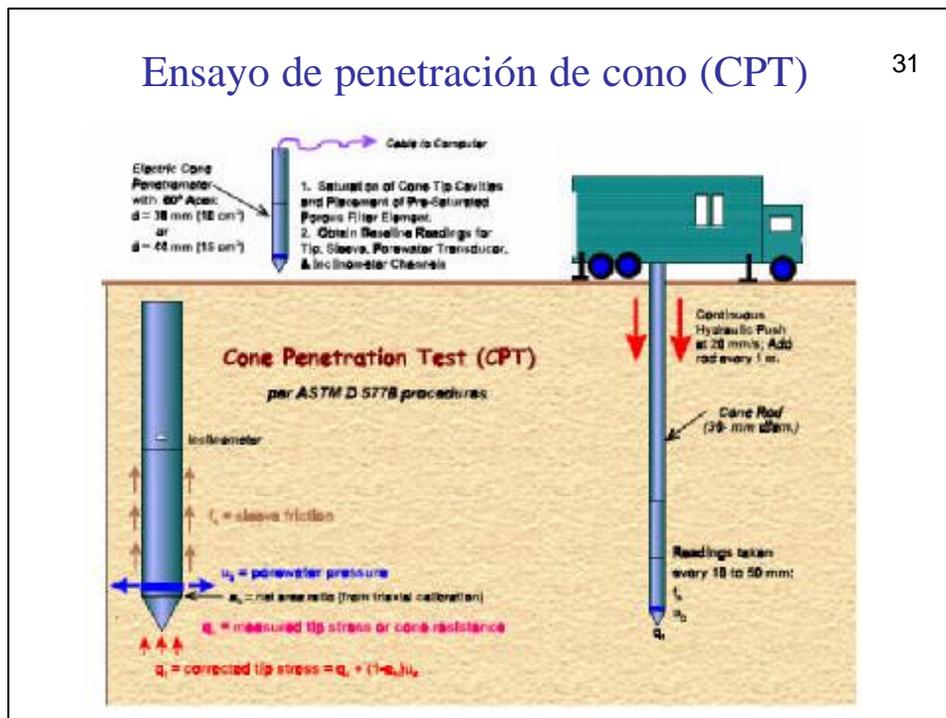
30

- Este ensayo mide la resistencia de punta del cono y la resistencia por fricción.
- Es un ensayo rápido y entrega un perfil continuo.
- La desventaja es que es relativamente caro y no se obtienen muestras.
- Es mas adecuado para suelos con cohesión.



## Ensayo de penetración de cono (CPT)

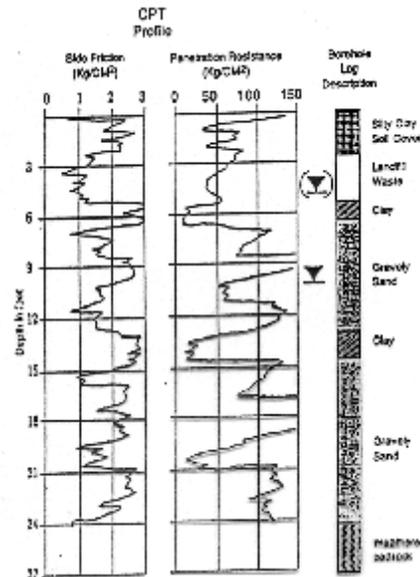
31



## Ensayo de penetración de cono (CPT)

32

Datos típicos de un ensayo



## Exploración geofísica

33

- Existen varios métodos de exploración geofísica para investigar el perfil del subsuelo.
- Ondas (mecánicas)
  - Refracción sísmica
  - Crosshole
  - Downhole
- Ondas electromagnéticas
  - Resistividad
  - Radar
- No alteran las condiciones del suelo (no-destructivos).

## Exploración geofísica

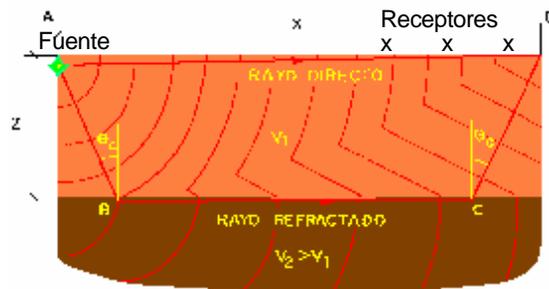
34

- Método de exploración geofísica fueron originalmente desarrolladas por la industria minera y petrolera.
- Para la ingeniería geotécnica tiene la ventaja de cubrir grandes áreas a un relativo bajo costo.
- Pueden utilizarse como primer paso en un proceso de exploración.
- La desventaja es que no se obtienen muestras. Se debe complementar con sondajes.

