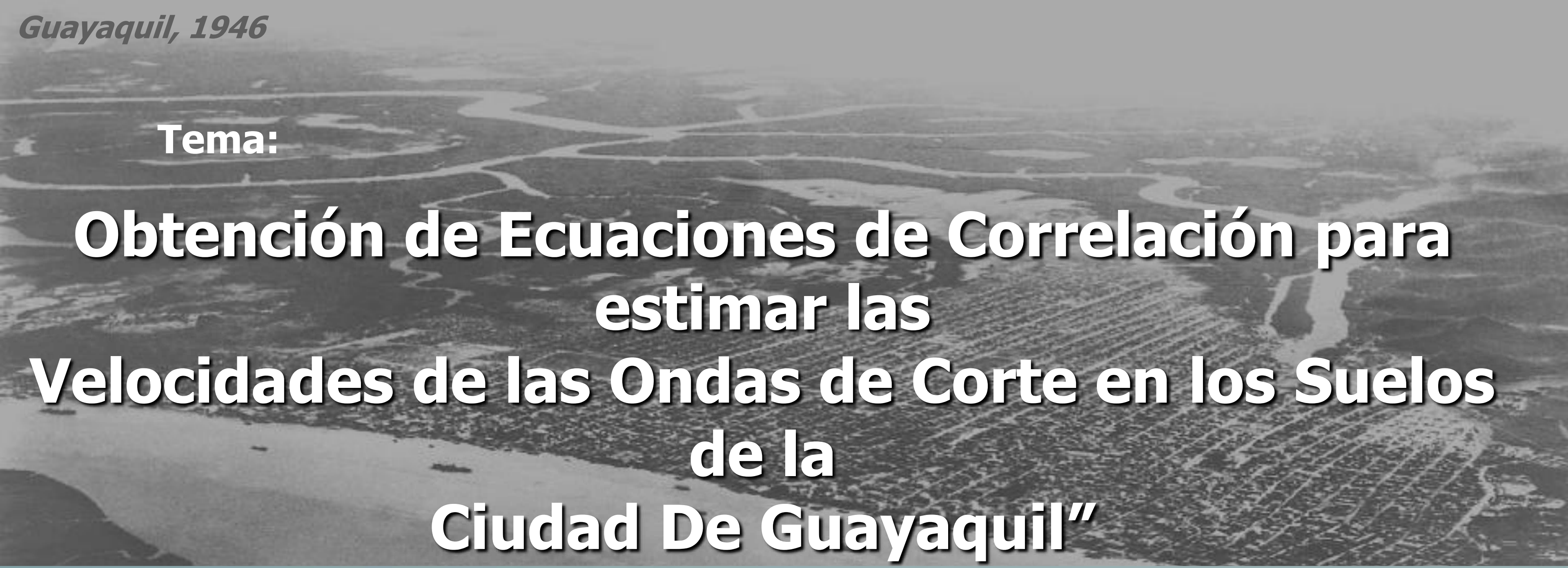
