

Guayaquil, 1946

Tema:

**Obtención de Ecuaciones de Correlación para
estimar las
Velocidades de las Ondas de Corte en los Suelos
de la
Ciudad De Guayaquil”**

Guayaquil, 2001

Expositores:

Eddie Tandazo Ortega

Jenny Ramírez Calderón

Fecha:

5 - Mayo - 2006



INDICE GENERAL

- CAPITULO 1. OBJETIVOS, ALCANCE Y JUSTIFICACION DE LA TESIS
- CAPITULO 2 PROPIEDADES DINAMICAS DE LOS SUELOS
- CAPITULO 3 UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL
- CAPITULO 4 MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA ONDA DE CORTE EN LOS SUELOS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, MEDIANTE EL ENSAYO SASW
- CAPITULO 5 MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO
- CAPITULO 6 ECUACIONES DE CORRELACION PARA ESTIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS
- CAPITULO 7 ECUACIONES DE CORRELACION PARA ESTIMAR LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS DE CORTE
- CAPITULO 8 ESTIMACION DEL PERFIL DE VELOCIDADES DE ONDA DE CORTE
- CAPITULO 9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO 1

OBJETIVOS, ALCANCE Y JUSTIFICACION DE LA TESIS

1.1 Objetivos

- ❑ Estimar la velocidad de onda de corte para los suelos de la ciudad de Guayaquil
- ❑ Correlacionar la V_s con parámetros geotécnicos básicos obtenidos con los equipos de la práctica común de la ingeniería de la ciudad.
- ❑ Proporcionar metodología de exploración geotécnica y análisis de laboratorio.
- ❑ Evaluar la variabilidad de la energía transmitida en la prueba SPT.

CAPITULO 1

OBJETIVOS, ALCANCE Y JUSTIFICACION DE LA TESIS

1.2 Alcance

- ❑ Proporcionar ecuaciones semiempíricas de correlación para la estimación de la velocidad de la onda cortante
- ❑ Proporcionar ecuaciones de correlación para la estimación de parámetros geotécnicos.
- ❑ Proporcionar lineamientos de exploración geotécnica.
- ❑ Implementar nuevos métodos de análisis de laboratorio para la estimación de parámetros geotécnicos.
- ❑ Presentar resultados que muestran la verdadera energía de impacto en la prueba SPT
- ❑ Calibrar los equipos de nuestro medio para las pruebas de percusión.

CAPITULO 1

OBJETIVOS, ALCANCE Y JUSTIFICACION DE LA TESIS

1.3 Justificación

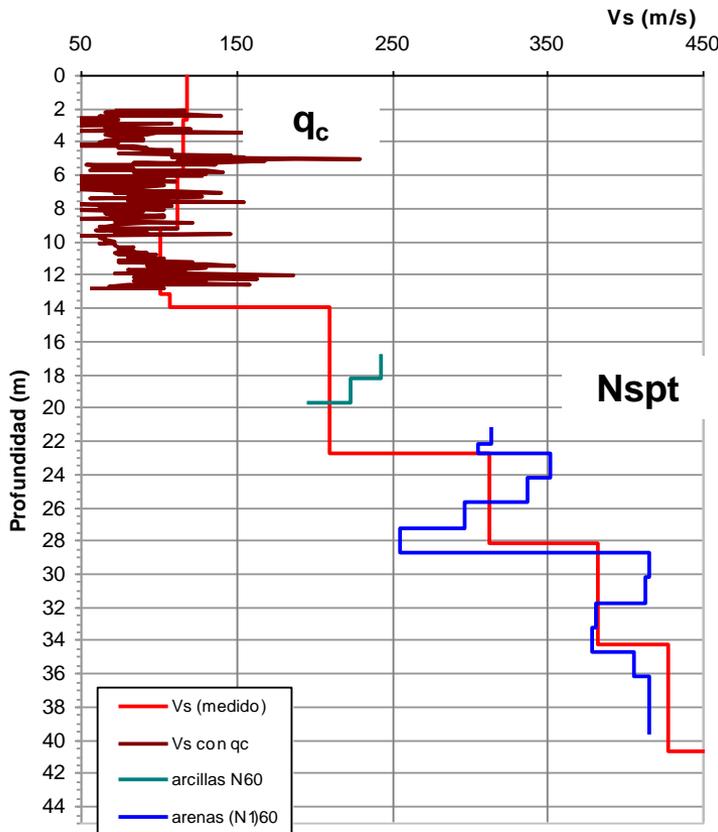
- ❑ Proyecto RADIUS, 1999.
- ❑ “Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de la ciudad de Guayaquil”, 2004.
- ❑ Tesis de Grado : Obtención de ecuaciones semiempíricas para estimar las velocidades de ondas de corte en la ciudad, 2006

CAPITULO 1

OBJETIVOS, ALCANCE Y JUSTIFICACION DE LA TESIS

1.3 Justificación

Estimación de Vs



Velocidad de ondas de corte ,Vs

Vs = función

q_c , q_d , N_{spt} , S_u

$$T = \frac{4H}{V_s}$$

$$G_{max} = \rho V_s^2$$

Período Fundamental
Elástico del suelo

G, Módulo de Rigidez
Máxima

CAPITULO 2

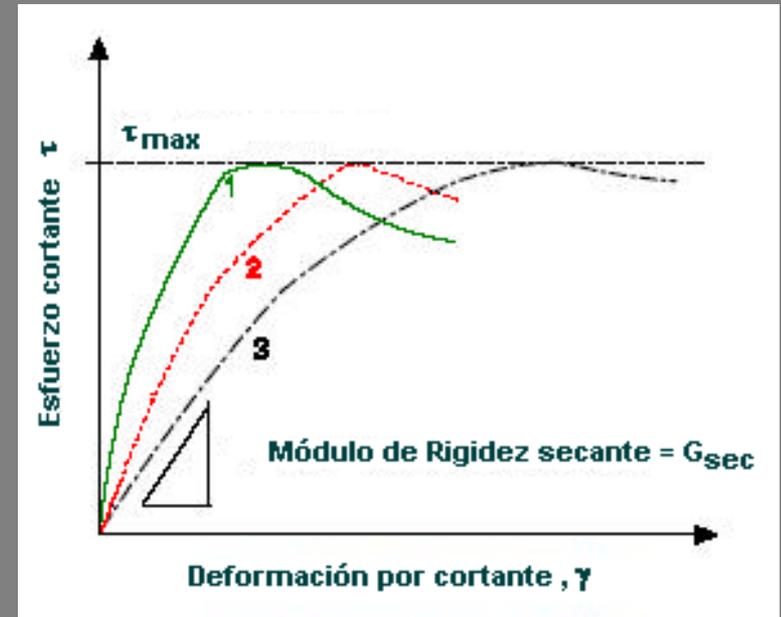
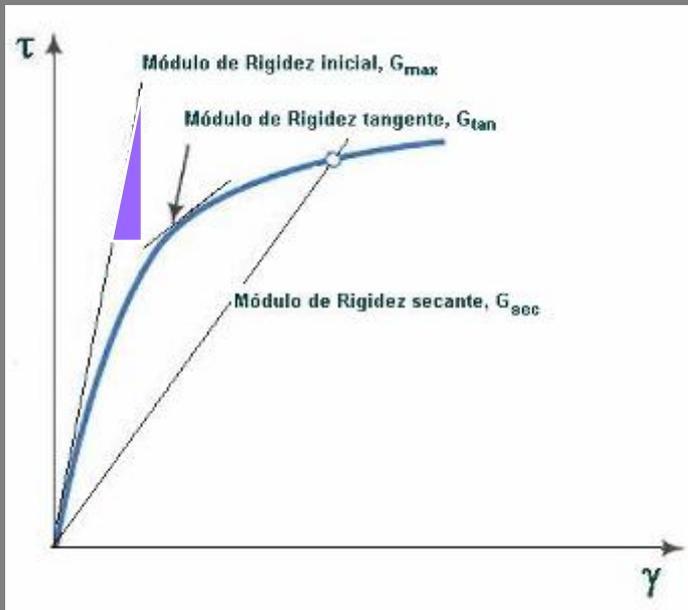
PROPIEDADES DINAMICAS DE LOS SUELOS

2.1 Módulo de rigidez al cortante, G

$$G_{\max} = \rho \cdot V_s^2$$

Corresponde a deformaciones pequeñas $\gamma < 10^{-4} \%$

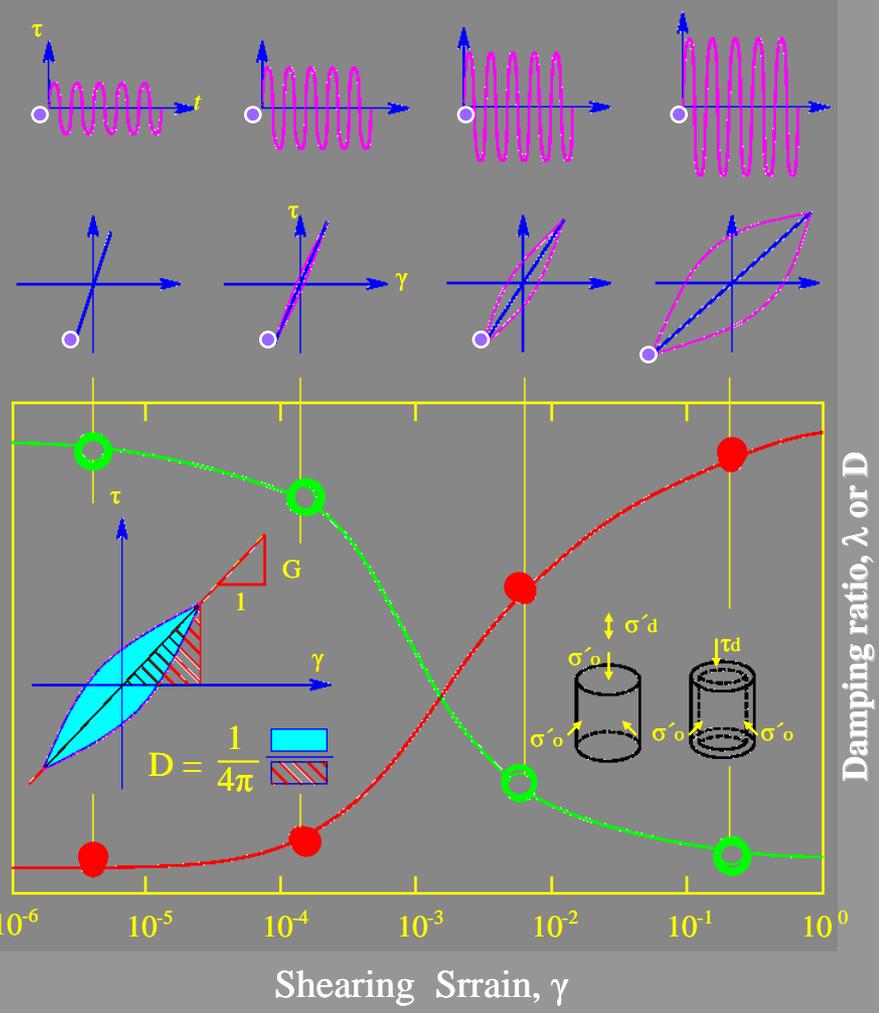
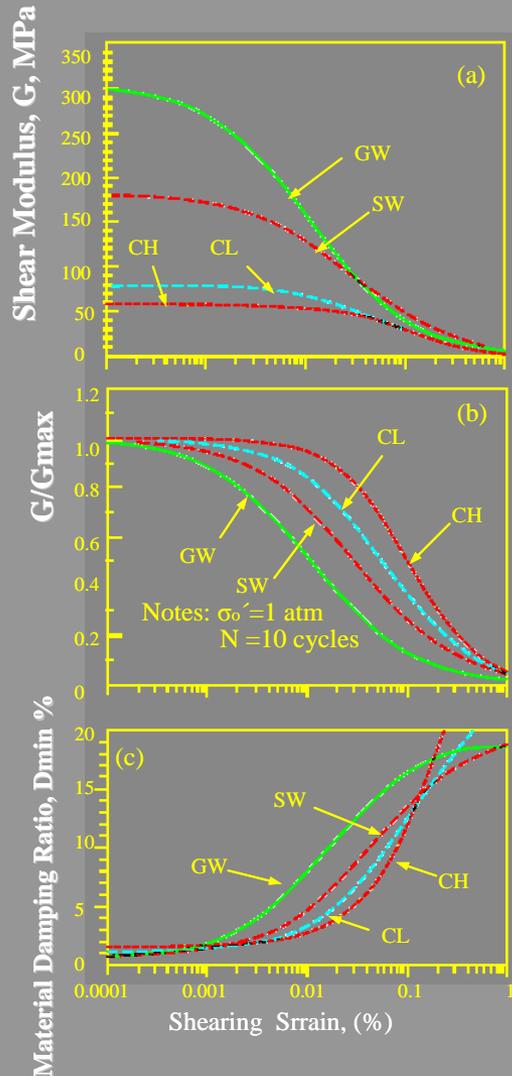
ρ : Densidad de laboratorio (T/m^3)
 V_s : Velocidad de onda de corte (m/s)



CAPITULO 2

PROPIEDADES DINAMICAS DE LOS SUELOS

Stokoe, K II (2004), University of Texas at Austin, report



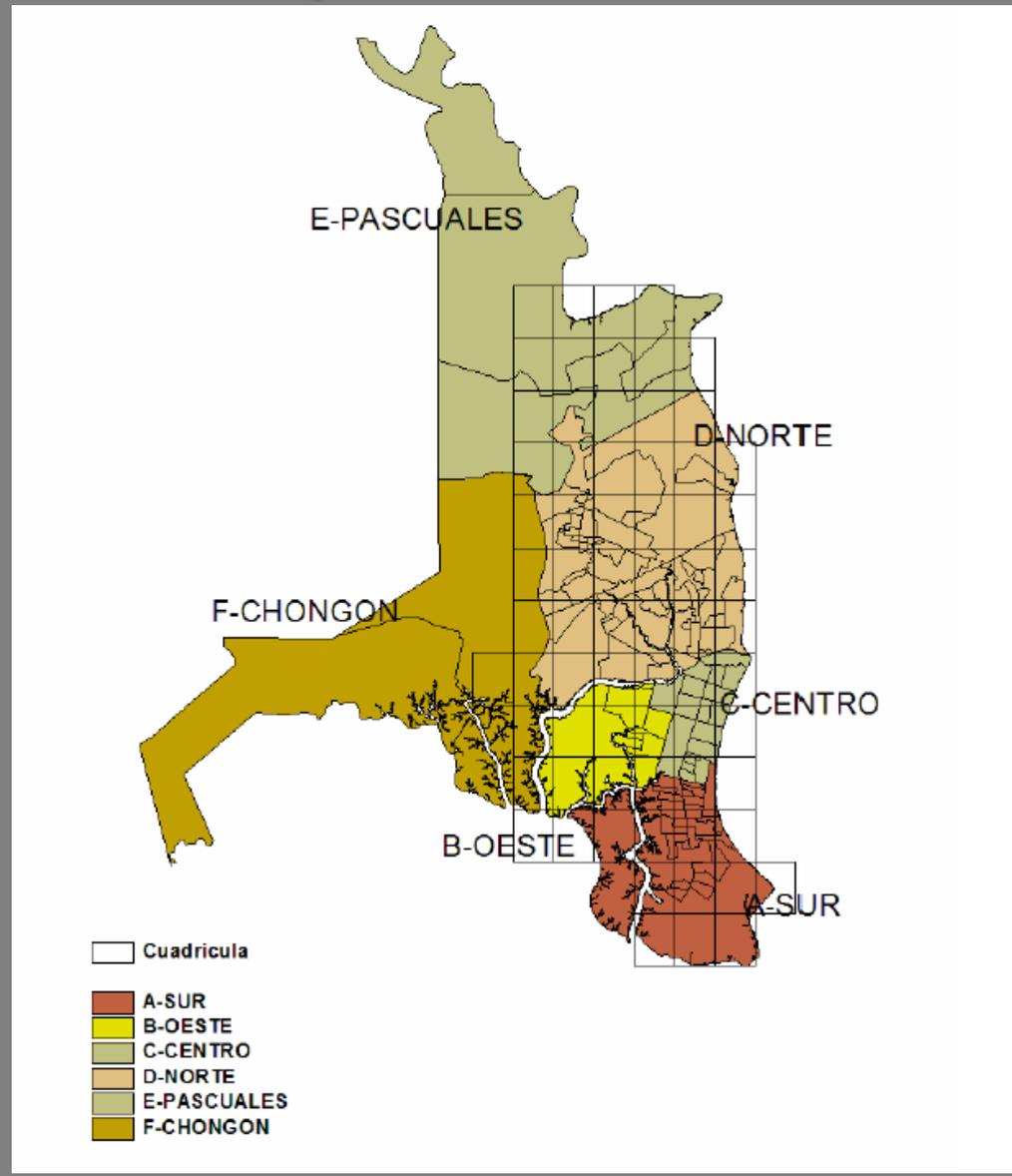
CAPITULO 3

UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

3.1 Delimitación del área de estudio

PLANO DE GUAYAQUIL
ESC 1:50000

División por cuadrantes del área urbana de la ciudad de Guayaquil



CAPITULO 3

UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

3.2 Marco Geológico Regional



CAPITULO 3

UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

3.3 Estudio Geotécnico Previo

- ✓ Constituye una continuación del proyecto RADIUS (1998-1999)

Risk **A**ssessment Tools for **D**iagnosis of **U**rban Areas against **S**eismic Disasters

(Herramientas de Evaluación del Riesgo para el diagnóstico de zonas urbanas contra desastres sísmicos.)

CAPITULO 3

UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

3.3 Estudio Geotécnico Previo

- ✓ Variación espacial de las propiedades geotécnicas

Conocer el **MACRO-COMPORTAMIENTO** del subsuelo

- ✓ **Comportamiento Estático**
- ✓ **Problemas de amplificaciones dinámicas**

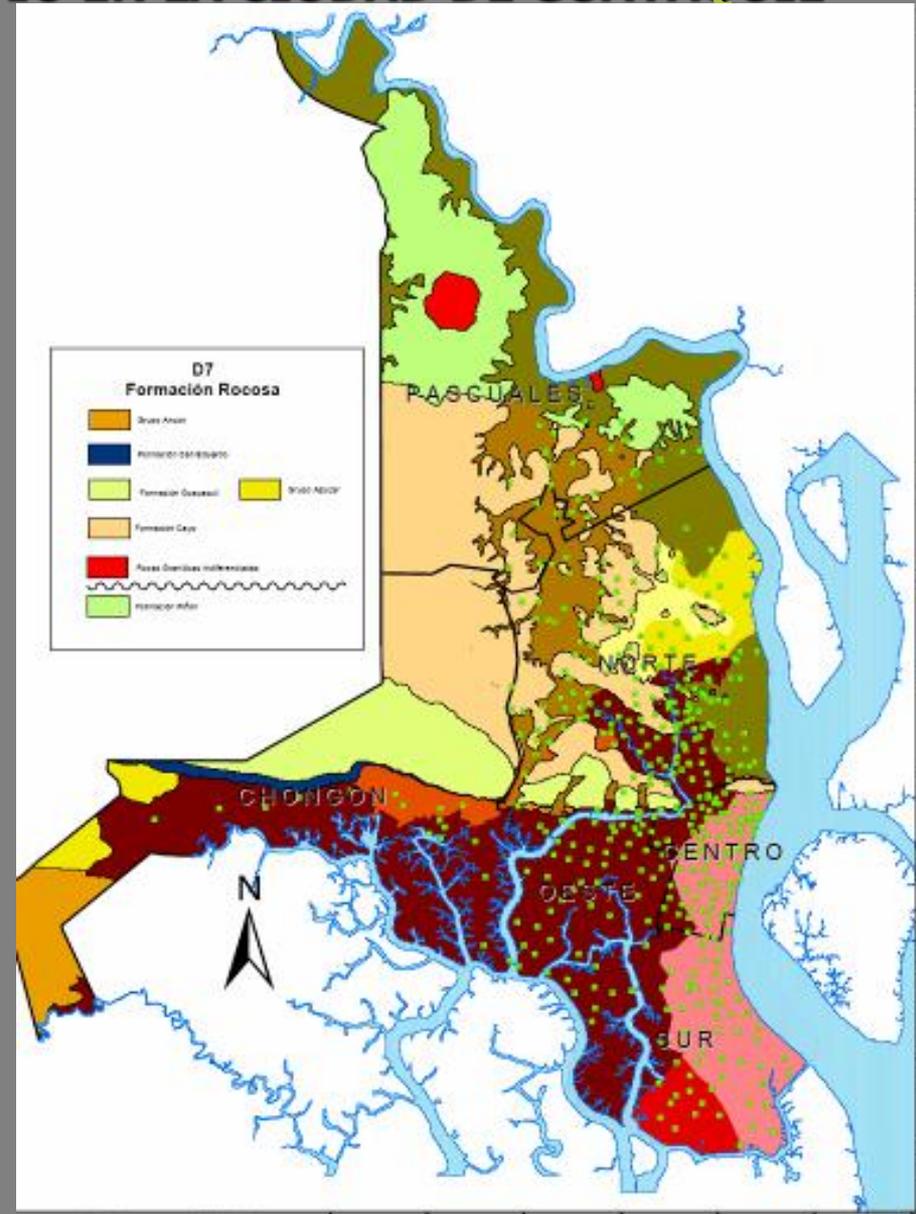
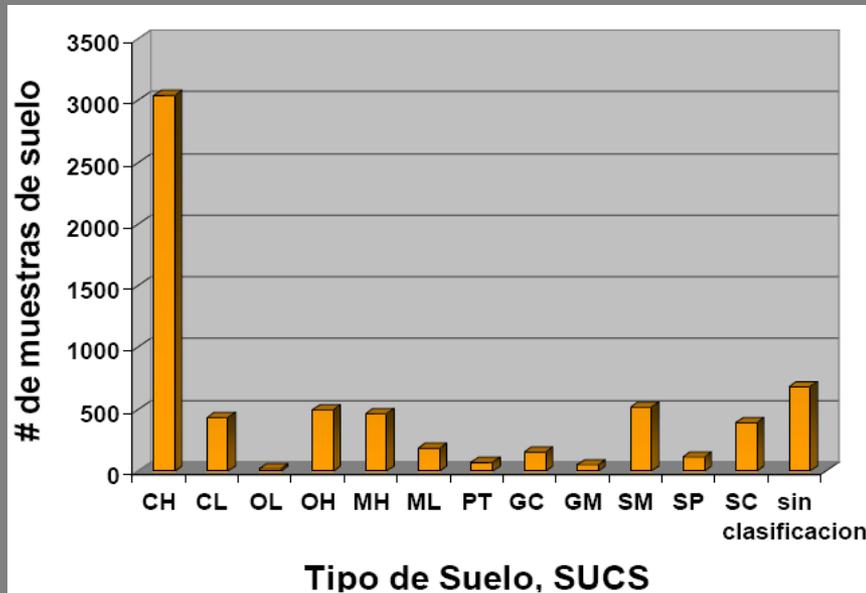
CAPITULO 3

UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

3.3 Estudio Geotécnico Previo

FASE I “Estudio de investigación para la microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil”

RECOLECCION DE REGISTROS
800 sondeos a profundidades entre 20 a 40 metros

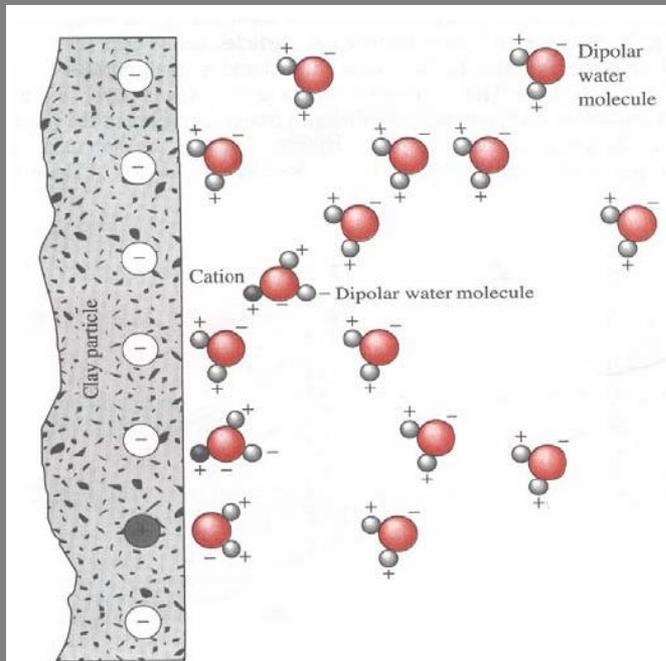


CAPITULO 3

UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

3.3 Estudio Geotécnico Previo

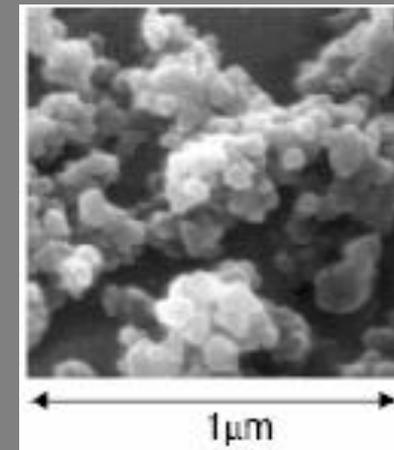
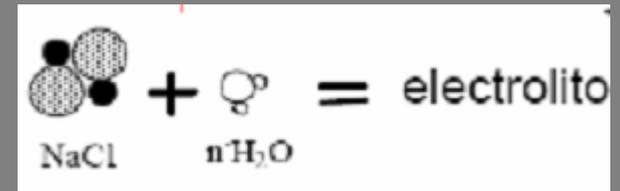
COMPORTAMIENTO DE LAS ARCILLAS



- Los cationes del agua son atraídos para mantener su neutralidad

- La carga en la superficie de la arcilla depende de la

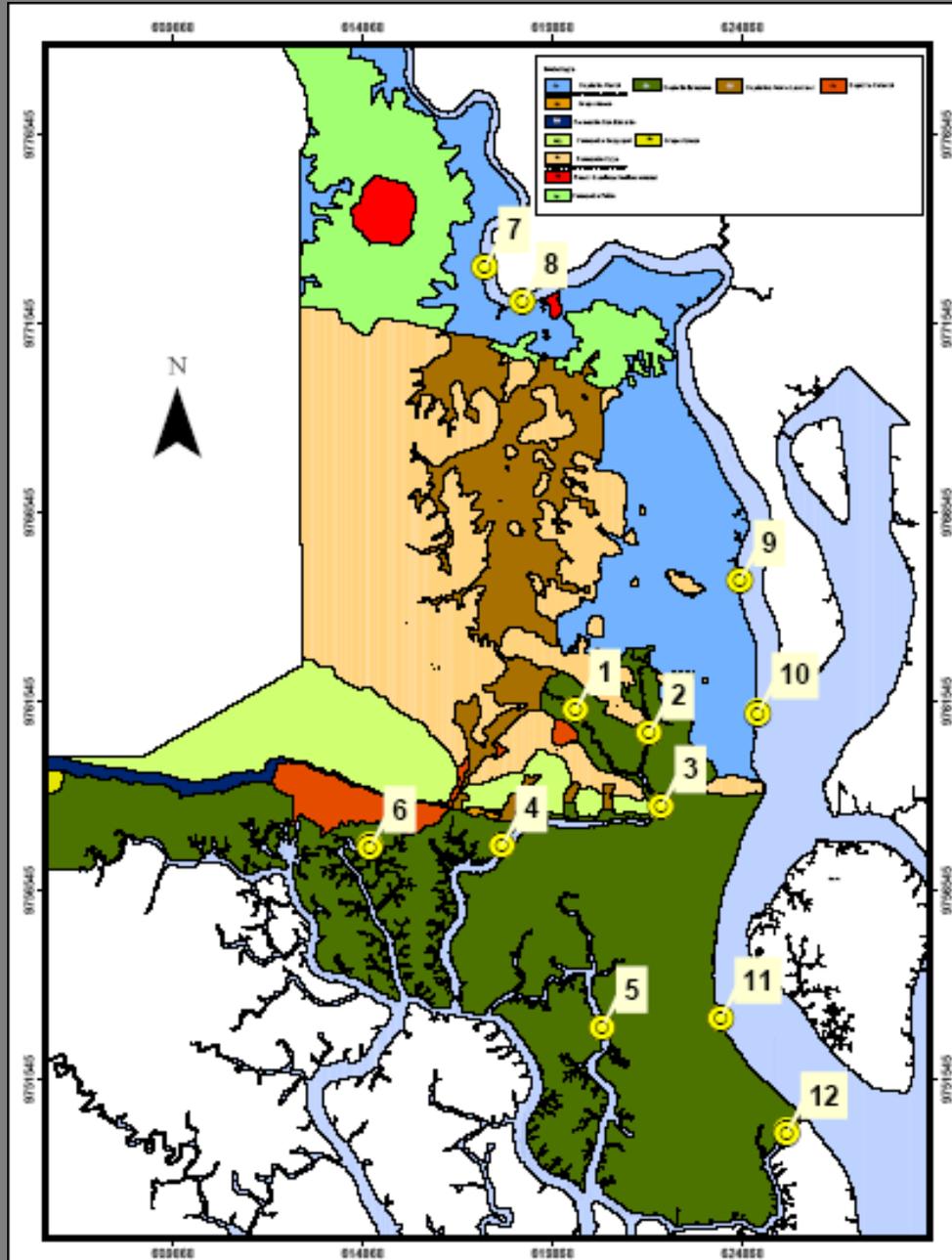
CONCENTRACION IONICA



Microestructura de las arcillas

CAPITULO 3

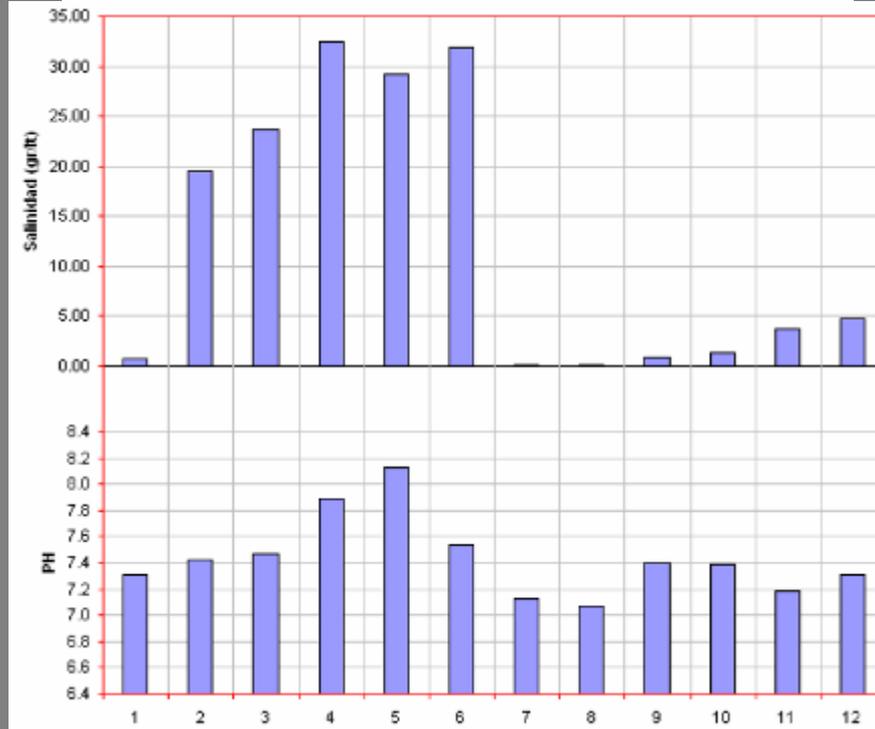
UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL



3.3 Estudio Geotécnico Previo

PUNTOS

RESULTADOS	ID	UBICACION	SALINIDAD gr/lt	COV
Estero Salado Abril04/ Feb05	1	Puente Miraflores	0.74	0.08
	2	Puente del Policentro	19.56	0.22
	3	Puente 5 de Junio	23.65	0.15
	4	Puente Portete	32.48	0.13
	5	Puente Perimetral #1	29.23	0.15
	6	Puerto Azul	31.80	0.15
Rio Guayas Abril04/ Jun05	7	La Toma	0.14	0.18
	8	Frente a Pascuales	0.13	0.12
	9	Frente a Alborada	0.82	1.11
	10	Frente a Progreso	1.39	1.08
	11	Frente a Guasmo	3.73	1.05
	12	Frente a Estero Cobina	4.79	0.77



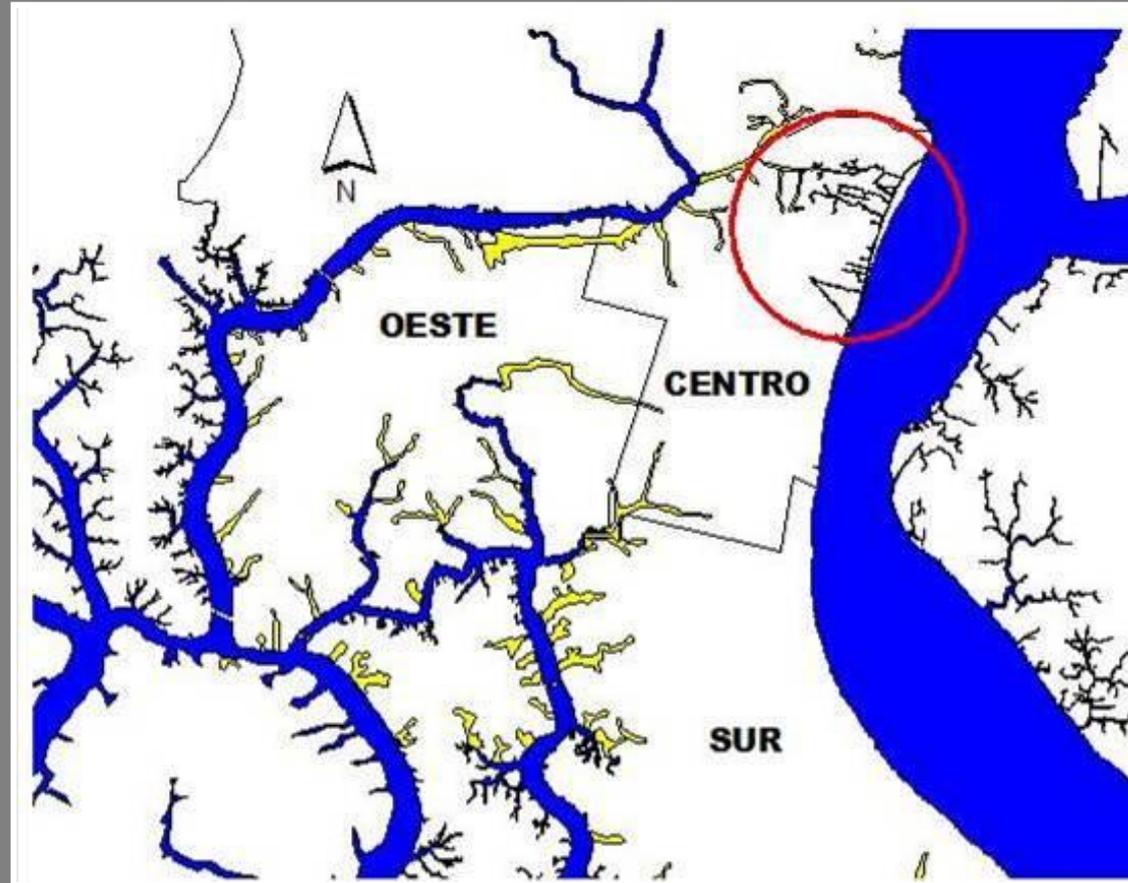
CAPITULO 3

UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

3.3 Estudio Geotécnico Previo

FASE I “Estudio de investigación para la microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil “

Levantamiento de esteros antiguos



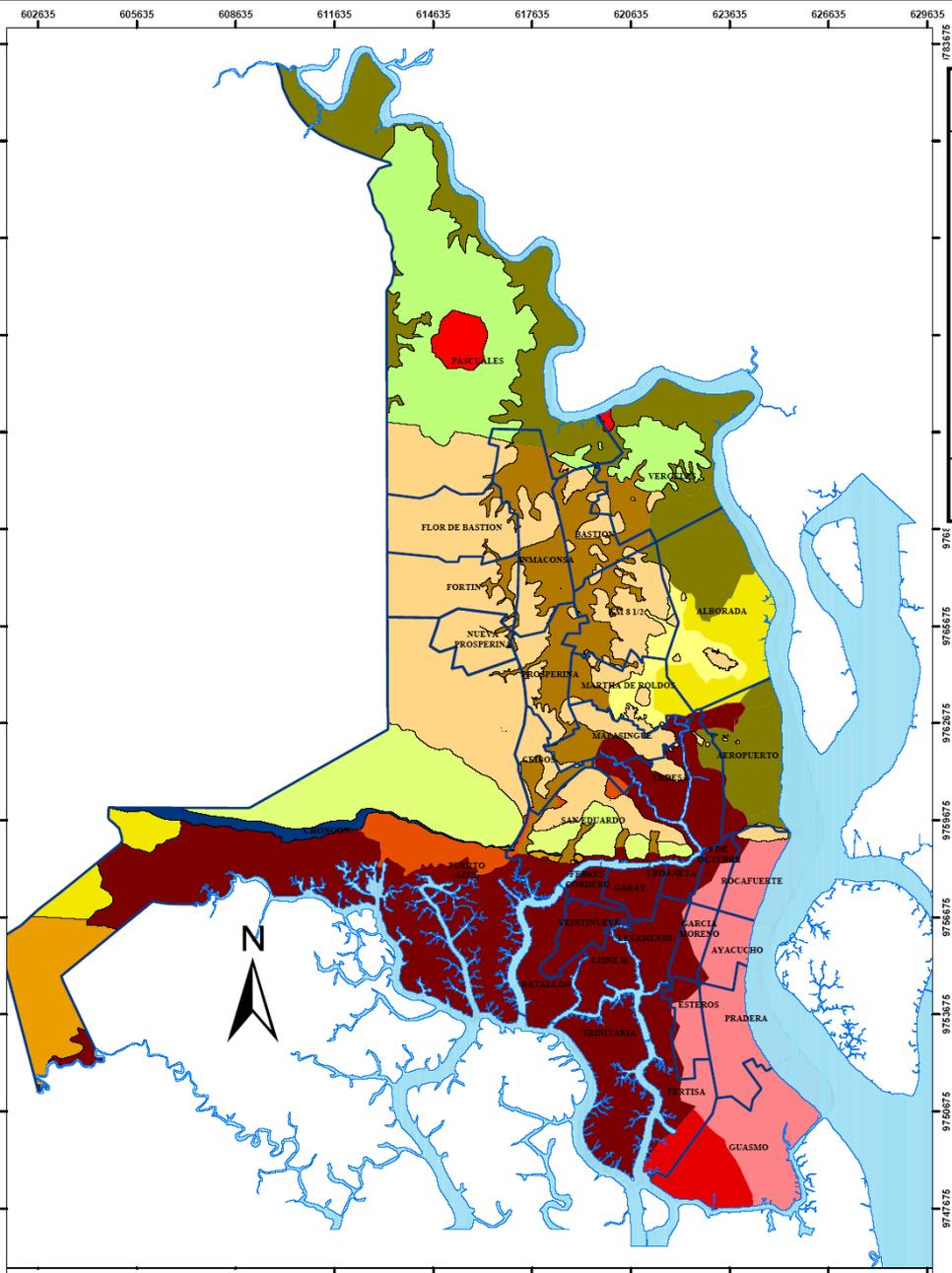
CAPITULO 3

UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL



CAPITULO 3

UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL



ZONA		DESCRIPCION
	D1	Depósitos Deltáico - estuarino (Este - Centro)
	D2	Depósitos Deltáico - estuarino (Sur)
	D3	Depósitos Deltáico - estuarino (Oeste - Norte - Trinitaria) Depósitos de la Llanura Aluvial (Norte)
	D4A	H < 10 m
	D4B	10 < H < 20 m
	D4C	H < 20 m
	D5	Depósitos Aluvio - lacustres (Norte)
	D6	Depósitos Coluviales
	D7	Depósitos residuales y formación rocosa

D7 Formación Roca

-  Grupo Ancon
-  Formación San Eduardo
-  Formación Guayaquil
-  Grupo Azucar
-  Formación Cayo
-  Rocas Graníticas Indiferenciadas
- 
-  Formación Piñón

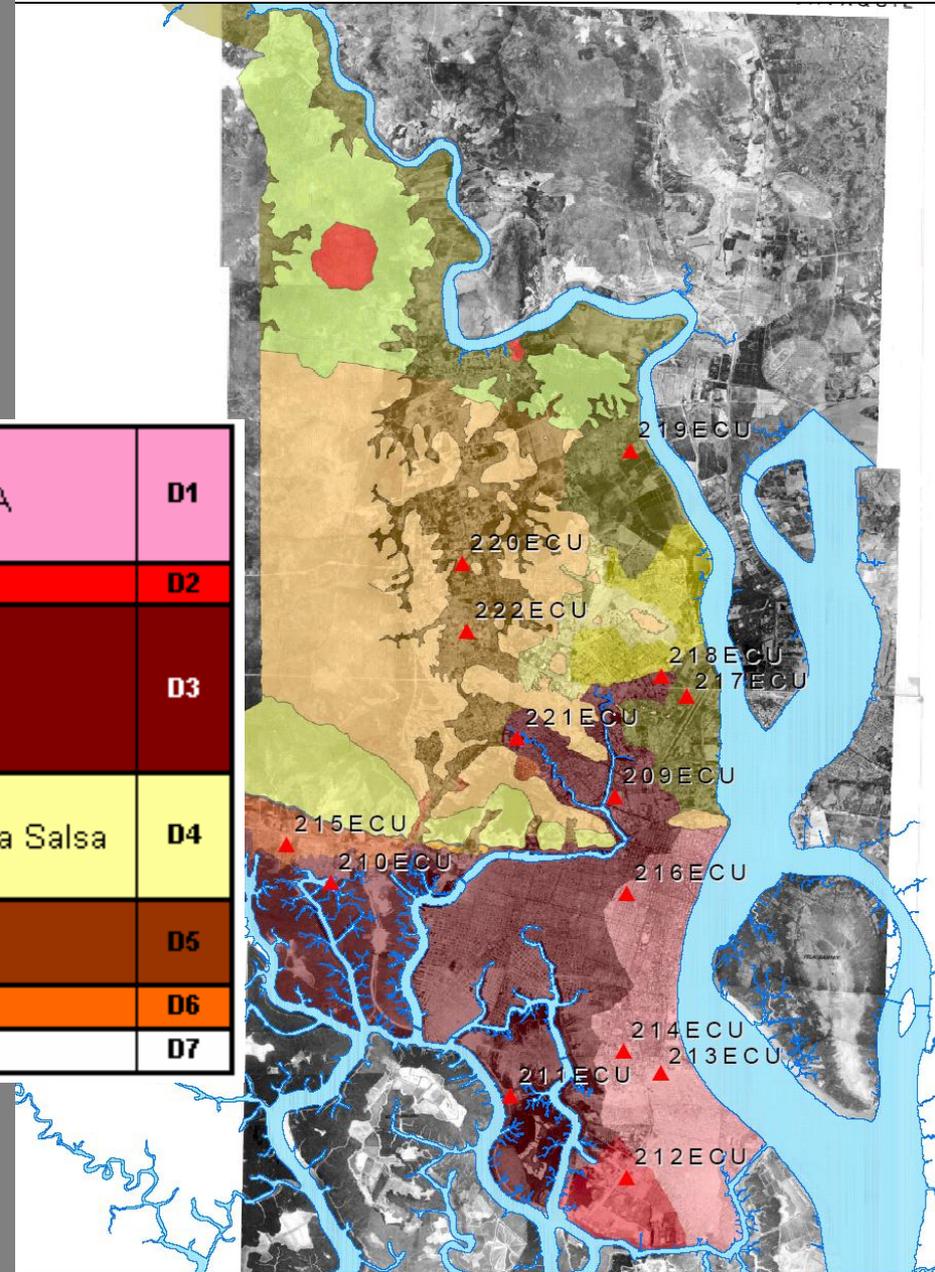
CAPITULO 3

UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

3.3 Estudio Geotécnico Previo

CAMPAÑA DE EXPLORACION EN 14 SITIOS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