## Refracción sísmica

35

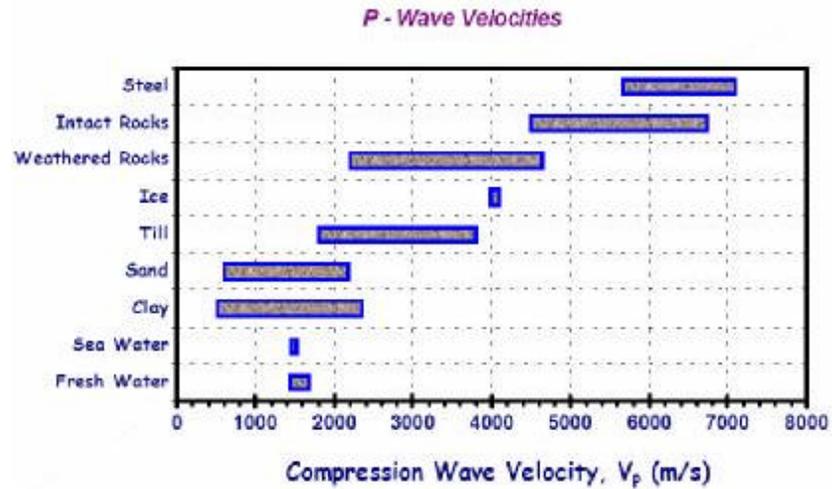
- Método de exploración para estimar el espesor de los estratos y la velocidad de propagación de onda.
- Se basa en las leyes de propagación de las ondas.
- Consiste en generar ondas en el terreno mediante golpes o detonaciones, y medir el tiempo de llegada a distintos puntos.



## Refracción sísmica

36

Rango de velocidad de ondas primarias en distintos materiales

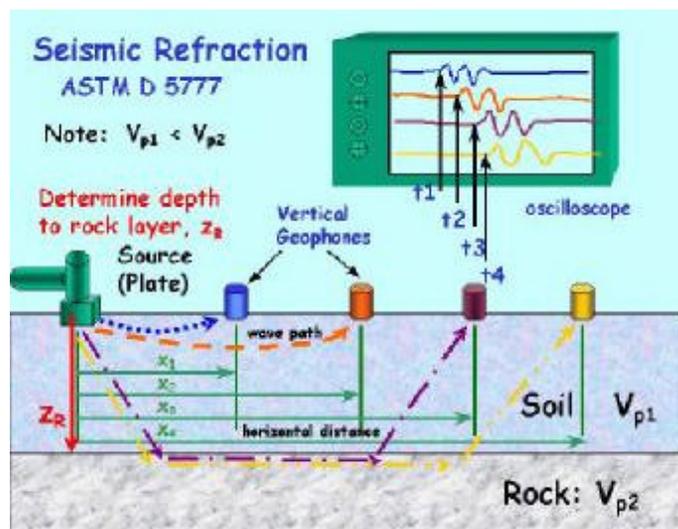


(FHWA)

## Refracción sísmica

37

Caso: 1 estrato plano

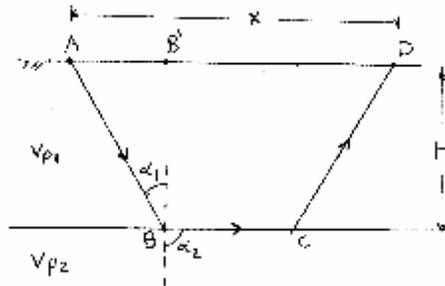


(FHWA)

## Refracción sísmica

38

Caso: 1 estrato plano



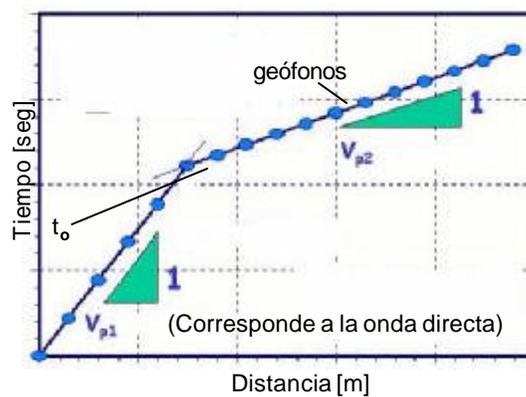
Ley de Snell  $\frac{\sin(\alpha_1)}{v_{p1}} = \frac{\sin(\alpha_2)}{v_{p2}}$

$$t_{AD} = \frac{2H}{v_{p1} v_{p2}} \sqrt{v_{p2}^2 - v_{p1}^2} + \frac{x}{v_{p2}}$$

## Refracción sísmica

39

Caso 1 estrato plano

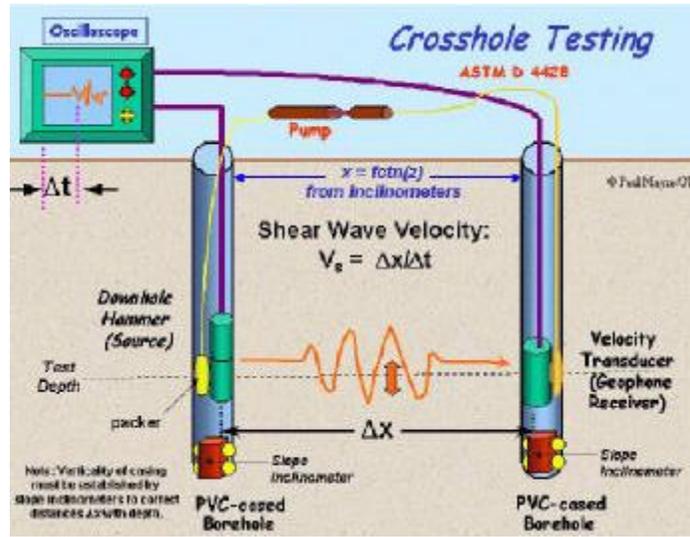


$$t_o = \frac{2H}{v_{p1} v_{p2}} \sqrt{v_{p2}^2 - v_{p1}^2}$$

$$H = \frac{t_o v_{p1} v_{p2}}{2\sqrt{v_{p2}^2 - v_{p1}^2}}$$

# Crosshole

40



# Downhole

41