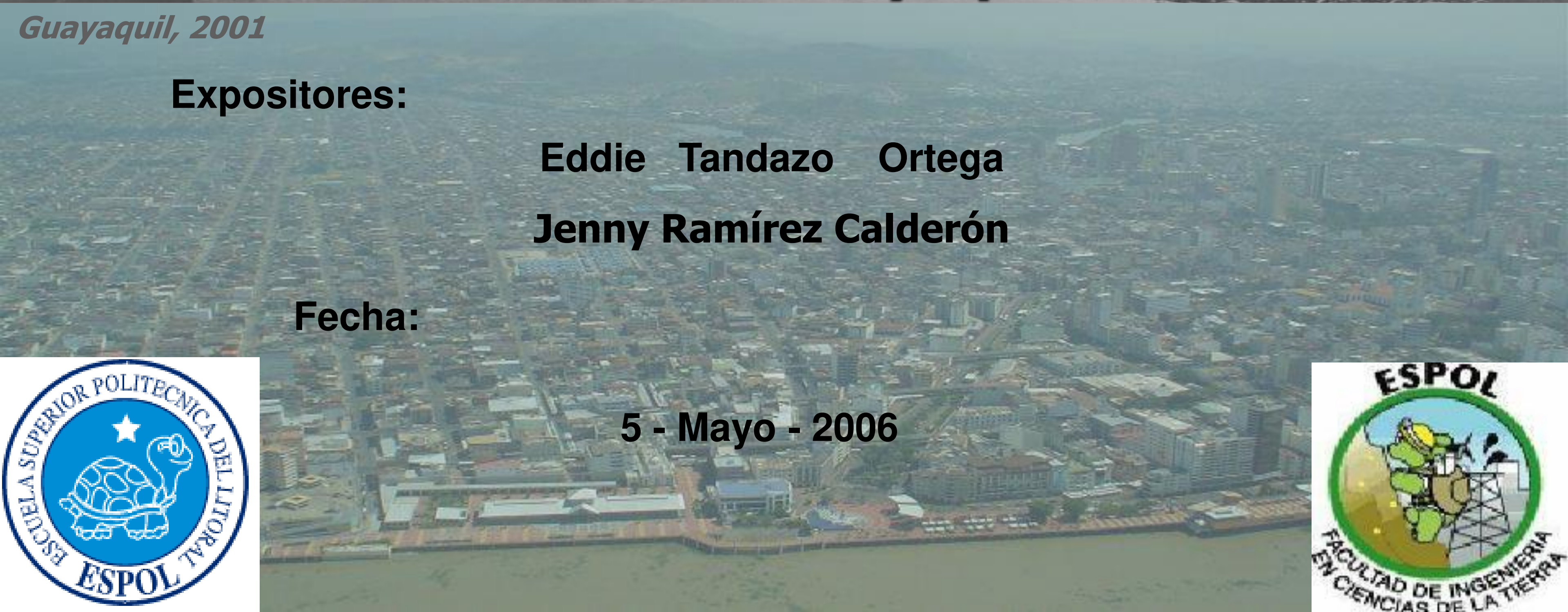