213ECU	La Pradera-2	D1
214ECU	Corner Perimetral Ave & 25 of July Ave, SOPEÑA	
216ECU	Estadio Ramón Unamuno	
212ECU	Municipal Park Stalla Maris, GUASMO ESTE	D2
209ECU	Kennedy Baseball Field	D3
210ECU	Guayaquil Yacht Club, Puerto Azul	
211ECU	Municipal Hospital of Isla Trinitaria	
221ECU	Federación de Deportiva del Guayas, Miraflores	
218ECU	La Garzota District	D4
217ECU	Nueva Terminal Internacional, Antiguo Jardín de la Salsa	
219ECU	Duale River Site, Rivera de los Vergeles	
220ECU	Ciudadela 2 de Julio (at Ave. Daule)	D5
222ECU	La Prosperina (Cooperativa Santa Cecilia)	
215ECU	Chongon JP Camp	D6
	Zona de investigación geomecánica	D7



CAPITULO 4

MEDICIONES DE LAS VELOCIDADES DE LA ONDA DE CORTE, SASW

SASW (Spectra Analysis of Surface Waves), análisis espectral de la onda de superficie



Esquema del método SASW

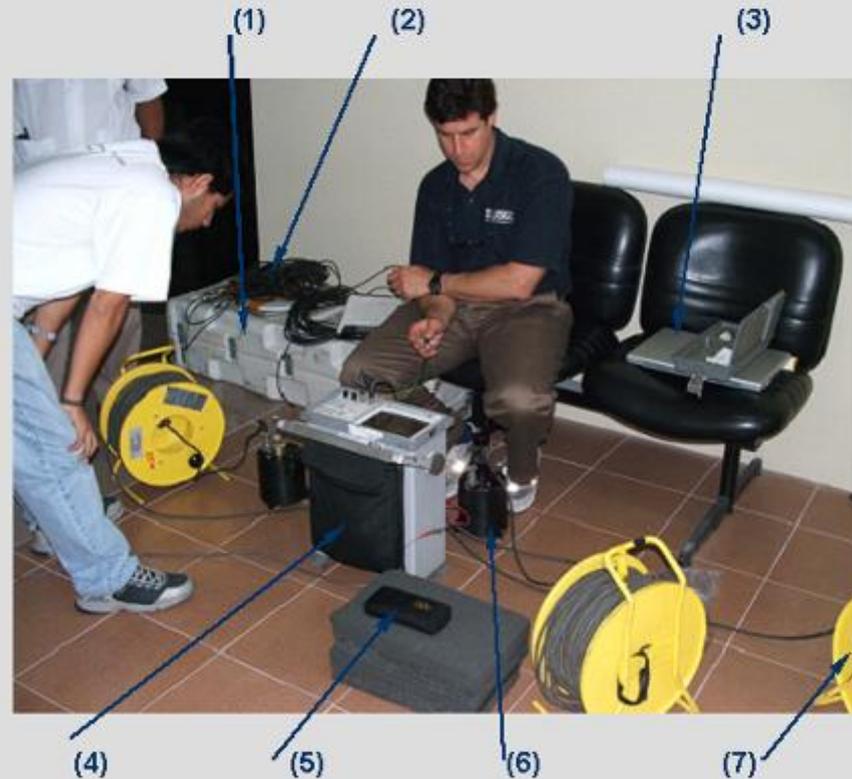
CAPITULO 4

MEDICIONES DE LAS VELOCIDADES DE LA ONDA DE CORTE, SASW

4.1 Equipo utilizado

EQUIPOS UTILIZADOS

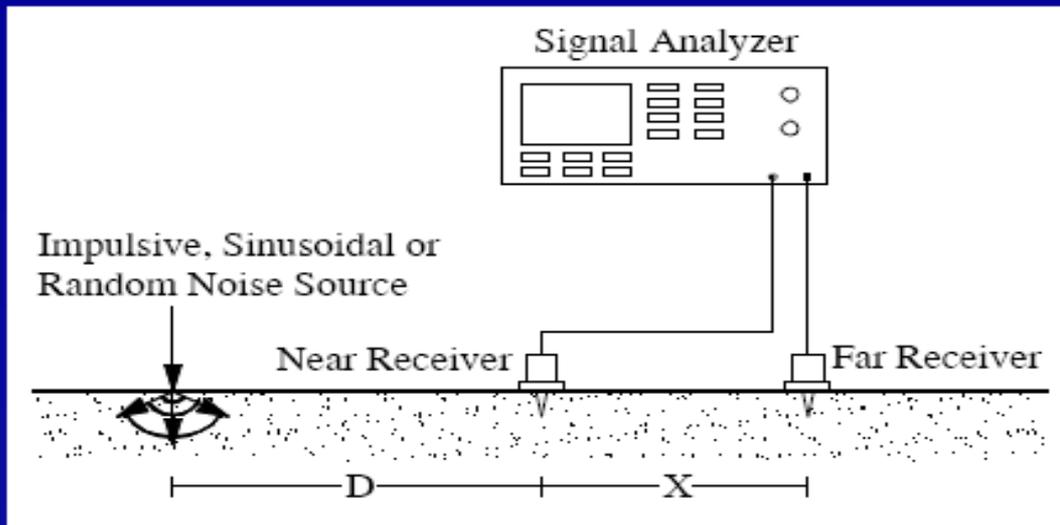
- 1) Estuche acolchonado de transporte
- 2) Cables 100m
- 3) Laptop
- 4) Unidad de Sistema de Registro de ondas
- 5) GPS
- 6) Sismógrafos Kinematics de 1-Hz
- 7) Cinta



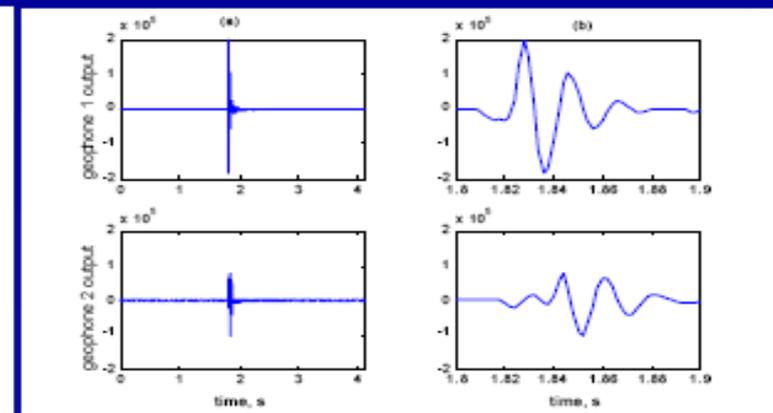
CAPITULO 4

MEDICIONES DE LAS VELOCIDADES DE LA ONDA DE CORTE, SASW

The SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) Method



Usually $D=X$



Fast Fourier Transform

$$Y_1(\omega) = \text{FFT}(y_1(t))$$

$$Y_2(\omega) = \text{FFT}(y_2(t))$$



Cross Power Spectrum

$$G_{y_1 y_2} = Y_1(\omega)^* \cdot Y_2(\omega)$$

Time Delay

$$t(\omega) = \text{phase}(G_{y_1 y_2}(f)) / \omega$$

Phase Velocity

$$V_R(\omega) = X / t(\omega)$$

Frequency range of acceptable data function of D (near field effects)

S. Foti

Soil Characterization using Surface Waves

$$\lambda_R = \frac{2\pi X}{\phi}$$

$$V_R = \lambda_R \cdot f$$

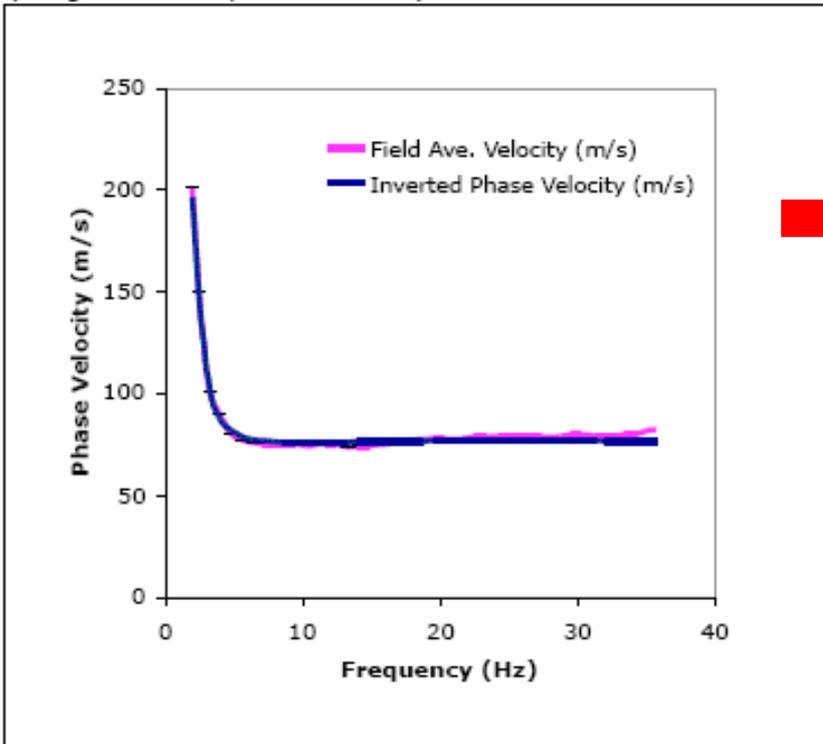
$$VS \approx 1.1 V_R$$

CAPITULO 4

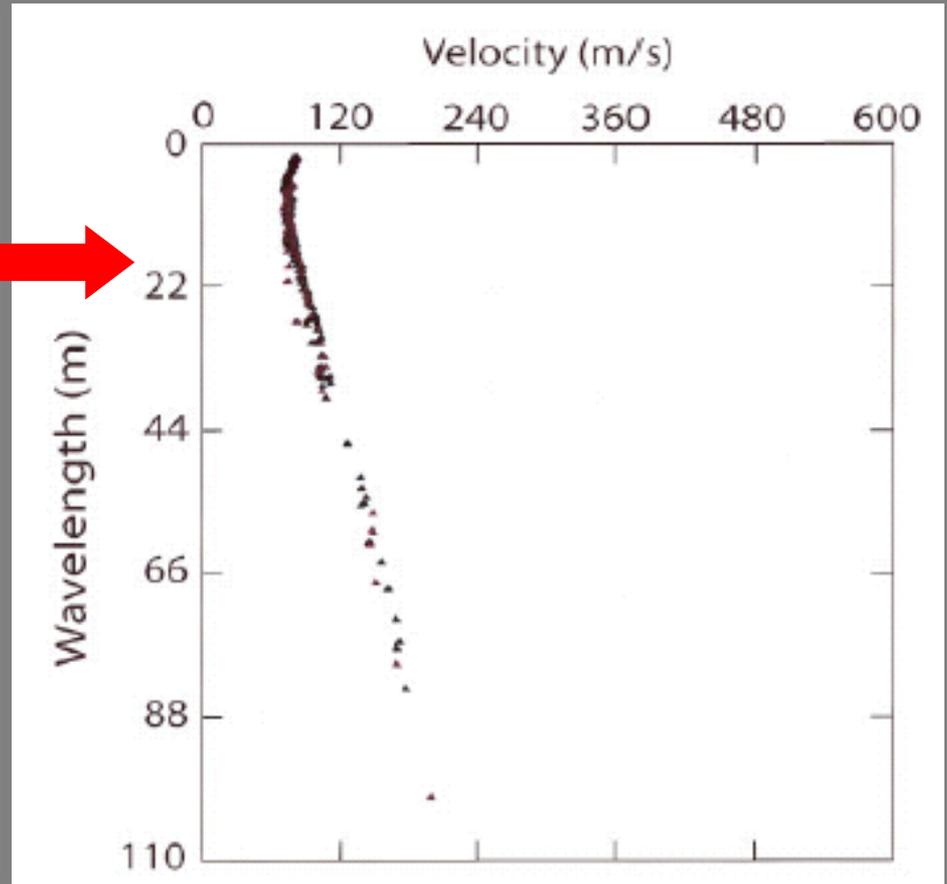
MEDICIONES DE LAS VELOCIDADES DE LA ONDA DE CORTE, SASW

4.1 Metodología de análisis

(Merged Field-Dispersion Curves)



(Inverted-theoretical-dispersion curve versus average field curve, bars represent $\pm 1\sigma$ range of merged field data)

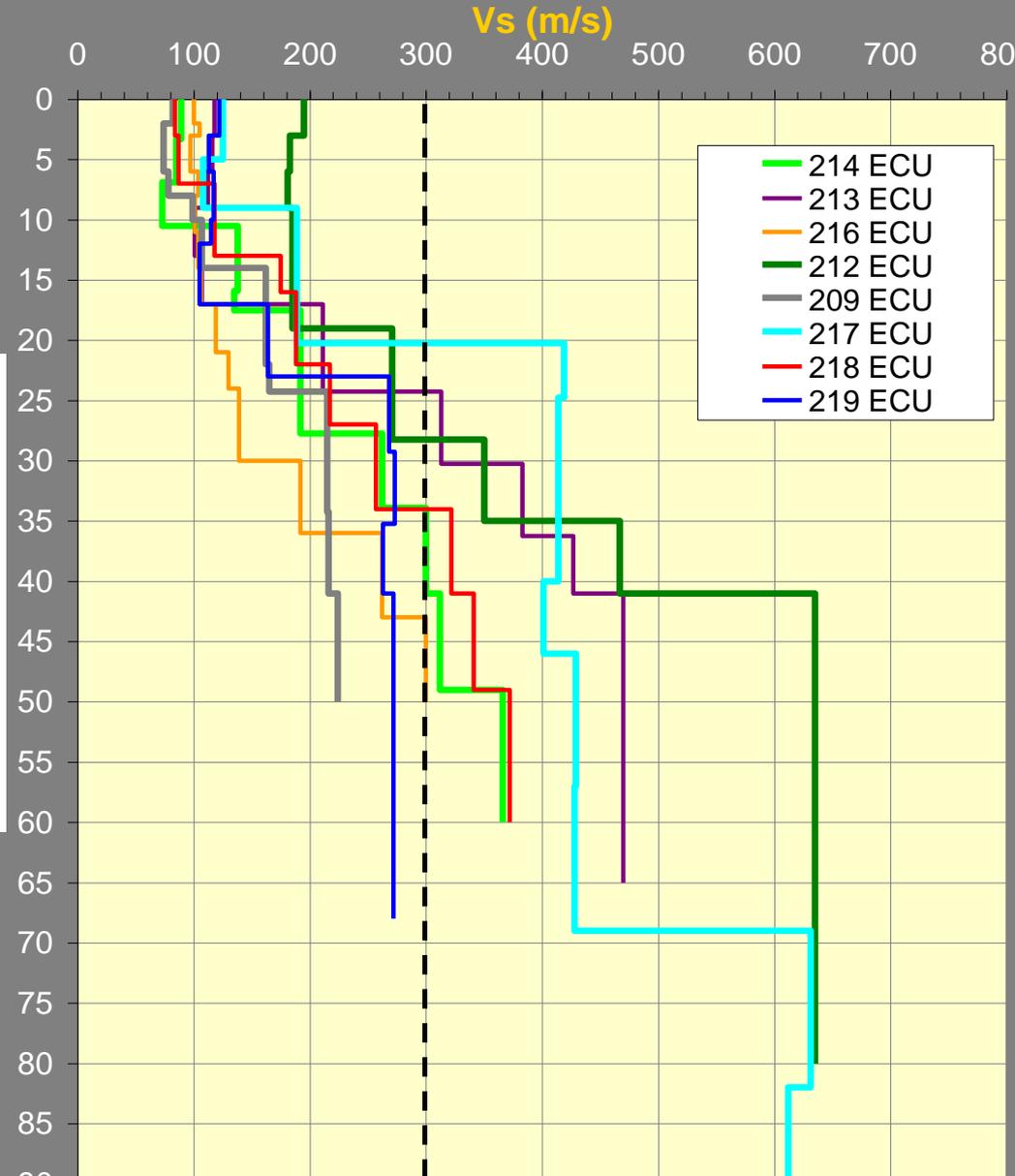


CAPITULO 4

MEDICIONES DE LAS VELOCIDADES DE LA ONDA DE CORTE, SASW

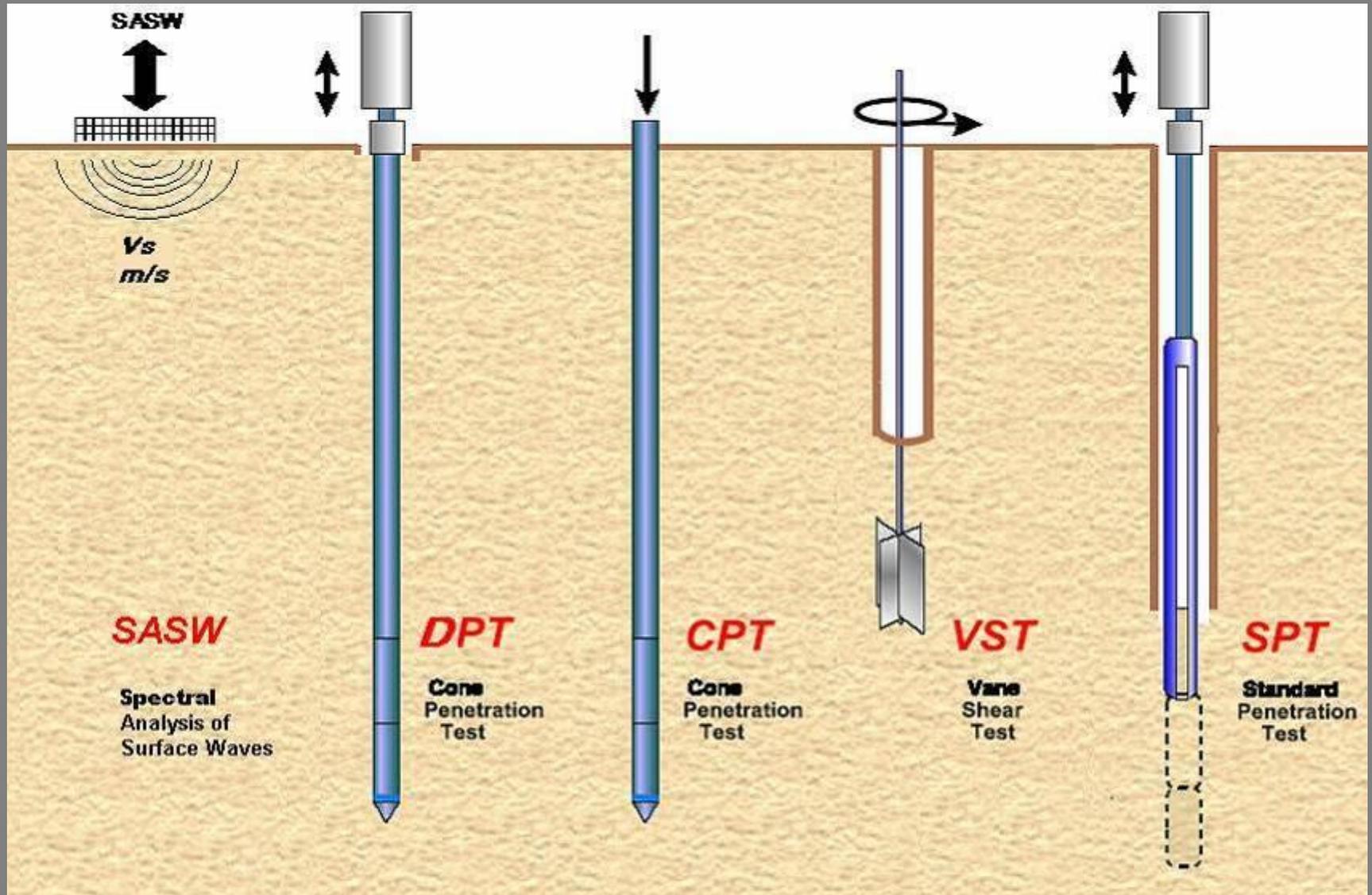
4.3 Resultados de las mediciones

213ECU	La Pradera-2	D1
214ECU	Corner Perimetral Ave & 25 of July Ave, SOPEÑA	
216ECU	Estadio Ramón Unamuno	
212ECU	Municipal Park Stalla Maris, GUASMO ESTE	D2
209ECU	Kennedy Baseball Field	D3
210ECU	Guayaquil Yacht Club, Puerto Azul	
211ECU	Municipal Hospital of Isla Trinitaria	
221ECU	Federación de Deportiva del Guayas, Miraflores	
218ECU	La Garzota District	D4
217ECU	Nueva Terminal Internacional, Antiguo Jardin de la Salsa	
219ECU	Duale River Site, Rivera de los Vergeles	
220ECU	Ciudadela 2 de Julio (at Ave. Daule)	D5
222ECU	La Prosperina (Cooperativa Santa Cecilia)	D6
215ECU	Chongon JP Camp	
	Zona de investigación geomecánica	D7