Guayaquil, 1946

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

Escuela Superior Politécnica del Litoral
ESPOL

ESPOL
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

INDICE GENERAL

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 Vs 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.

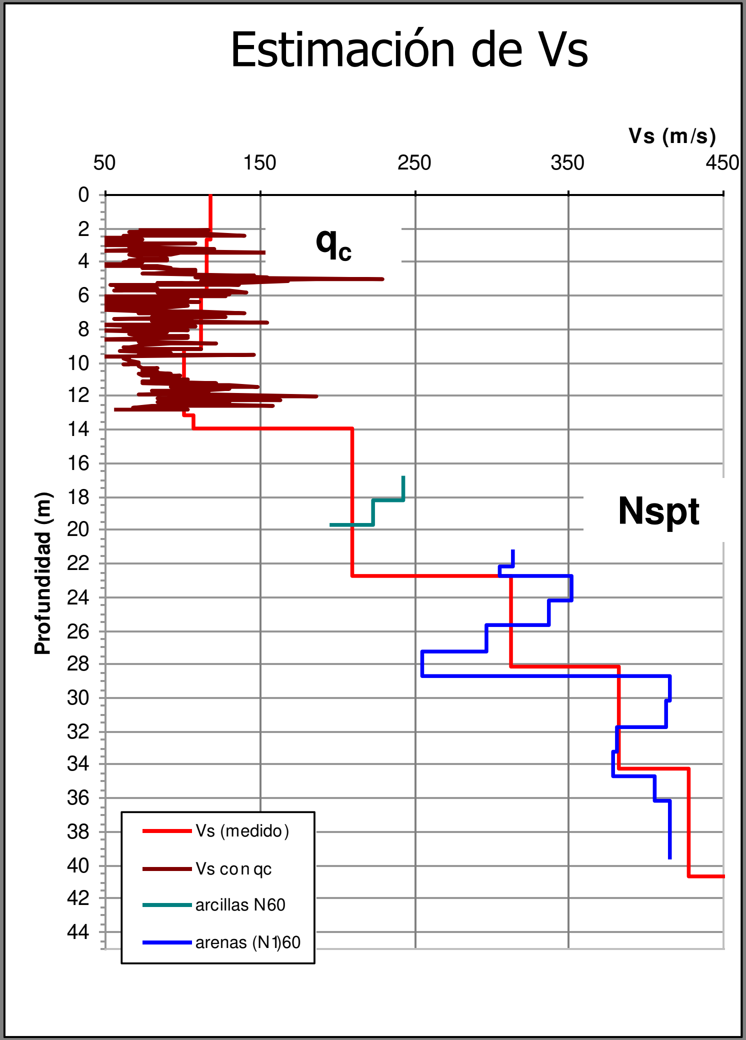
- “Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de la ciudad de Guayaquil”, 2004.