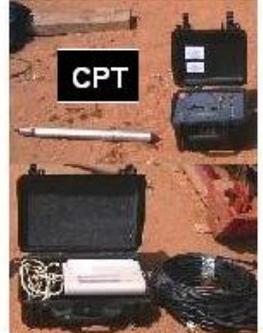
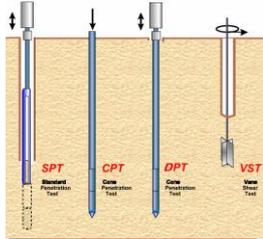
CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO



MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.1 Metodología de los ensayos de campo



MARTILLO DONUT



MARTILLO SAFETY



AZUL DE METILENO



COMPRESION SIMPLE

ESFUERZO CORTANTE NO DRENADO

ANGULO DE FRICCION INTERNA



CONSOLIDACION

TUBO SHELBY

MUESTRAS CADA 1.5 m



PENETROMETRO ESTANDAR



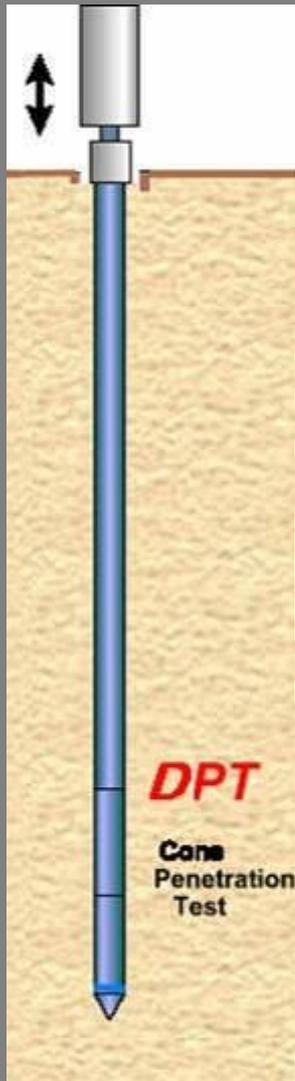
SASW



CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.1.1 Ensayo de cono dinámico, DPT



$$q_d = \frac{M^2 \cdot H}{(M + P) \cdot A \cdot e}$$

Area: 19.6 cm²

- M:** Peso del Martillo
- P:** Peso de las Barras
- e:** Incremento por cada golpe
- A:** Área del cono
- H:** Altura de caída del martillo

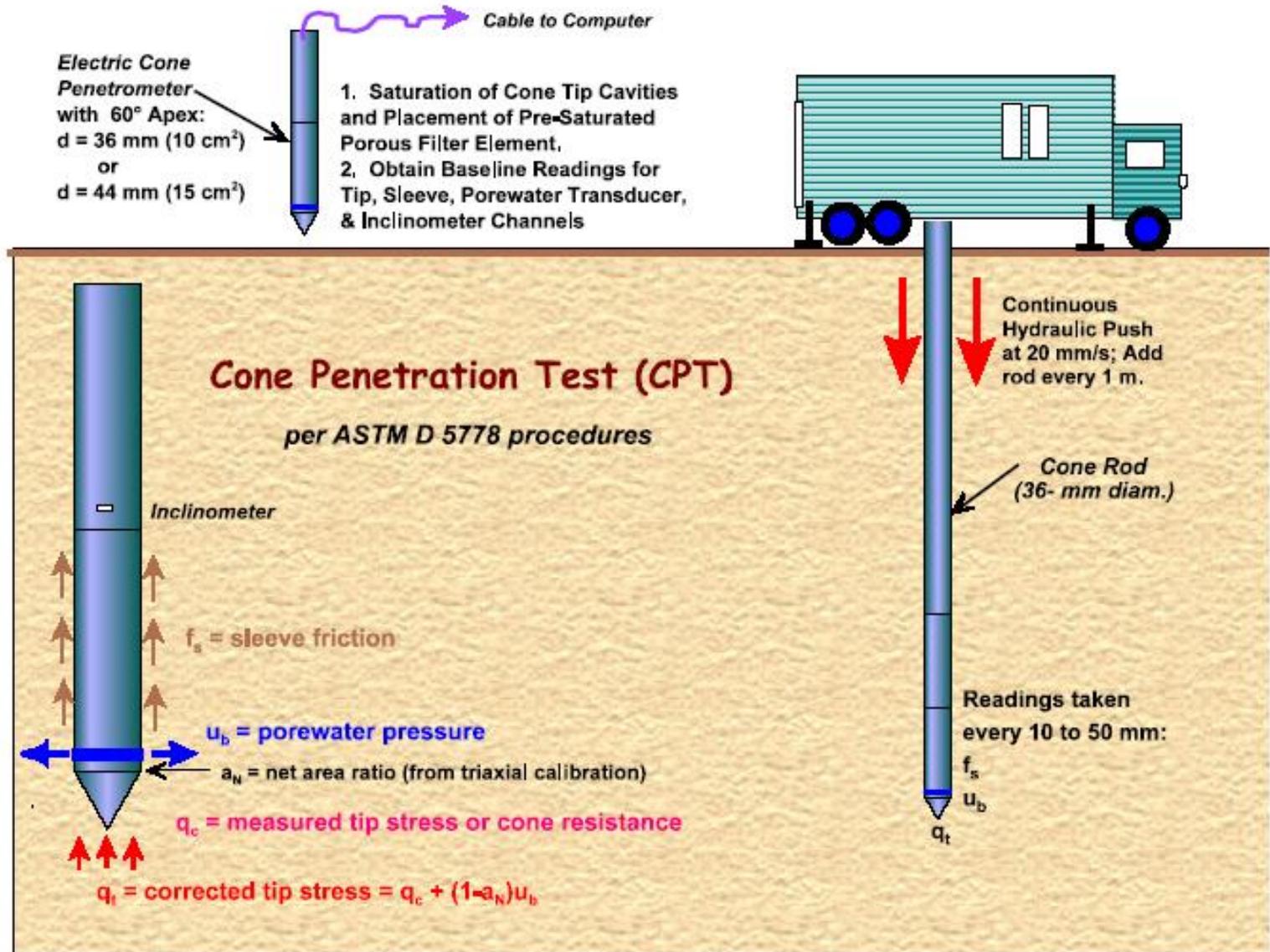
Conos Perdibles

Peso Barras AW : 6.80 Kg/m
Peso del Martillo: 61.69 Kg

CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.1.2 Ensayo de cono estático eléctrico, CPT



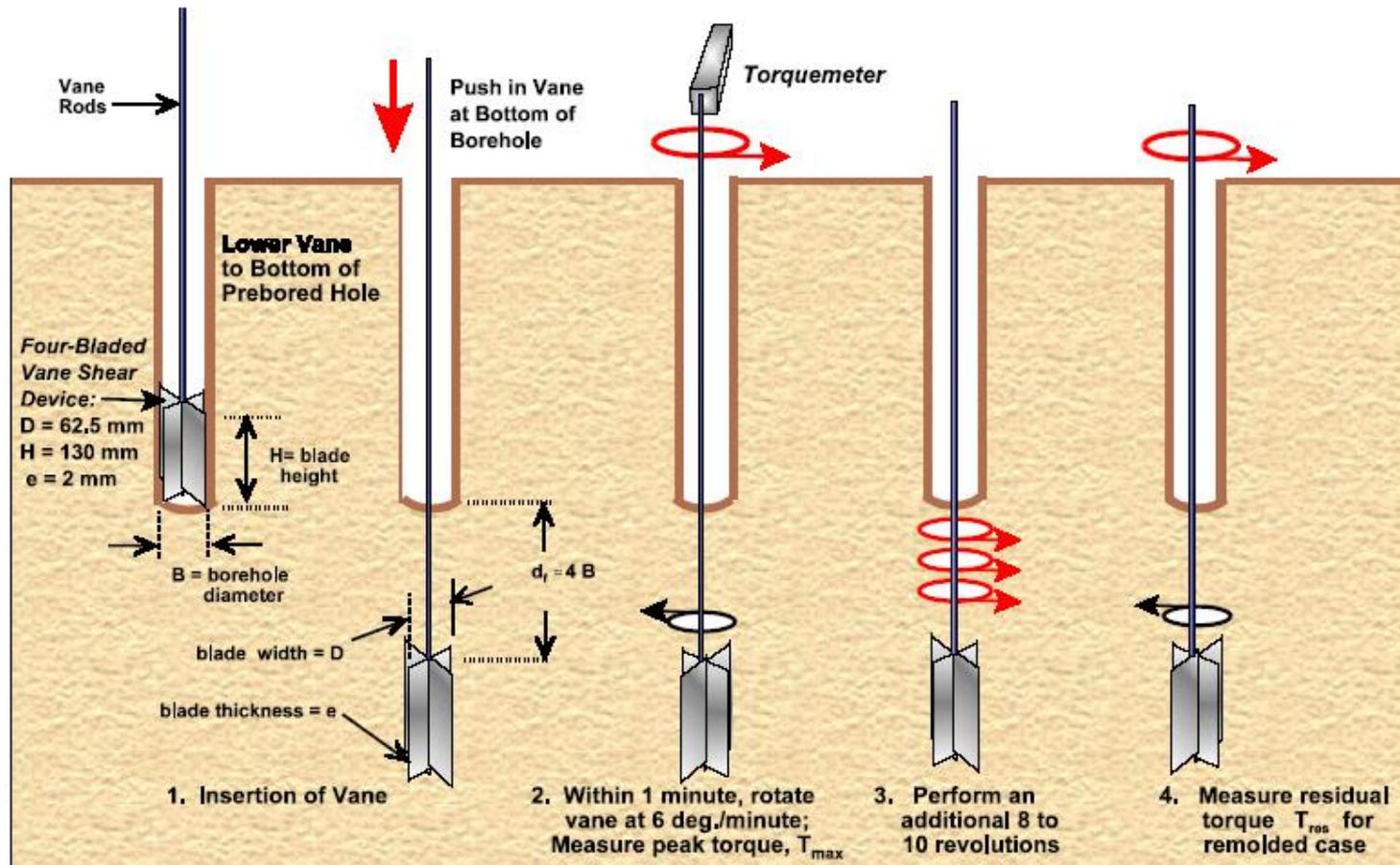
5.1.2 Ensayo de cono estático eléctrico , CPT



CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.1.3 Ensayo de veleta de campo, VST



Vane Shear Test (VST) per ASTM D 2573:

Undrained Shear Strength: $S_{uv} = 6 T / (7\pi D^3)$ For $H/D = 2$

In-Situ Sensitivity: $S_t = S_{uv} (\text{peak}) / S_{uv} (\text{remolded})$

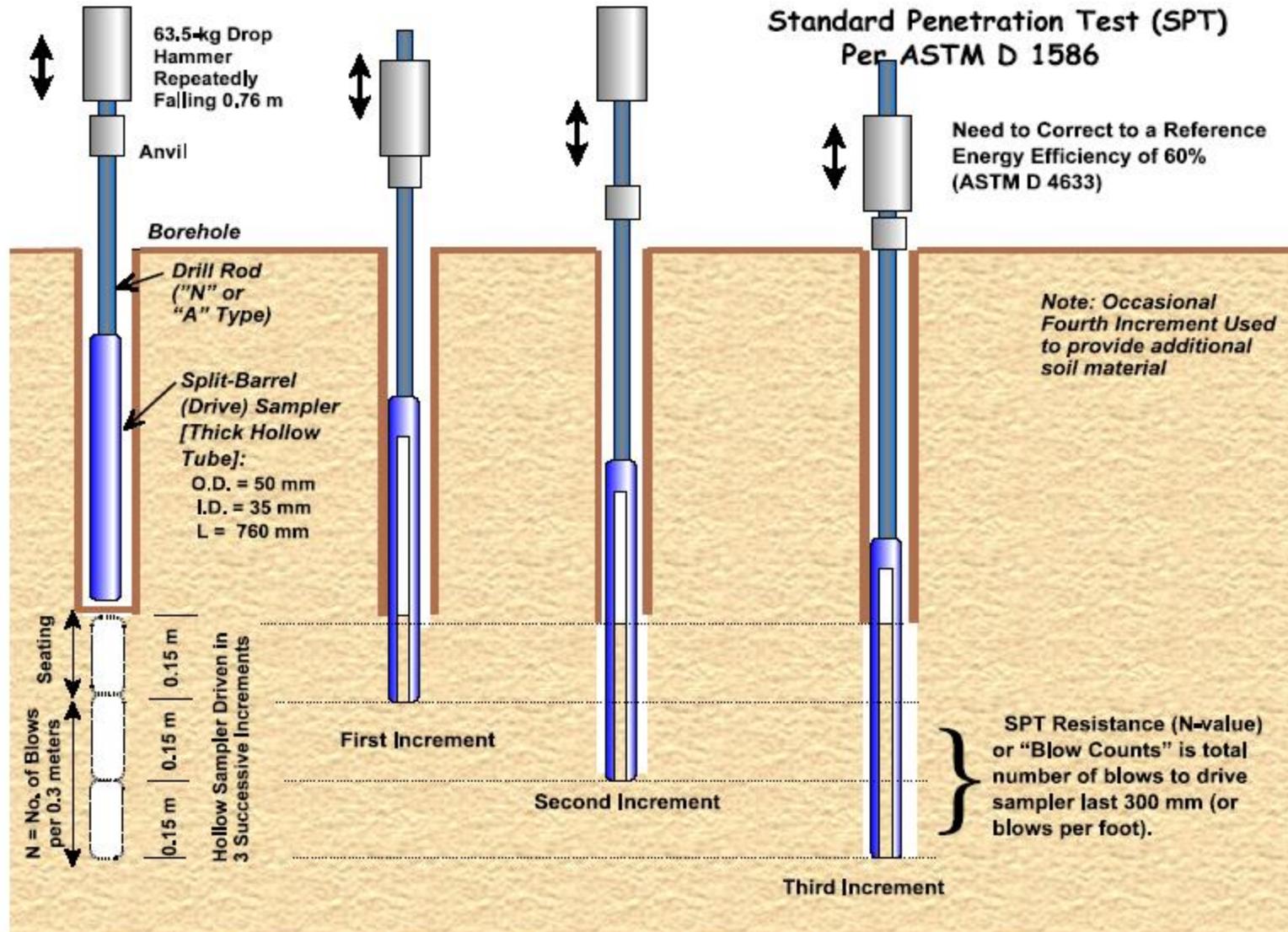
5.1.3 Ensayo de veleta de campo, VST



CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

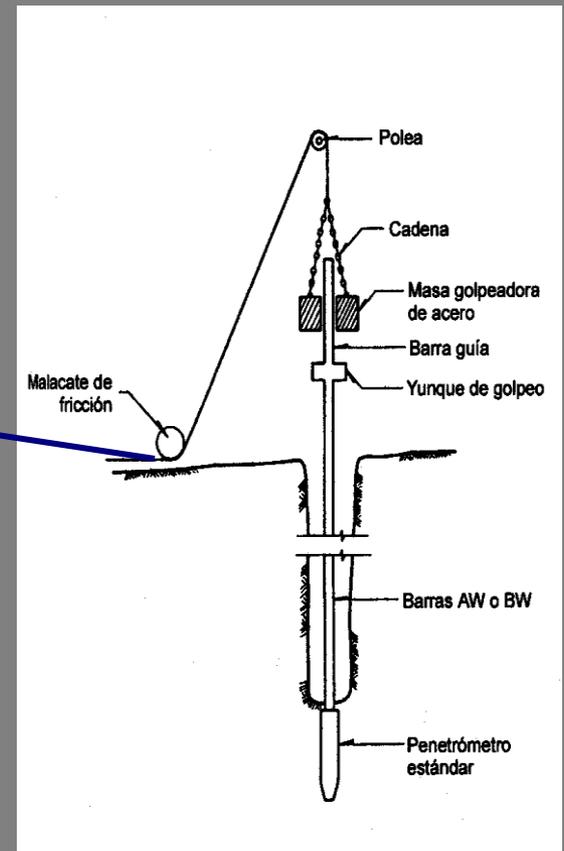
5.1.4 Ensayo de Penetración Estándar, SPT



CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

Es de gran importancia La medición de la energía transmitida a las barras y al muestreador?



5.1.4 Ensayo de Penetración Estándar, SPT

Tabla 7. Cambios en los valores de N dado por varios factores (De Kulhawy y Trautmann, 1996)

N-SPT Variables		Efectos relativos de los resultados del ensayo
Grupo	Item	
Equipo	Muestreador no estándar	Moderado
	Muestreador Deformado o dañado	Moderado
	Diámetro/Peso de varillas	Menor
	Longitud de varillas	Menor
	Varillas deformadas	Menor
	Tipos de martillo	Moderado a significativo
	Sistema de caída de martillo	Significativo
	Peso del martillo	Menor
	Tamaño del bloque de impacto	Moderado a significativo
Clase de equipo de perforación	menor	
Procesador/Operador	Tamaño del agujero	Moderado
	Método de estabilización del agujero	Menor a significante
	Limpieza del agujero	Moderado a significante
	Cabeza hidrostática insuficiente	Moderado a significante
	Moderado a significante	Moderado a significante
	Preparación del muestreador	Moderado a significante
	Método de caída del martillo	Moderado a significante
Error en el conteo de golpes	Menor	

CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.1.4 Ensayo de Penetración Estándar, SPT

Hammer	Correction Factor, C_E
Automatic	1.3
Safety	1.0
Donut	0.75

*Eficiencias (ER)
de martillos de
la prueba SPT
(adaptado de
Clayton, 1990)*

Country	Hammer Type (per Figure 4.10)	Hammer Release Mechanism	Hammer Efficiency ER
Argentina	Donut	Cathead	0.45
Brazil	Pin weight	Hand dropped	0.72
China	Automatic	Trip	0.60
	Donut	Hand dropped	0.55
	Donut	Cathead	0.50
Colombia	Donut	Cathead	0.50
Japan	Donut	Tombi trigger	0.78–0.85
	Donut	Cathead 2 turns + special release	0.65–0.67
UK	Automatic	Trip	0.73
US	Safety	2 turns on cathead	0.55–0.60
	Donut	2 turns on cathead	0.45
Venezuela	Donut	Cathead	0.43

$$N_{60} = N_{\text{field}} C_E$$

Donde:

N_{60} = valor N corregido al 60% de la máxima energía teórica liberada por un martillo de 140 lbs que se deja caer desde 30 pulg.

N_{field} = valor de SPT medido en el campo.

C_E = factor de corrección de energía (ver Tabla 2)

$$C_E = (E_f/60)$$

$$N_{60} = (E_f/60) N_{\text{prom}}$$

ER= sistema de energía del martillo expresada como un porcentaje de la energía teórica de un martillo de 140 lbs cayendo 30 pulg..

CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.1.4 Ensayo de Penetración Estándar, SPT

ARENAS DEPENDEN FUERTEMENTE DE LA PRESION DE CONFINAMIENTO

CON C_N LOS EFECTOS DE LA PRESION DE CONFINAMIENTO SON COMPENSADOS

- ▶ Liao y Whitman (1986) determina el valor de $(N_1)_{60}$ como:

$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100kPa}{\sigma'_z}}$$

C_N

CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO



Dimensiones:

DE: 44.5mm

DI: 34mm

A: 6.47cm²

L: 600mm

$$EFV = \int_{t=0}^{t=t \max} F(t) \cdot v(t) dt$$



Instrumentos fueron conectados en un Analizador de señales, **SPT AnalyzerTM** (Pile Dynamics Inc. 2000)

CAPITULO 5

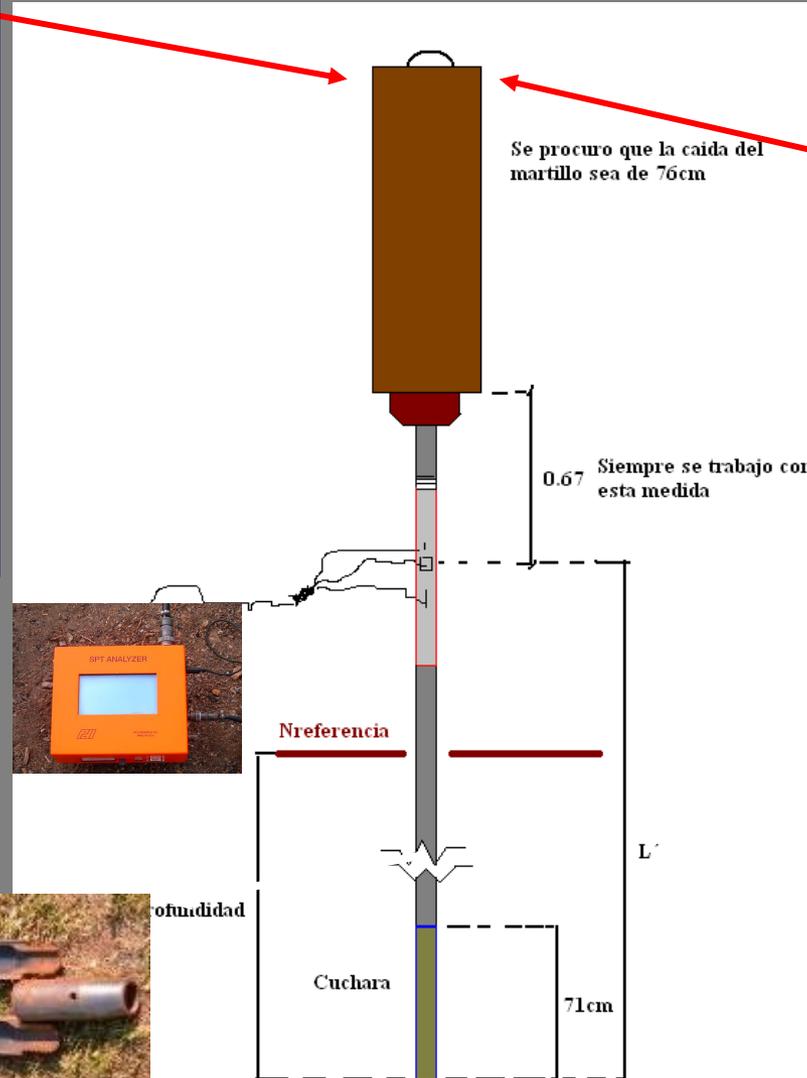
MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.1.4 Ensayo de Penetración Estándar, SPT

Martillo tipo DONUT



Martillo tipo SAFETY



CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.1.4 Ensayo de Penetración Estándar, SPT



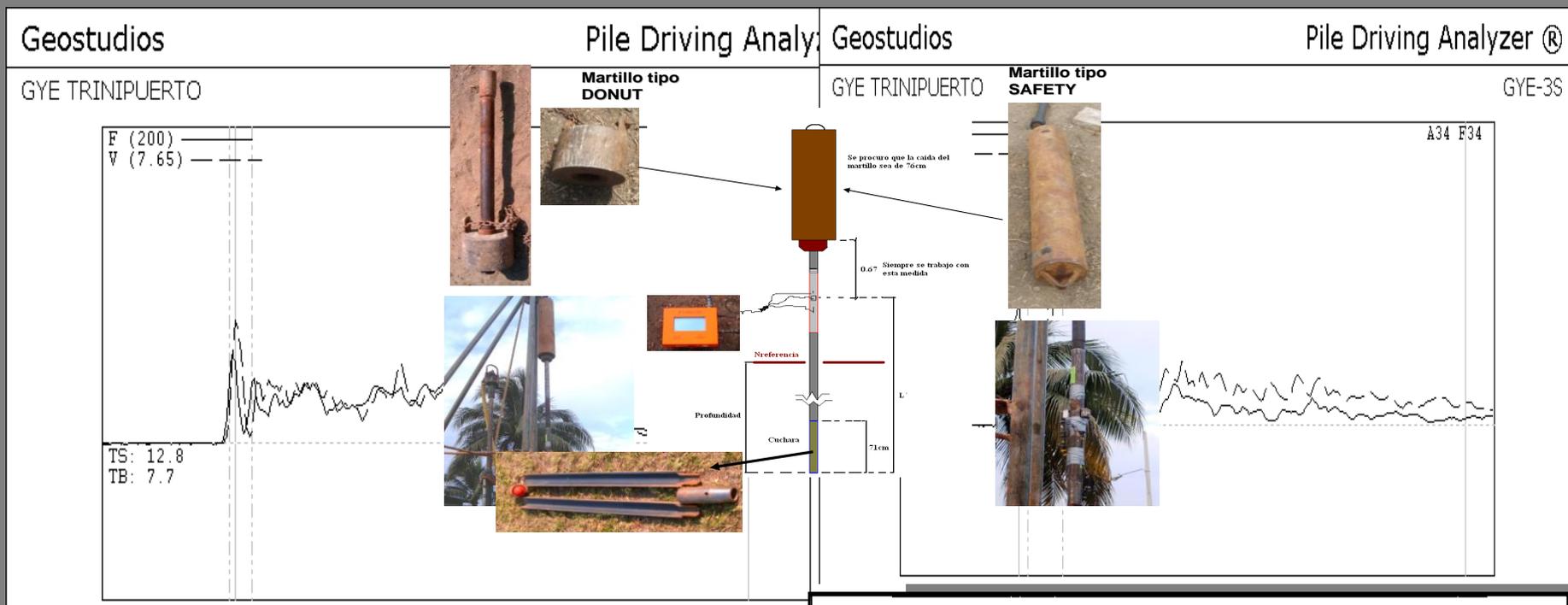
Diferencias entre el martillo Safety (SEGURO) y el Donut (Usado en la Ciudad de Guayaquil)



CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.1.4 Ensayo de Penetración Estándar, SPT



Project Information	Quantity Results
PROJECT: GYE TRINIPUERTO	FMX 56 kN
PILE NAME: GYE-3S	VMX 2.97 m/s
DESCR: CATHEAD & ROPE;DONUT CEVACONSULFVPW0.67[];SEOSUELOS	EMX 0.19 kN-m
OPERATOR: XVG & ETO	E2E 0.19 kN-m
FILE: GYE-3S	ETR 39.9 (%)
02/06/2005 17:00:01	EF2 0.18 kN-m
Blow Number 35	BPM 20 bpm
	EFV 0.19 kN-m
	ER=40%
Pile Properties	Sensors
LE 23.95 m	F3: [F1] 220.7 (1)
AR 6.47 cm ²	F4: [F2] 221.51 (1)
EM 206840 MPa	A3: [A1] 360 mv/5000g's (1)
SP 77.3 kN/m ³	A4: [A2] 435 mv/5000g's (1)
WS 5123.0 m/s	CLIP: OK
EA/C 26 kN-s/m	F3/F4: OK 1.06
2L/C 9.24 ms	V3/V4: OK 1.03
JC 0.00 []	
LP 23.15 m	

Project Information	Quantity Results
PROJECT: GYE TRINIPUERTO	FMX 59 kN
PILE NAME: GYE-3S	VMX 3.17 m/s
DESCR: CATHEAD & ROPE;DONUT CEVACONSULFVPW0.60[];SEOSUELOS	EMX 0.28 kN-m
OPERATOR: XVG & ETO	E2E 0.28 kN-m
FILE: GYE-3S	ETR 60.0 (%)
03/06/2005 10:38:01	EF2 0.20 kN-m
Blow Number 44	BPM 0 bpm
	EFV 0.28 kN-m
	ER=60%
Pile Properties	Sensors
LE 24.94 m	F3: [F1] 220.7 (1)
AR 6.47 cm ²	F4: [F2] 221.51 (1)
EM 206840 MPa	A3: [A1] 360 mv/5000g's (1)
SP 77.3 kN/m ³	A4: [A2] 435 mv/5000g's (1)
WS 5123.0 m/s	CLIP: OK
EA/C 26 kN-s/m	F3/F4: OK 0.87
2L/C 9.62 ms	V3/V4: OK 0.80
JC 0.00 []	
LP 24.65 m	

CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.1.4 Ensayo de Penetración Estándar, SPT

ER = Energía transmitida / Energía teórica (474.5 Joules)

475 Joles = 0.47 kN-m

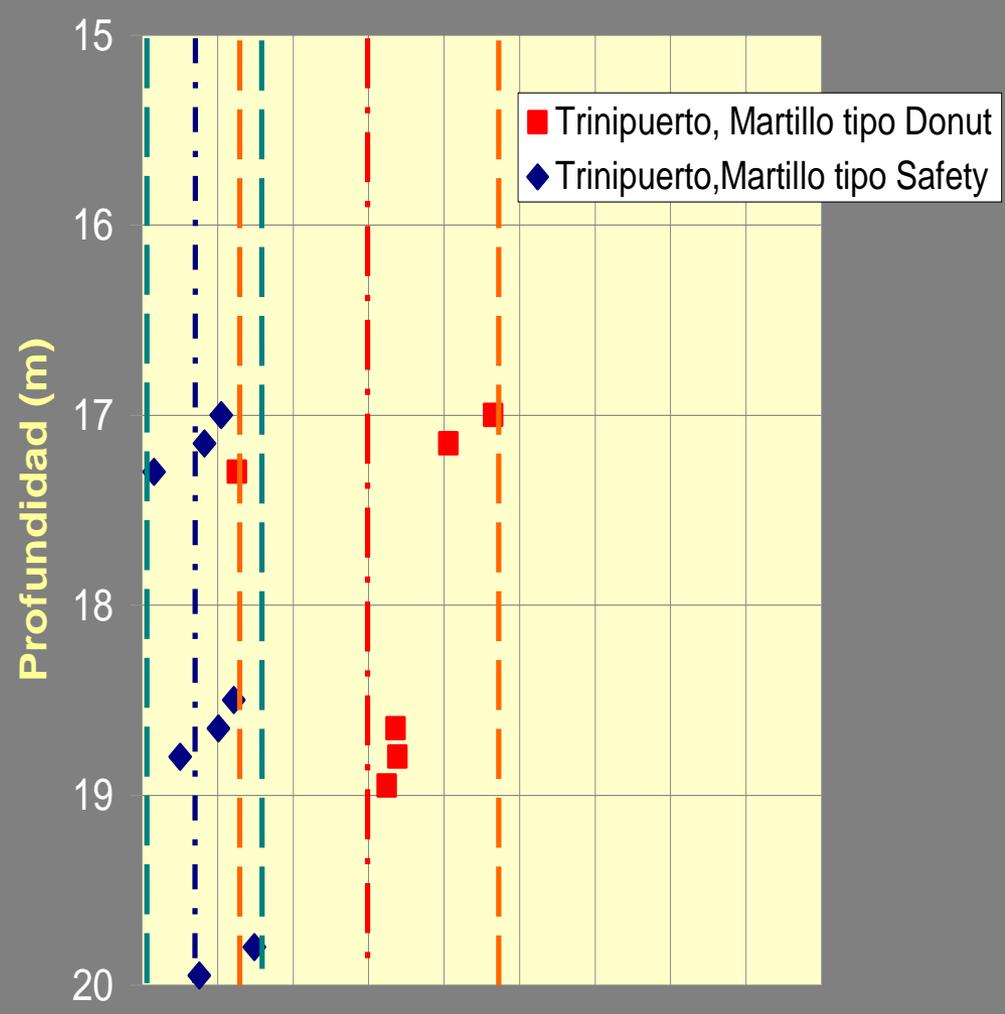
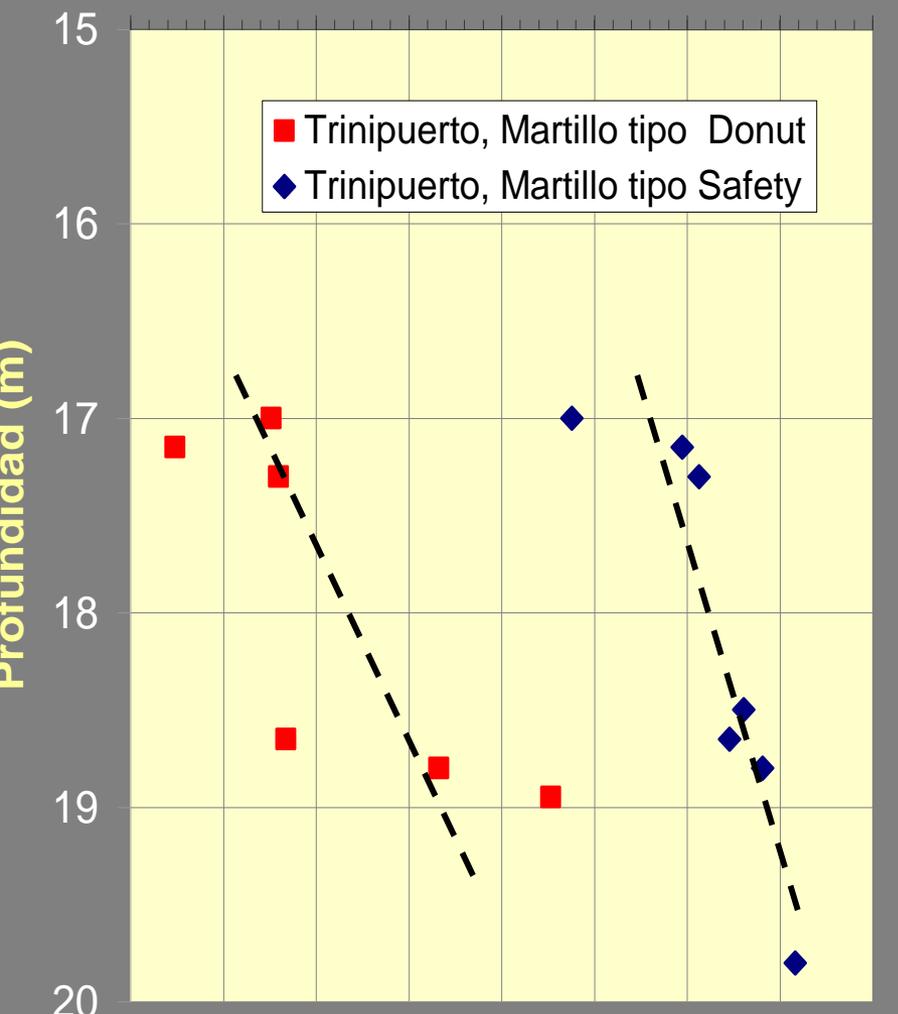
ER (%)

Coefficiente de Variación de ER

Cov (%)

30 35 40 45 50 55 60 65 70

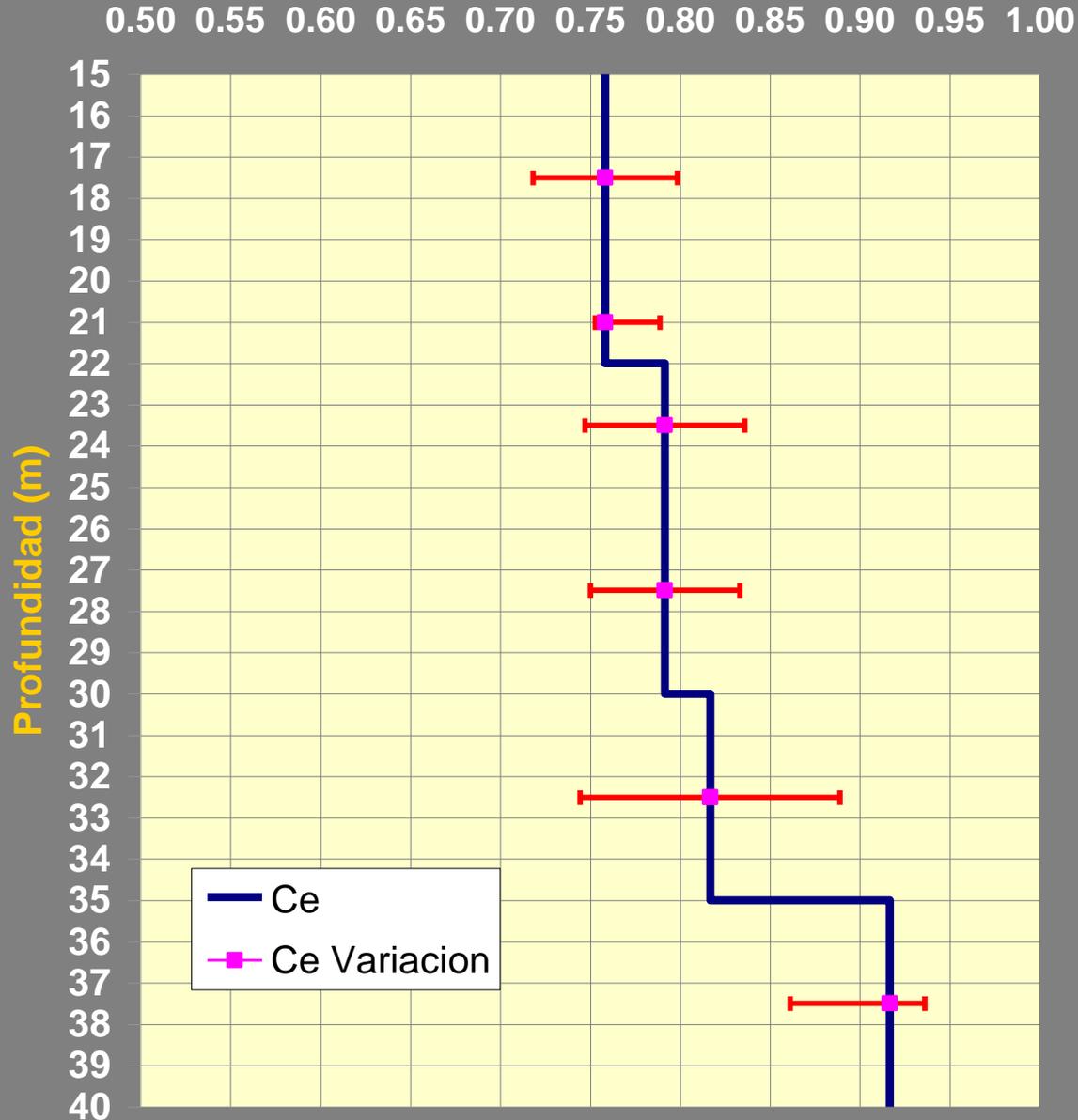
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45



CAPITULO 5

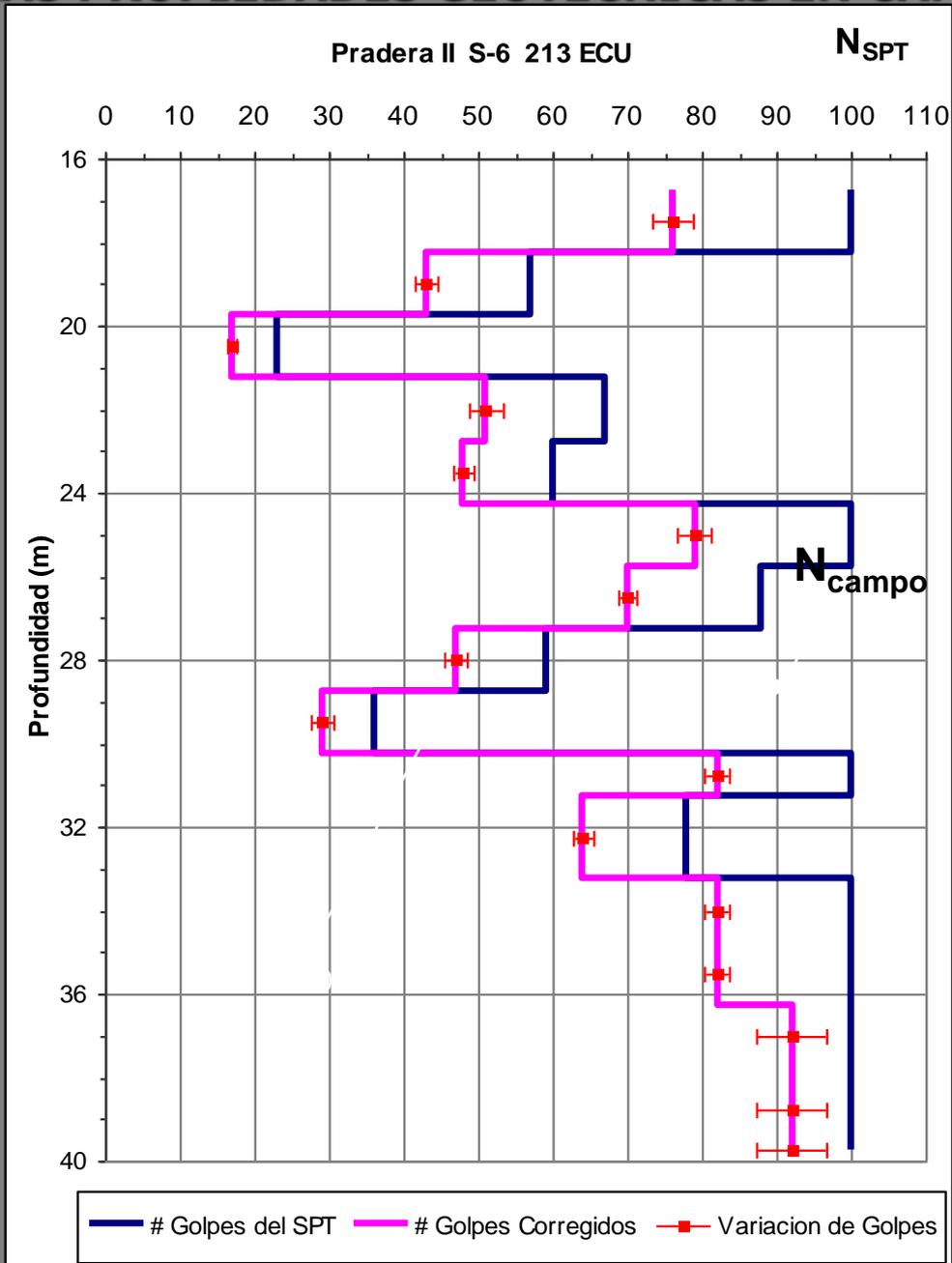
MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

CE, Usando Martillo tipo DONUT



CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO



CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

VARIABILIDAD DE LA ENERGIA DE IMPACTO EN EL ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR, GUAYAQUIL 2005

Martillo DONUT y barras AW			
Energía			
Profundidad (m)	% ER	C_E	COV
15-22	45,5	0,76	0,05
22-30	47,5	0,79	0,06
30-35	49	0,82	0,09
35-40	55	0,92	0,06

Martillo SAFETY y barras AW			
Energía			
Profundidad (m)	% ER	C_E	COV
15-40	61	1.02	0.02

Seed, et al 1985	Tabla de Marillo	%ER	C_E
	Anular ("Donut")	45	0.75
	De Seguridad (Safety)	60	1
Youd e Idriss, 1997	Automatico	100	1.67
	Anular ("Donut")	30 a 60	0.5 a 1.0
	De Seguridad (Safety)	42 a 72	0.7 a 1.2
Gye, 2005	Automatico	48 a 78	0.8 a 1.3
	DONUT	45-55	0.76-0.92
	SAFETY	61-63	1.02-1.04

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.1 Metodología de los ensayos de laboratorio

- ✓ Contenido de humedad natural norma ASTM D2216
- ✓ Límites de Atterberg norma ASTM D4318
- ✓ Granulometría norma ASTM D422
- ✓ Compresión sin confinar (simple) norma ASTM D2166
- ✓ Consolidación norma ASTM D2435-90
- ✓ Clasificación de Suelos norma ASTM D2487
- ✓ Densidad de sólidos norma ASTM D854



CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.2.1 Estimación de la superficie específica (S_e) de los suelos finos



▪ 10.0 gr de suelo secado a horno en 30 ml de agua desionizada.