- Tesis de Grado : Obtención de ecuaciones semiempíricas para estimar las velocidades de ondas de corte en la ciudad, 2006

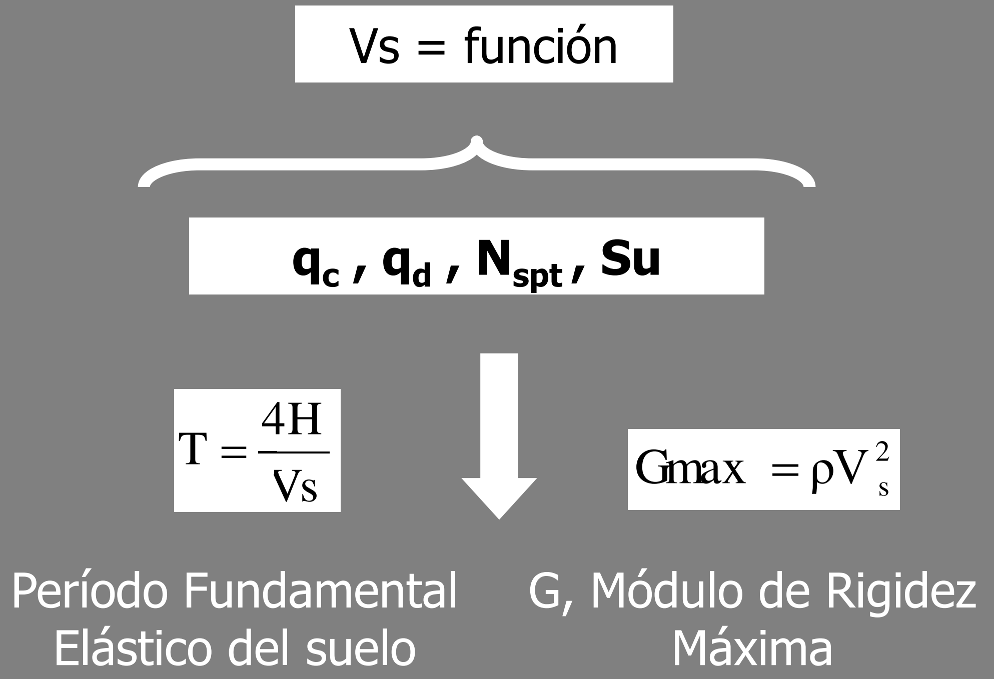
CAPITULO 1

OBJETIVOS, ALCANCE Y JUSTIFICACION DE LA TESIS

1.3 Justificación



Velocidad de ondas de corte ,Vs



Vs = función

q_c , q_d , N_{spt} , Su

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

$$Gmax = \rho V_s^2$$

Período Fundamental Elástico del suelo

G, Módulo de Rigidez Máxima

CAPITULO 2

PROPIEDADES DINAMICAS DE LOS SUELOS

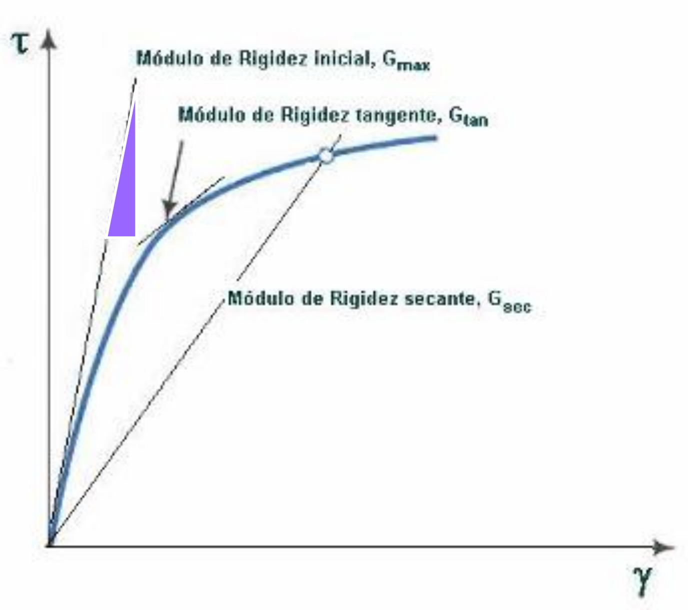
2.1 Módulo de rigidez al cortante, G

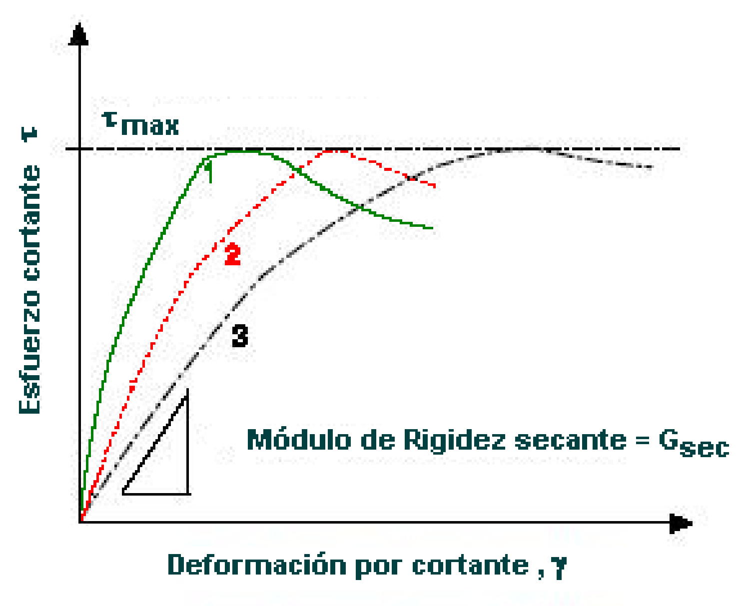
$$G_{max} = \rho \cdot V_s^2$$

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

ρ : Densidad de laboratorio (T/m^3)

Vs : Velocidad de onda de corte (m/s)