▪ 1.0 gr de polvo seco de AM , en 200 ml de agua desionizada.

CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

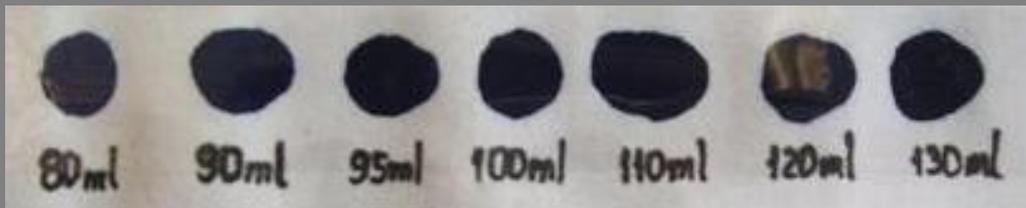
5.2.1 Estimación de la superficie específica (S_e) de los suelos finos



$$S_e = \frac{1 \text{ gr}}{319.87 \text{ gr/mol}} \cdot \frac{1}{200 \text{ ml}} \cdot (N) \cdot N_{AV} \cdot A_{AM} \cdot \frac{1}{10 \text{ gr}}$$

Donde:

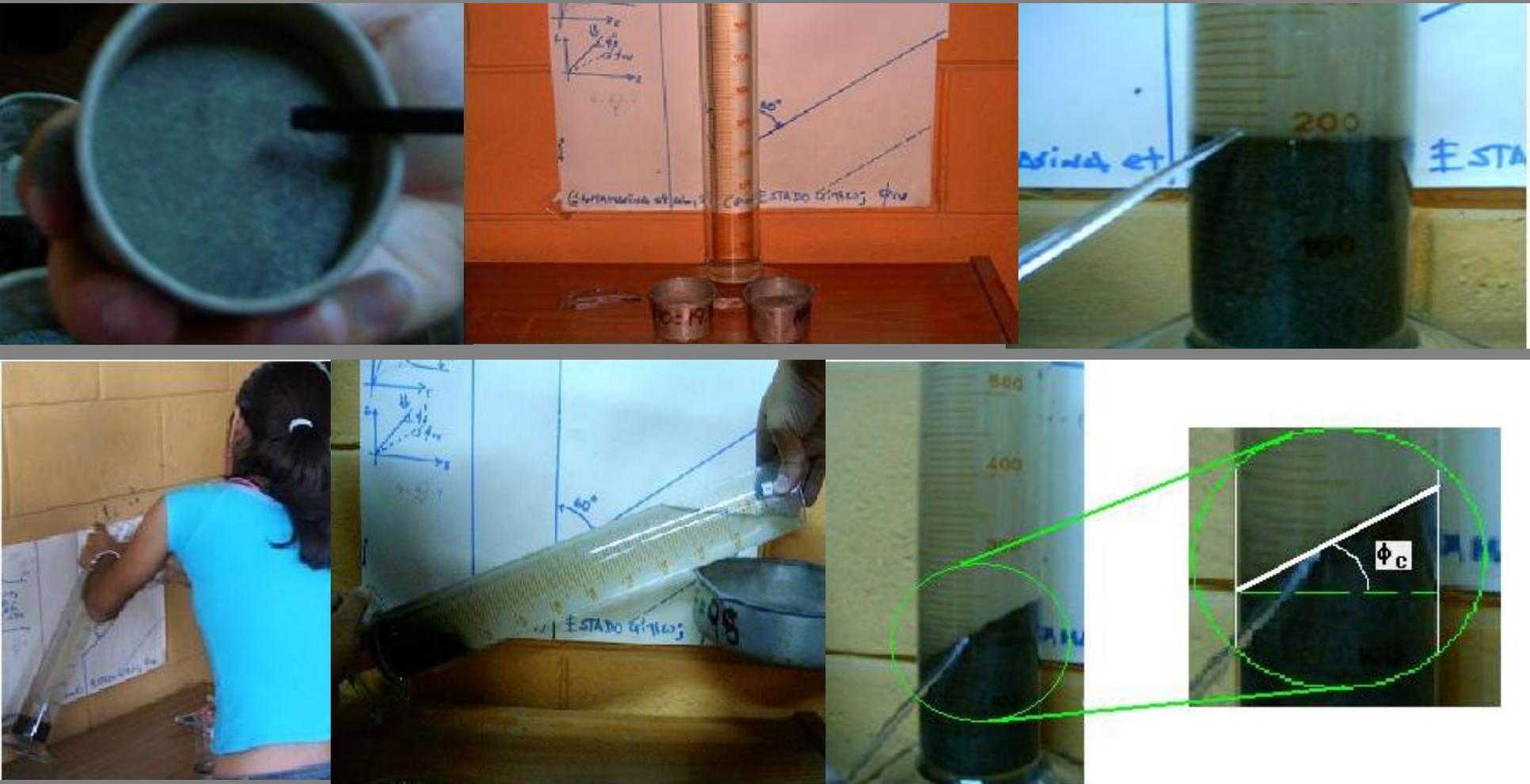
$N_{AV} = 6.02 \times 10^{23}$ moléculas/mol es el Número de Avogadro
 A_{AM} es el área cubierta por un catión de AM, asumida generalmente en 130 \AA



CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

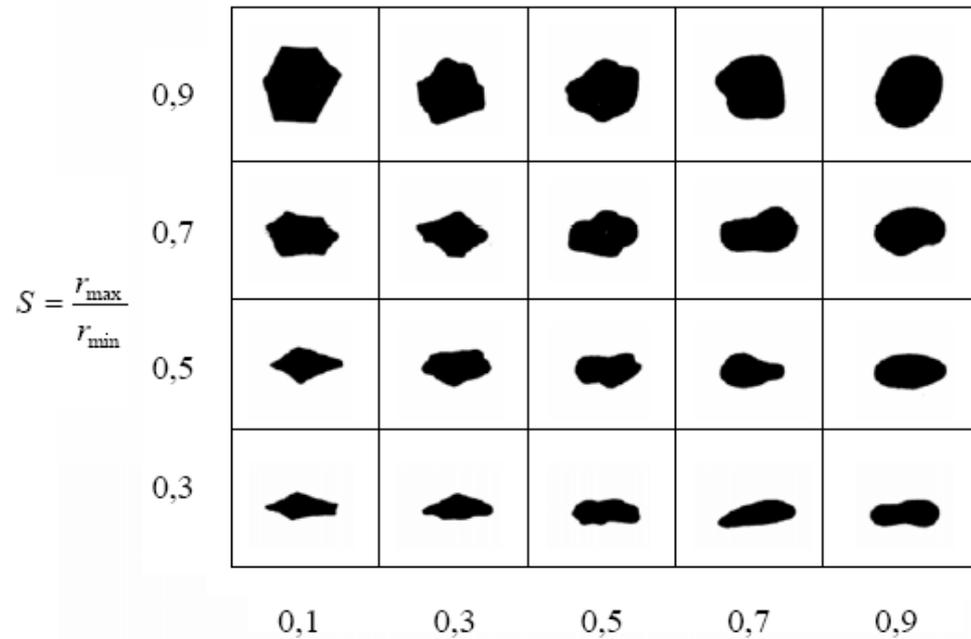
5.2.2 Estimación del ángulo de fricción en el estado crítico



CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.2.3 Estimación de la redondez y esfericidad de las arenas

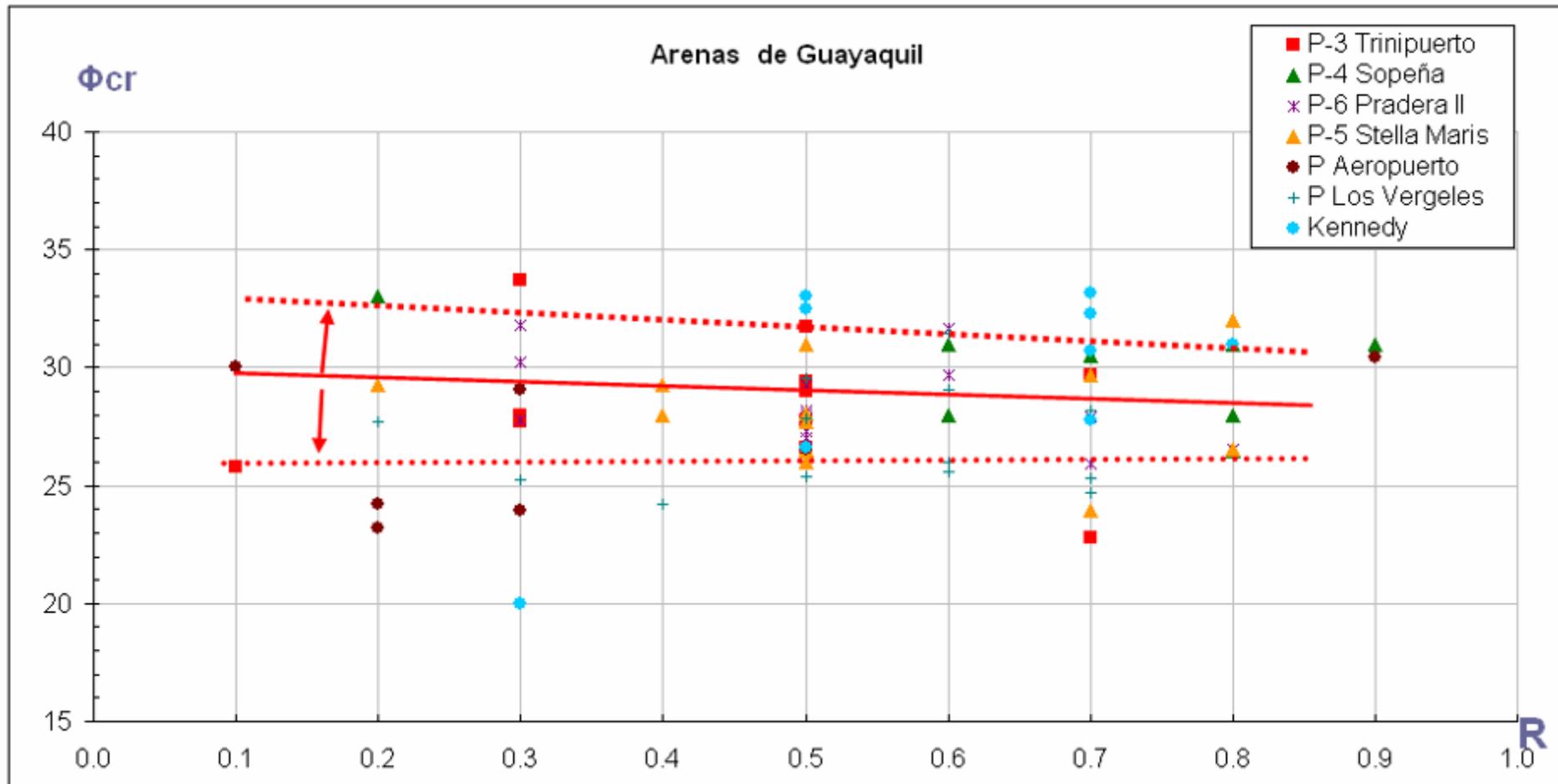


$$R = \frac{\sum r_i / N}{r_{\max}}$$

CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.2.3 Estimación de la redondez y esfericidad de las arenas



CAPITULO 6

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ESTIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS

6.1 Ecuaciones de correlación en función de los ensayos de laboratorio

6.1.1 Ecuaciones de correlación en función de la resistencia al esfuerzo cortante no drenado (S_u), el índice de liquidez (IL) y la rigidez (G_{max})

Zona geotécnica D1, Deltáico-Estuarino (Este-Centro)

$$G_{max} = \left(95 \cdot \frac{S_u}{IL} + 870\right) \cdot \sigma'_{vo}$$

COV: 0.25

Zona geotécnica D2, Deltáico-Estuarino (Sur)

$$G_{max} = \left(35 \cdot \frac{S_u}{IL} + 3325\right) \cdot \sigma'_{vo}$$

COV: 0.15

Donde

$G_{max} = (t/m^2)$, $S_u = (t/m^2)$, $\sigma'_{vo} = (t/m^2)$, $IL = \%$

CAPITULO 6

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ETIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS

6.1 Ecuaciones de correlación en función de los ensayos de laboratorio

6.1.1 Ecuaciones de correlación en función de la resistencia al esfuerzo cortante no drenado (S_u), el índice de liquidez (IL) y la rigidez (G_{max})

Zona geotécnica D3, Deltáico-Estuarino (Oeste–Norte-Trinitaria)

$$G_{max} = \left(625 \cdot \frac{S_u}{IL} + 70\right) \cdot \sigma'_{vo}$$

COV: 0.35

Zona geotécnica D4, Llanura aluvial (Norte)

$$G_{max} = \left(60 \cdot \frac{S_u}{IL} + 1000\right) \cdot \sigma'_{vo}$$

COV: 0.23

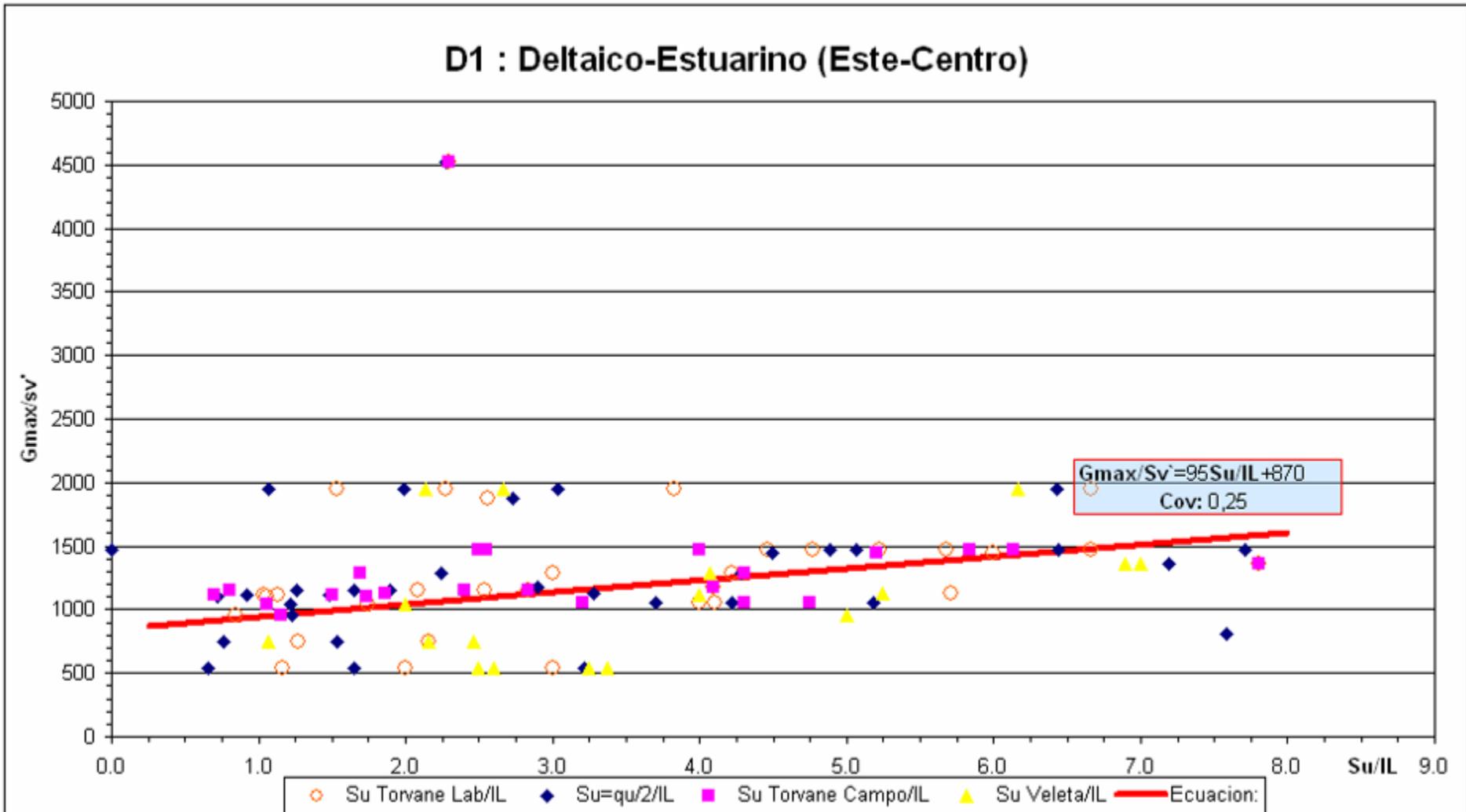
Donde

$G_{max} = (t/m^2)$, $S_u = (t/m^2)$, $\sigma'_{vo} = (t/m^2)$, $IL = \%$

CAPITULO 6

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ETIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS

6.1.1 Ecuaciones de correlación en función de la resistencia al esfuerzo cortante no drenado (S_u), el índice de liquidez (IL) y la rigidez (G_{max})



CAPITULO 6

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ETIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS

6.1 Ecuaciones de correlación en función de los ensayos de laboratorio

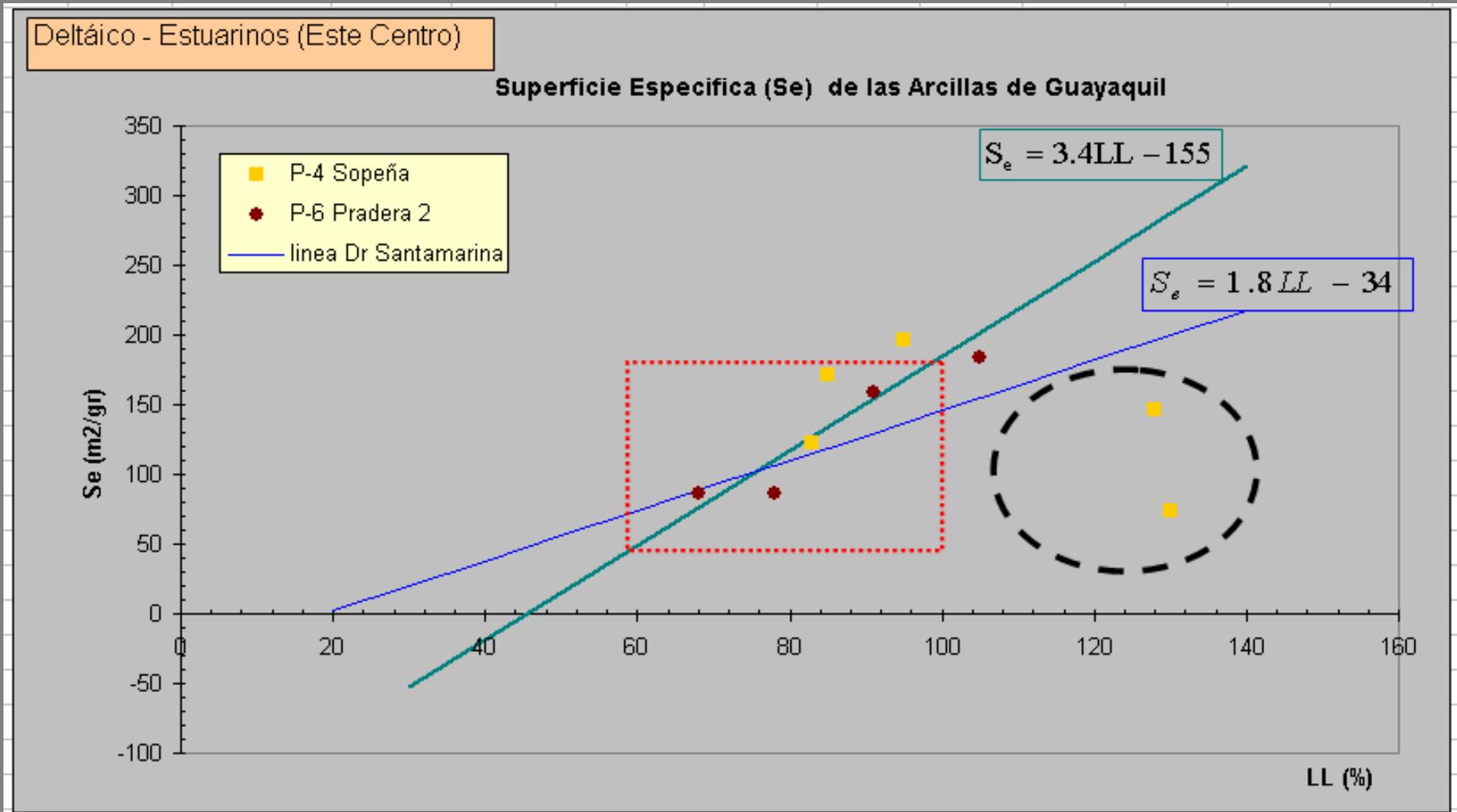
6.1.2 Ecuaciones de correlación para estimar el valor de la superficie específica (Se) de las series arcillosas