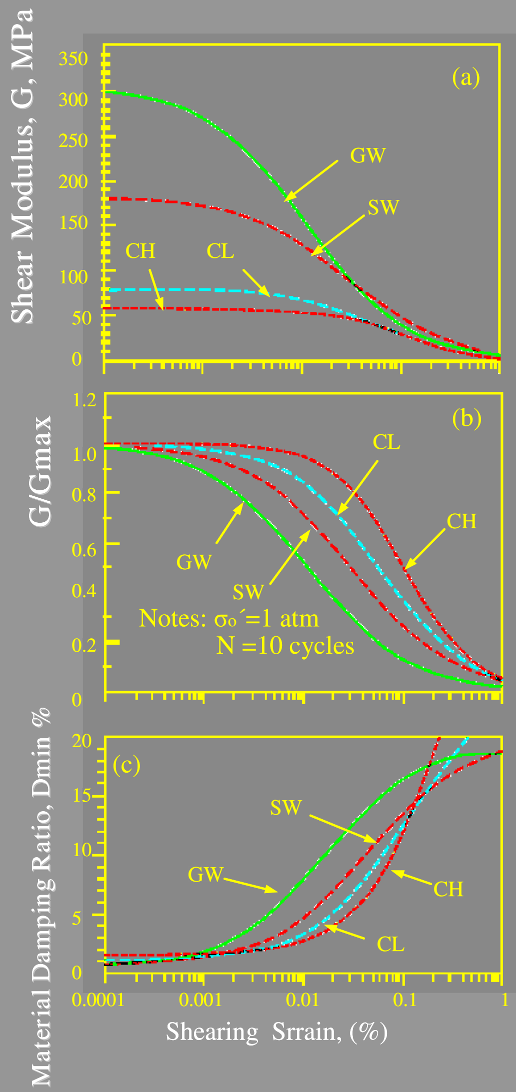


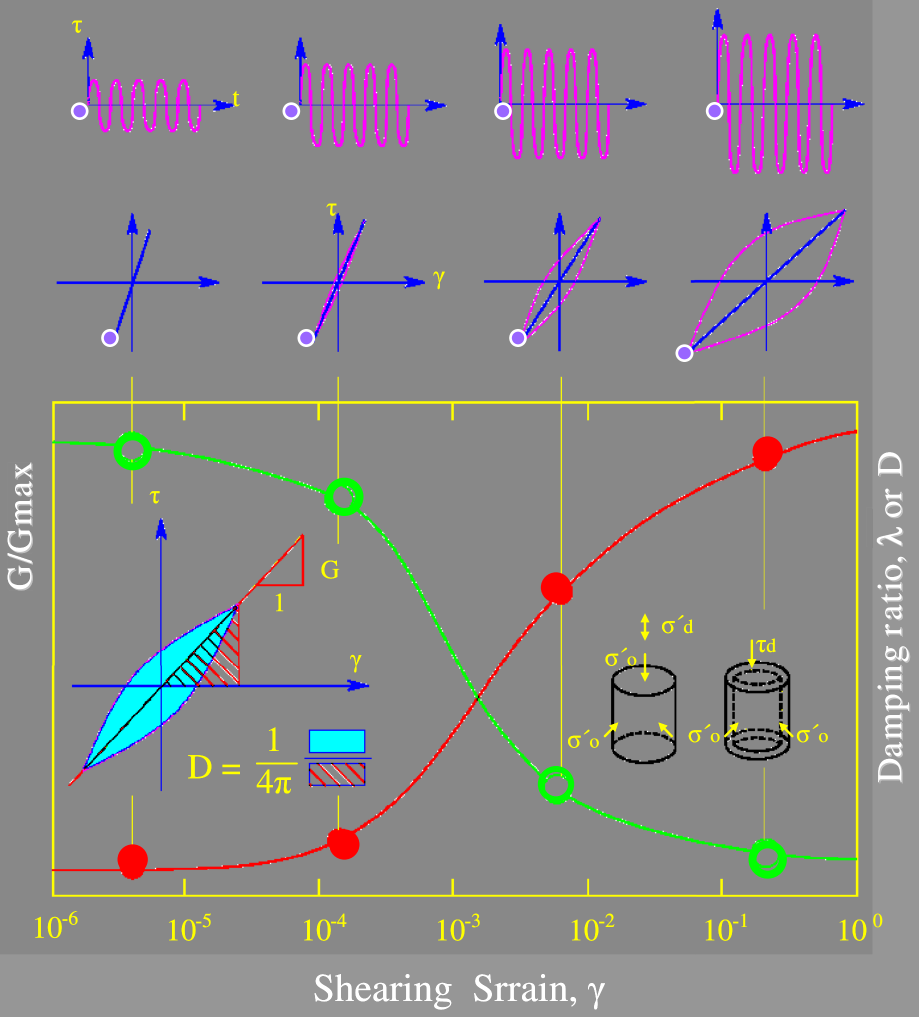


CAPITULO 2

PROPIEDADES DINAMICAS DE LOS SUELOS

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



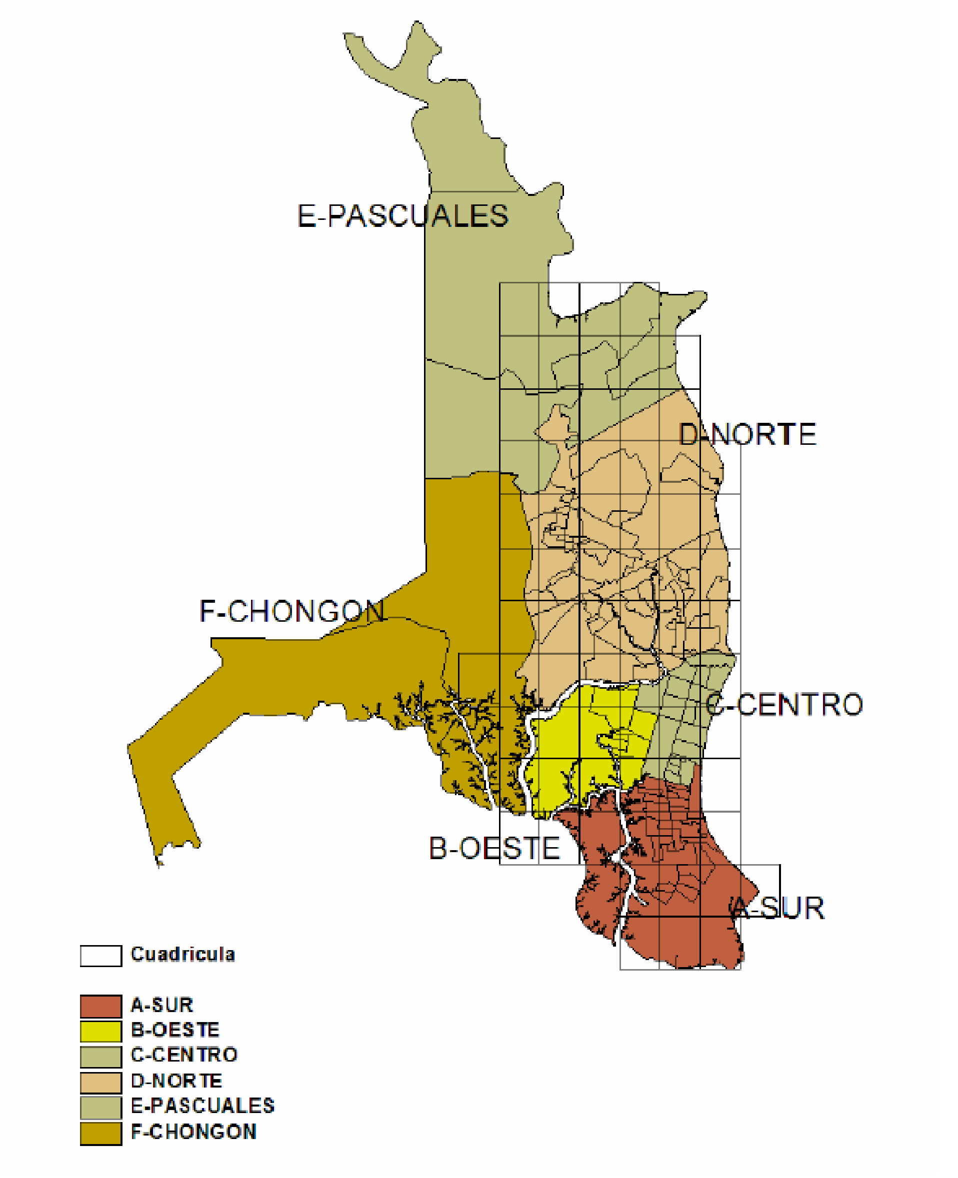


CAPITULO 3
UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