Zona	Rango de datos LL (%)			Se (m ² /gr)			PH Fluido en los poros del suelo	Ecuación de estimación
	Min	Max	Rango	Min	Max	Rango		
Deltáico Estuarino (Este Centro)	60	100	40	49	185	136	7.7	Se=3.4LL - 155
Deltáico Estuarino (Sur)	60	100	40	51	155	104	7,0	Se=2.6LL - 105
Deltáico Estuarino (Oeste Norte Trinitaria)	40	100	60	110	260	150	7.8	Se=2.5LL + 10

CAPITULO 6

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ETIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS

6.1.2 Ecuaciones de correlación para estimar el valor de la superficie específica (Se) de las series arcillosas



CAPITULO 6

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ETIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS

6.1.3 Ecuaciones de estimación de la resistencia al esfuerzo cortante no drenado para la arcilla gris verdosa de la ciudad de Guayaquil, CH, en estado normalmente consolidado (NC).

$$\frac{S_{u..torv}}{\sigma'_{vo}} = 0.11 + 0.0037IP$$

Skempton 1957

Zona geotécnica D1, Deltáico-Estuarino (Este-Centro)

$$\frac{S_{u..torv}}{\sigma'_{vo}} = 0.23 + 0.0037IP$$

$$\frac{S_{u..VST}}{\sigma'_{vo}} = 0.35 + 0.0037IP$$

Zona geotécnica D3, Deltáico-Estuarino (Oeste–Norte-Trinitaria)

$$\frac{S_{u..torv}}{\sigma'_{vo}} = 0.23 + 0.0037IP$$

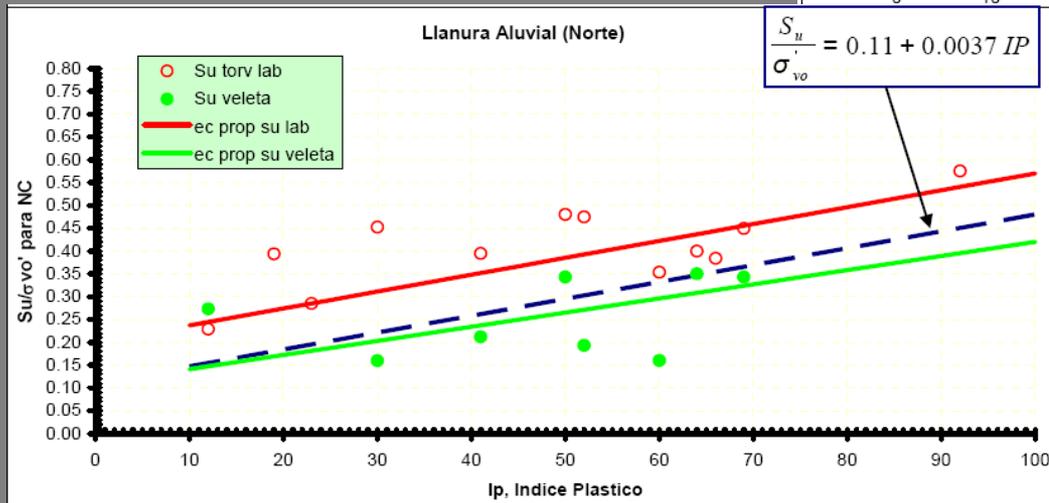
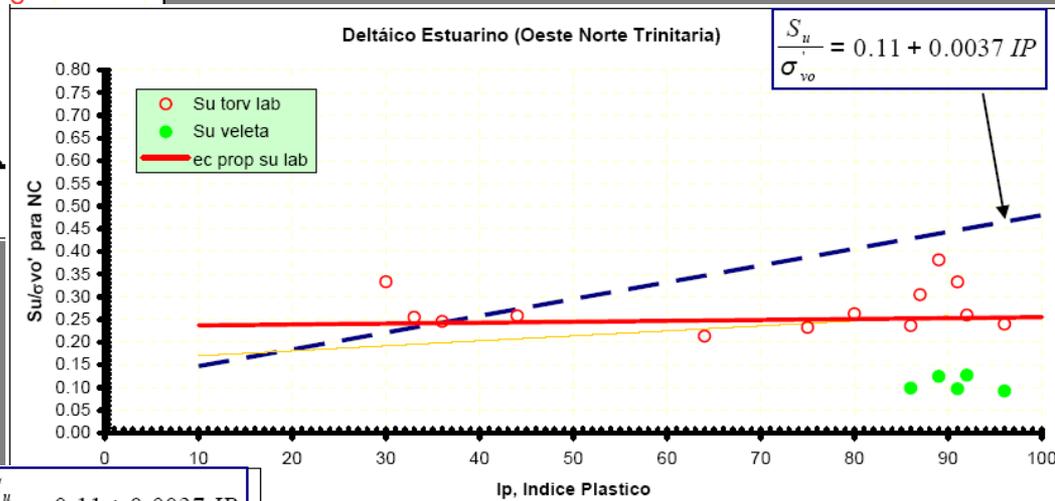
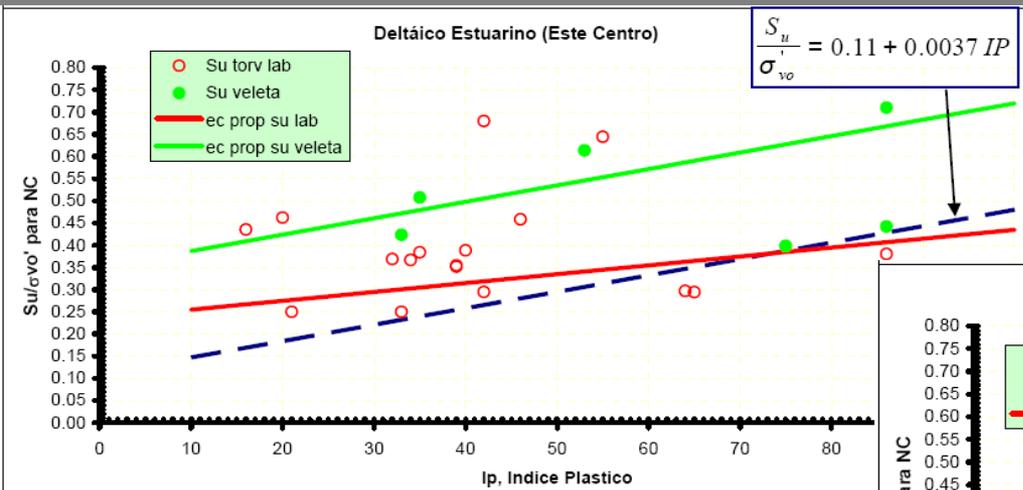
Zona geotécnica D4, Llanura aluvial (Norte)

$$\frac{S_{u..torv}}{\sigma'_{vo}} = 0.20 + 0.0037IP$$

CAPITULO 6

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ETIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS

6.1.3 Ecuaciones de estimación de la resistencia al esfuerzo cortante no drenado para la arcilla gris verdosa de la ciudad de Guayaquil, CH, en estado normalmente consolidado (NC).



CAPITULO 6

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ETIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS

6.2. Ecuaciones de correlación en función de los ensayos de campo.

6.2.1 Ecuaciones de correlación entre la resistencia al esfuerzo cortante no drenado S_u y la resistencia de punta del cono estático q_c .

$$S_u = \frac{q_c - \sigma_{v\sigma}}{N_{Kv}}$$

$$S_u = \frac{q_c - \sigma_{v\sigma}}{N_{KT}}$$

Donde S_u $_{vST}$

Donde S_u $_{TOR}$

ZONA	Factor N_{Kv}	ZONA	Factor N_{KT}
D1 : DELTAICO-ESTUARINO (ESTE-CENTRO)	24-25	D1 : DELTAICO-ESTUARINO (ESTE-CENTRO)	25 - 27
D2 : DELTAICO ESTUARINO (SUR)	17	D2 : DELTAICO ESTUARINO (SUR)	22
D3: DELTAICO ESTUARINO (OESTE-NORTE- TRINITARIA)	15-20	D3: DELTAICO ESTUARINO (OESTE-NORTE- TRINITARIA)	15-18
D4 : LLANURA ALUVIAL (NORTE)	27	D4 : LLANURA ALUVIAL (NORTE)	20

CAPITULO 6

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ETIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS

6.2. Ecuaciones de correlación en función de los ensayos de campo.

6.2.1 Ecuaciones de correlación entre la resistencia al esfuerzo cortante no drenado S_u y la resistencia de punta del cono estático q_c .

$$S_u = \frac{q_c - \sigma_{vo'}}{N_{Kqu}}$$

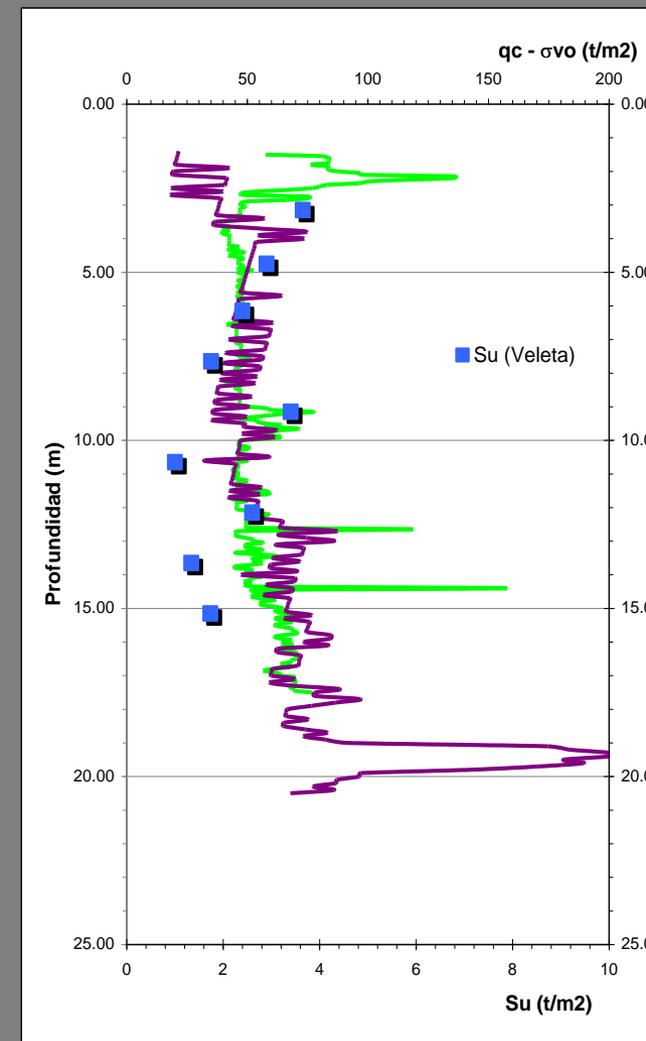
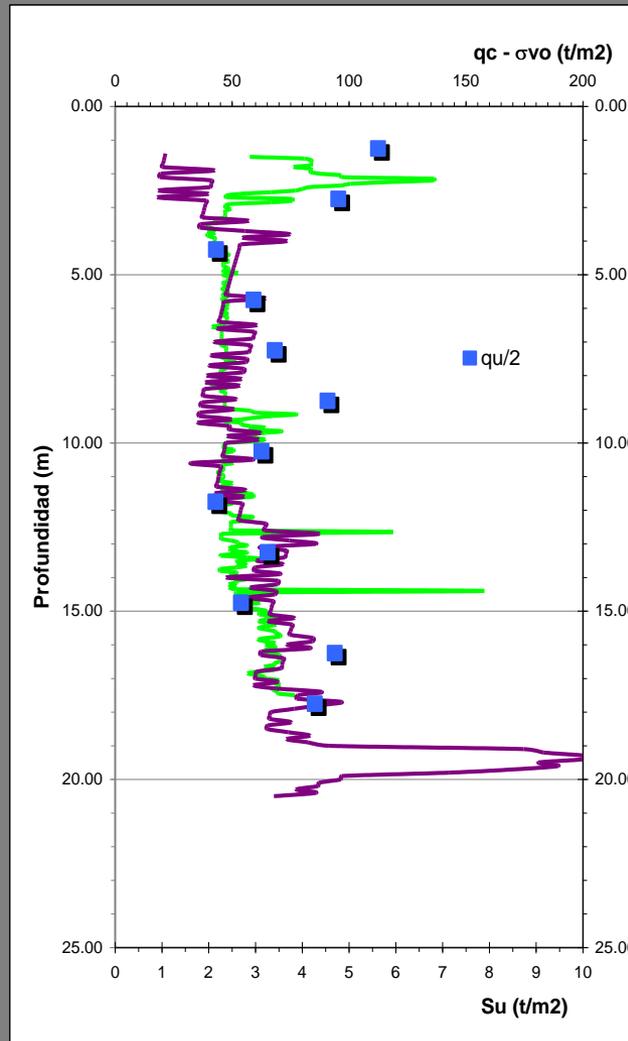
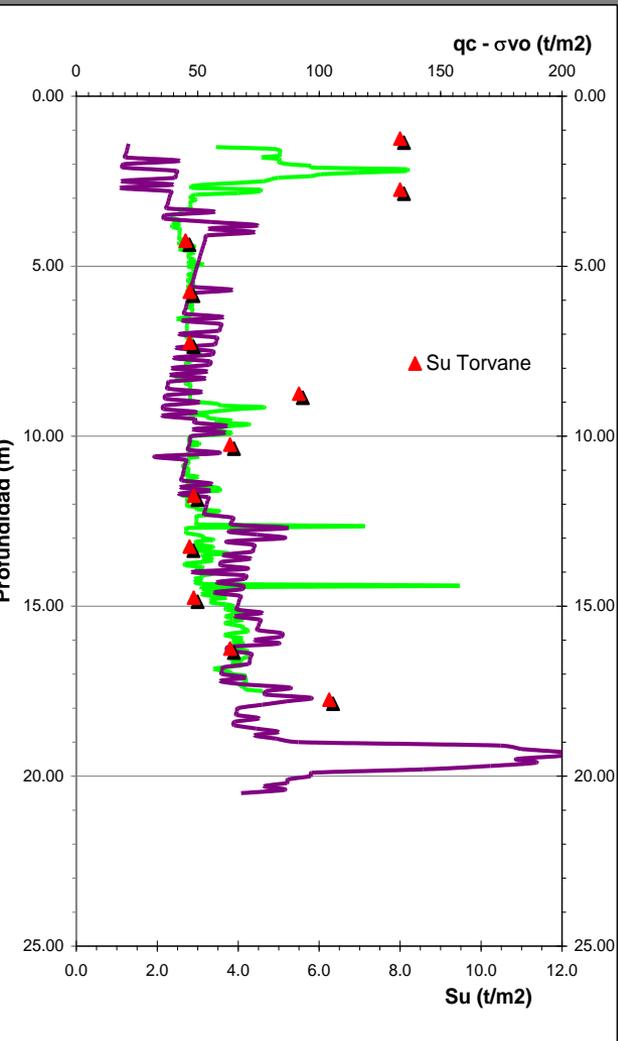
Donde S_u $q_{u/2}$

ZONA	Factor N_{Kqu}
D1 : DELTAICO-ESTUARINO (ESTE-CENTRO)	27 -31
D2 : DELTAICO ESTUARINO (SUR)	25
D3: DELTAICO ESTUARINO (OESTE-NORTE- TRINITARIA)	17 -21
D4 : LLANURA ALUVIAL (NORTE)	22

CAPITULO 6

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ETIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS

6.2.1 Ecuaciones de correlación entre la resistencia al esfuerzo cortante no drenado S_u y la resistencia de punta del cono estático q_c .



CAPITULO 6

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ETIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS

6.2. Ecuaciones de correlación en función de los ensayos de campo.

6.2.2 Ecuaciones de correlación para la estimación de la sensibilidad mediante el valor de qc

$$St = \frac{Rf}{N_{Kf}}$$

$$Rf = \frac{fs}{qc} * 100$$

$$St = \frac{fs}{qc * N_{Kf}} \cdot 100$$

ZONA	Factor N_{kf}
D1 : DELTAICO-ESTUARINO (ESTE-CENTRO)	4
D2 : DELTAICO ESTUARINO (SUR)	5
D3: DELTAICO ESTUARINO (OESTE-NORTE- TRINITARIA)	4.5
D4 : LLANURA ALUVIAL (NORTE)	6

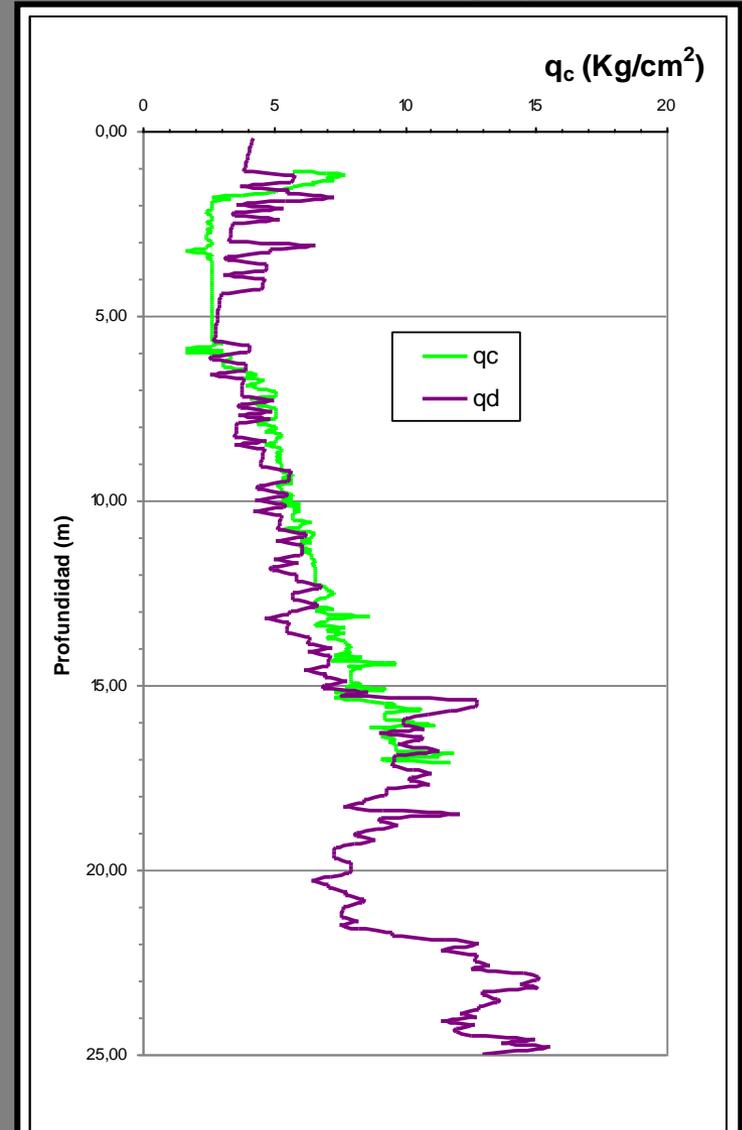
CAPITULO 6

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ETIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS

6.3. Correlación entre la resistencia por punta del cono estático q_c y la resistencia por punta del cono dinámico q_d .

$$q_d = N_{Kd} \cdot q_c$$

ZONA	Factor N_{Kd}	Cov
D1 : DELTAICO-ESTUARINO (ESTE-CENTRO)	6.2	0.1
D2 : DELTAICO ESTUARINO (SUR)	6.5	0
D3 : DELTAICO ESTUARINO (OESTE-NORTE-TRINITARIA)	7.6	0.38
D4 : LLANURA ALUVIAL (NORTE)	8	0



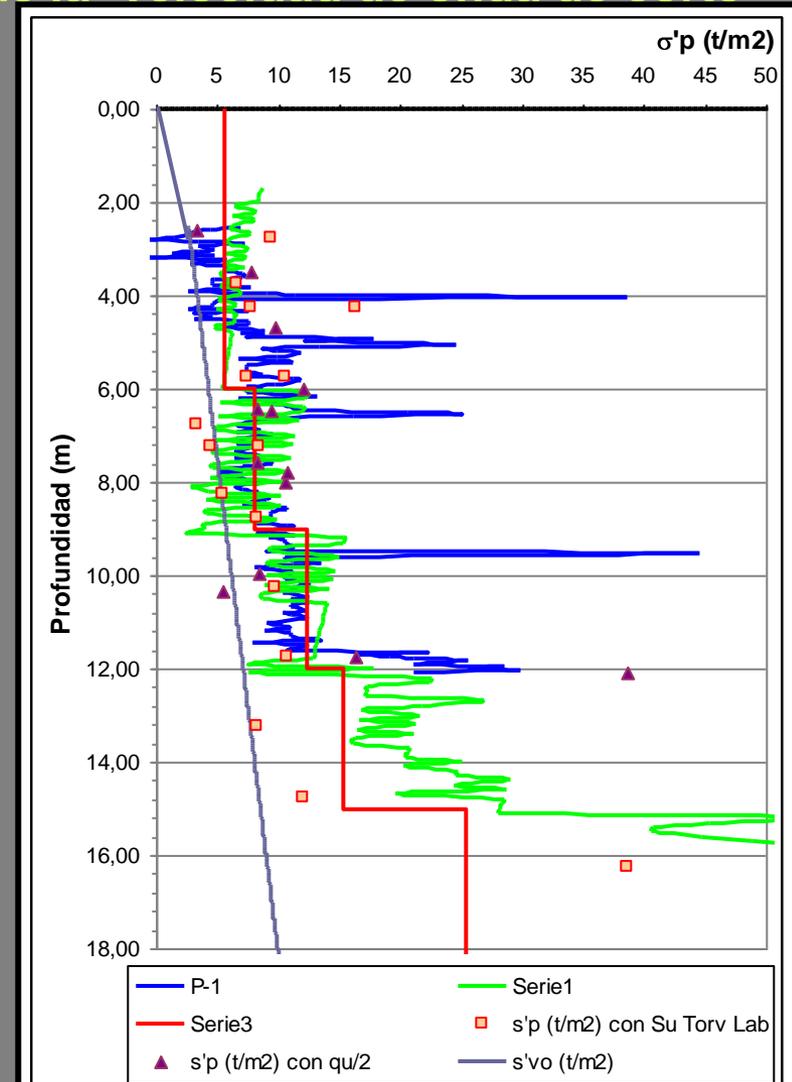
CAPITULO 6

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ETIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS

6.4. Ecuaciones de correlación para estimar los esfuerzos de preconsolidación de los suelos en función de la Velocidad de onda de corte V_s .

$$\sigma'_p = N_{kp} \cdot V_s^{1.47}$$

ZONA	Factor N_{kp}	Cov
D1 : DELTAICO-ESTUARINO (ESTE-CENTRO)	2.3	0.13
D2 : DELTAICO ESTUARINO (SUR)	0.8	0
D3 : DELTAICO ESTUARINO (OESTE-NORTE-TRINITARIA)	1.46	0.62
D4 : LLANURA ALUVIAL (NORTE)	2.12	0.12



CAPITULO 7

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ESTIMAR LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS DE CORTE

7.1 Ecuaciones de correlación en función del S_u , resistencia al esfuerzo cortante no drenado.

Zona geotécnica D1, Deltáico-Estuarino (Este-Centro)

OCR = 1-2

$$V_s = \left(25 \cdot S_u + 175 \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vo} \cdot g}{\gamma} \right)^{1/2}$$

COV: 0.40

OCR > 2

$$V_s = \left(25 \cdot S_u + 400 \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vo} \cdot g}{\gamma} \right)^{1/2}$$

COV: 0.50

Zona geotécnica D2, Deltáico-Estuarino (Sur)

OCR = 1-2

$$V_s = \left(50 \cdot S_u + 500 \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vo} \cdot g}{\gamma} \right)^{1/2}$$

COV: 0.23

OCR > 2

$$V_s = \left(60 \cdot S_u + 1000 \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vo} \cdot g}{\gamma} \right)^{1/2}$$

COV: 0.10

CAPITULO 7

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ESTIMAR LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS DE CORTE

7.1 Ecuaciones de correlación en función del S_u , resistencia al esfuerzo cortante no drenado.

Zona geotécnica D3, Deltáico-Estuarino (Oeste–Norte-Trinitaria)

OCR = 1-2

$$V_s = \left(60 \cdot S_U + 145 \cdot \frac{\sigma_{vo} \cdot g}{\gamma} \right)^{1/2}$$

COV: 0.30

OCR > 2

$$V_s = \left(60 \cdot S_U + 70 \cdot \frac{\sigma_{vo} \cdot g}{\gamma} \right)^{1/2}$$

COV: 0.16

Zona geotécnica D4, Llanura aluvial (Norte)

OCR = 1-2

$$V_s = \left(60 \cdot S_U + 250 \cdot \frac{\sigma_{vo} \cdot g}{\gamma} \right)^{1/2}$$

COV: 0.35

OCR > 2

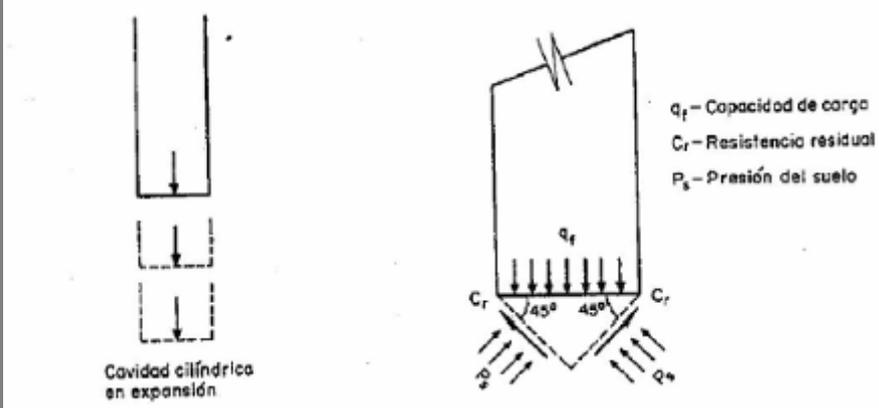
$$V_s = \left(65 \cdot S_U + 205 \cdot \frac{\sigma_{vo} \cdot g}{\gamma} \right)^{1/2}$$

COV: 0.14

CAPITULO 7

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ESTIMAR LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS DE CORTE

7.2 Ecuaciones de correlación en función de la resistencia de punta de cono, q_c



$$V_s = \sqrt{\frac{3gq_c}{2N_{kc} \gamma_s (1 + \nu)}} e^{\frac{3N_{kc} - 4}{4} - \frac{1}{2\beta}}$$

$$V_s = \sqrt{\eta q_c} e^{\alpha}$$

$$\alpha = \frac{3N_{kc} - 4}{4} - \frac{1}{2\beta} \quad \eta = \frac{3g}{2N_{kc} \gamma_s (1 + \nu)}$$

Romo y Ovando (1992)

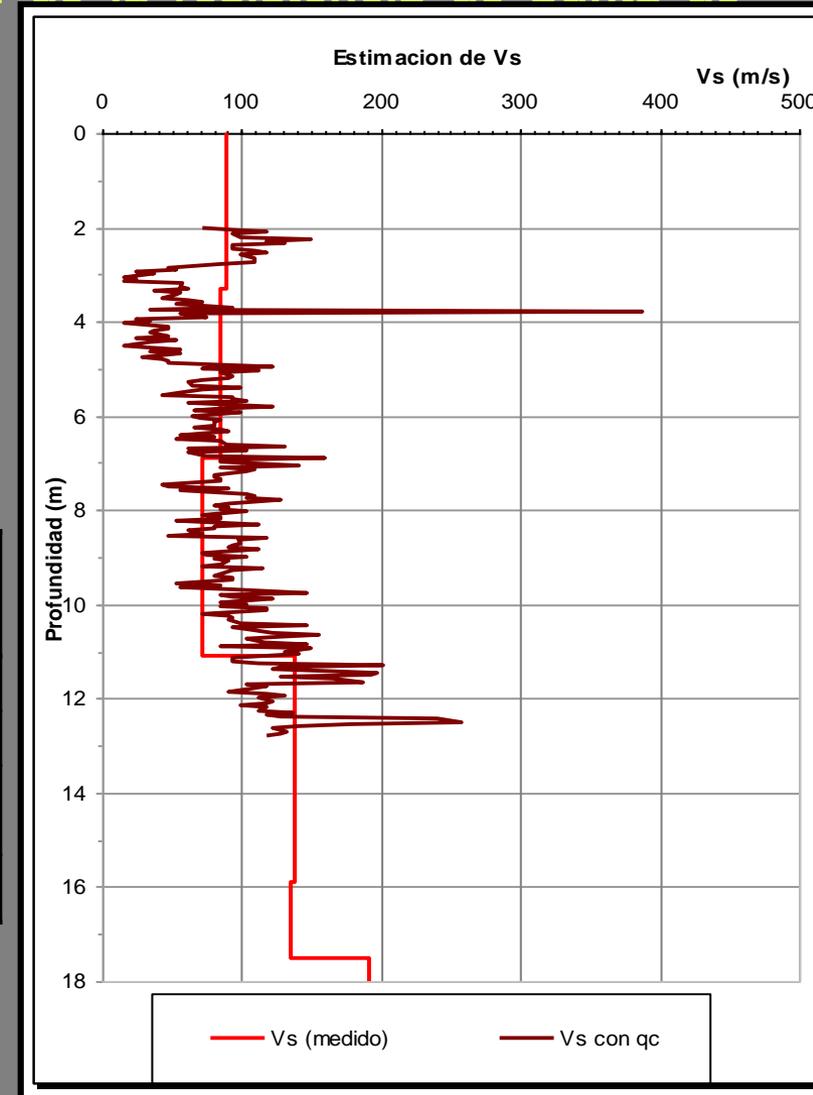
CAPITULO 7

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ESTIMAR LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS DE CORTE

7.2 Ecuaciones de correlación en función de la resistencia de punta de cono, qc

$$V_S = N_{kc} \cdot qc$$

ZONA	Factor N_{kc}
D1 : DELTAICO-ESTUARINO (ESTE-CENTRO)	1.3 – 1.5
D2 : DELTAICO ESTUARINO (SUR)	2.75 – 2.95
D3 : DELTAICO ESTUARINO (OESTE-NORTE-TRINITARIA)	2.0 – 3.0
D4 : LLANURA ALUVIAL (NORTE)	1.5 – 1.7



CAPITULO 7

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ESTIMAR LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS DE CORTE

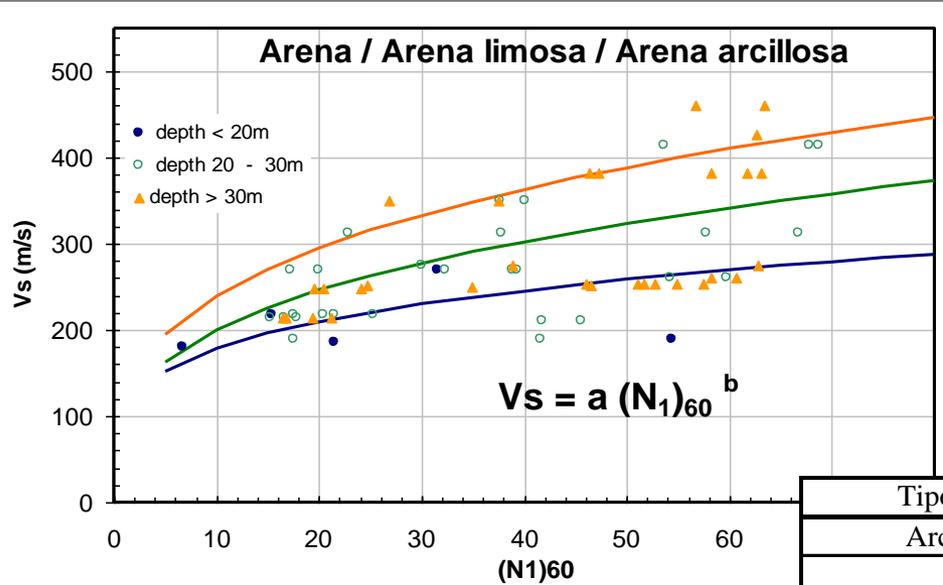
7.3 Ecuaciones de correlación en función del NSPT, número de golpes de la prueba de penetración estándar.

Algunas Correlaciones existentes de Vs-N (SPT)		
TIPO DE SUELO	Vs (m/s)	Autor
Arena	$V_s = 32 N^{0.5}$	Shibata (1970)
	$V_s = 87 N^{0.36}$	Ohta (1972)
	$V_s = 88 N^{0.34}$	Ohta y Goto (1978)
	$V_s = 80 N^{(1/3)}$	JRA (1980)
	$V_s = 56 N^{0.5}$	Seed (1983)
	$V_s = 81 N^{0.33}$	(holocene) Imai (1977)
	$V_s = 97 N^{0.32}$	(Pleistocene) Imai (1977)
	$V_s = 57 N^{0.49}$	Lee (1990)
	$V_s = 100 N^{(1/3)}$	JRA (1980)
Arcilla	$V_s = 114 N^{0.31}$	Lee (1990)
	$V_s = 102 N^{0.29}$	(holocene) Imai (1977)
	$V_s = 114 N^{0.29}$	(Pleistocene) Imai (1977)
	$V_s = 106 N^{0.32}$	Lee (1990)
Limos		
Aluviales	$V_s = 85 N^{0.31}$	Ohba y Toriuma (1970)
Friccionantes	$V_s = 59 N^{0.47}$	Ohsaki y Iwasaki (1973)
Gravas	$V_s = 94 N^{0.34}$	Ohta y Goto (1978)
Granulares (Granular)	$V_s = 100 N^{0.29}$	Sykora y Stokoe (1983)
Arenas diluviales (Dilluvial Sands)	$V_s = 125 N^{0.3}$	Okamoto (1989)
Todos	$V_s = 19 N^{0.6}$	Kanai (1966)
	$V_s = 82 N^{0.39}$	Ohsaki y Iwasaki (1973)
	$V_s = 92 N^{0.329}$	Imai y Yoshimura (1975)
	$V_s = 90 N^{0.341}$	Imai (1975)
	$V_s = 91 N^{0.337}$	Imai (1977)
	$V_s = 85 N^{0.348}$	Ohta y Goto (1978)
	$V_s = 61 N^{0.5}$	Seed y Idriss (1981)
	$V_s = 97 N^{0.314}$	Imai y Tonouchi (1982)
	$V_s = 76 N^{0.33}$	Imai y Yoshimura (1990)
	$V_s = 121 N^{0.27}$	Yokota (1991)
	$V_s = 22 N^{0.85}$	Jafari (1997)
	$V_s = 84 N^{0.31}$	Ohba y Toriumi (1970)

CAPITULO 7

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ESTIMAR LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS DE CORTE

7.3 Ecuaciones de correlación en función del NSPT, número de golpes de la prueba de penetración estándar.



$$V_s = a (N_1)_{60}^b$$

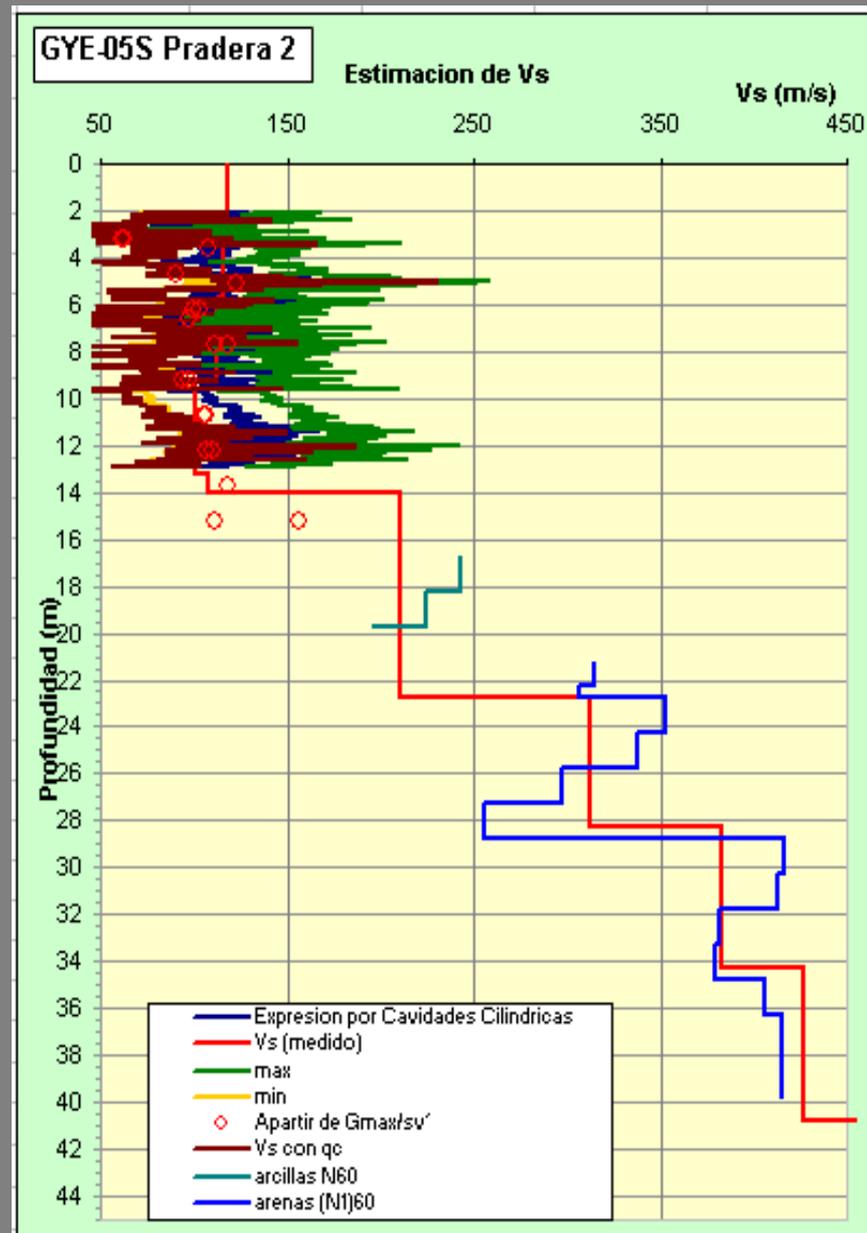
$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100kPa}{\sigma'_{vo}}}$$

Tipo de suelo	% de finos	Prof. (m)	a	b
Arcilla/limo	> 50	< 30	130	0.145
		< 20	105	0.23
		20 - 30	100	0.3
Arena/Arena limosa/Arena arcillosa	< 40	> 30	120	0.3
		< 20	-	-
		20 - 30	93	0.28
	20 - 40	> 30	108	0.32
		< 20	-	-
		20 - 30	60	0.4
10 - 20	> 30	62	0.42	
	< 20	105	0.22	
	20 - 30	93	0.26	
< 10	> 30	100	0.25	

nota: Usar N60 para las arcillas y limos y (N1)60 para los suelos granulares

CAPITULO 8

ESTIMACION DEL PERFIL DE VELOCIDAD DE ONDAS DE CORTE



CAPITULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Estudio Geotécnico preliminar el cual consistió:

Recopilación y evaluación geotécnica de los sondeos existentes en la ciudad, seleccionando 590 perforaciones, para dar lugar a la campaña de exploración de 14 sitios, donde se realizó el análisis espectral de ondas de superficie SASW, obteniéndose el perfil de Velocidad de onda de corte

ZONA	V_{s30} (m/s)	Según NEHRP
D1: Zona Deltáico Estuarino Este Centro	$113 < V_{s30} < 155$	TIPO F
D2: Zona Deltáico Estuarino Sur	$V_{s30} = 224$	TIPO D –
D3: Zona D. E (Oeste Norte Trinitaria)	$106 < V_{s30} < 146$	TIPO F
D4: Llanura Aluvial Norte	$140 < V_{s30} < 190$	TIPO F

CAPITULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En los puntos 2,4,5,6 correspondientes a la

zona D3 : OESTE NORTE TRINITARIA

SALINIDAD \approx 27 gr/lit ESTRUCTURA FLOCULADA $110 < Se < 260$ m²/gr

Zona D1 : ESTE CENTRO Zona D2 : SUR

SALINIDAD \approx 4 a 5 gr/lit ESTRUCTURAS MAS CERRADAS $49 < Se < 185$ m²/gr

- Se recomienda el *uso del martillo de seguridad o martillo safety*, que presenta una baja variabilidad con una variación del 1 al 8% en los valores de la energía transmitida, mientras que el martillo donut muestra una variación del 7 al 24 %.

APORTE DE LA PRESENTE TESIS DE GRADO A LA SOCIEDAD

- Finalmente, podemos caracterizar dinámicamente el subsuelo de Guayaquil por medio de *ecuaciones semiempíricas zonificadas* calibradas a nuestro medio.

- Distintas *ecuaciones de correlación propuestas para la obtención de parámetros estáticos y dinámicos*, mediante ensayos alternativos no comunmente realizados.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS GUIA DE NUESTRAS VIDAS

NUESTROS PADRES.....APOYO DE NUESTRAS VIDAS

HERMANASPOR ESTAR JUNTO A NOSOTROS

NUESTROS PROFESORES.....ESPOL

ING MSC. XAVIER VERA G.....DIRECTOR DE TESIS

Dr. ROBERT KAYEN.....MIEMBRO DEL USGS

CEVACONSULT

GEOSUELOS

ING. TERESA ARMAS

SR. LUIS FRANCO.....OPERADOR DE LABORATORIO CEVACONSULT

Y A TODOS AQUELLAS ENTIDADES Y PROFESIONALES QUE DE
MANERA DIRECTA O INDIRECTA COLABORARON CON LA
REALIZACION DE NUESTRA TESIS.

**GRACIAS
POR SU
ATENCIÓN**