3.1 Delimitación del área de estudio

PLANO DE GUAYAQUIL

ESC 1:50000

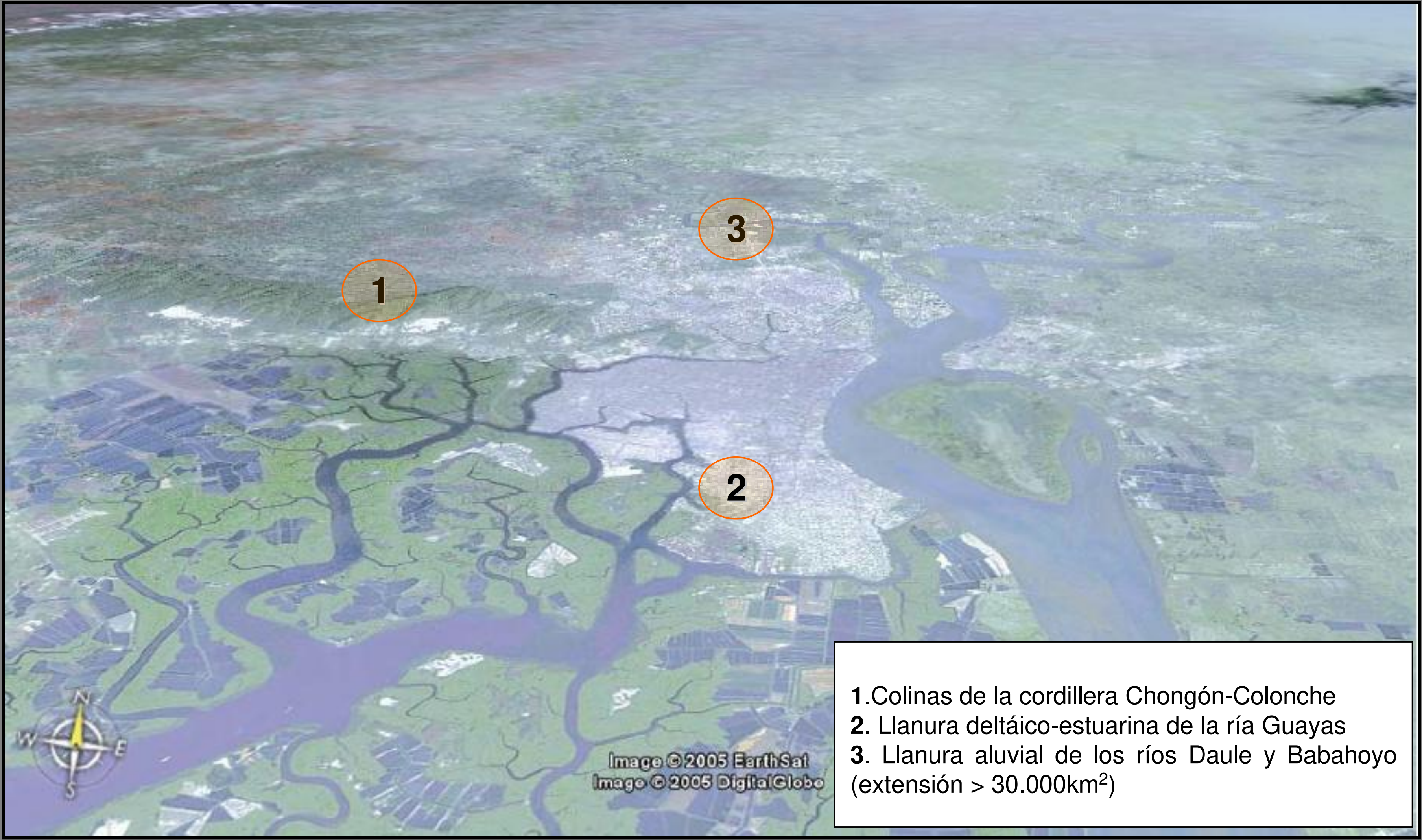


División por cuadrantes del área urbana de la ciudad de Guayaquil

CAPITULO 3

UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

3.2 Marco Geológico Regional



1.Colinas de la cordillera Chongón-Colonche
2. Llanura deltáico-estuarina de la ría Guayas
3. Llanura aluvial de los ríos Daule y Babahoyo (extensión > 30.000km^2)

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 **Di**agnosis 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**

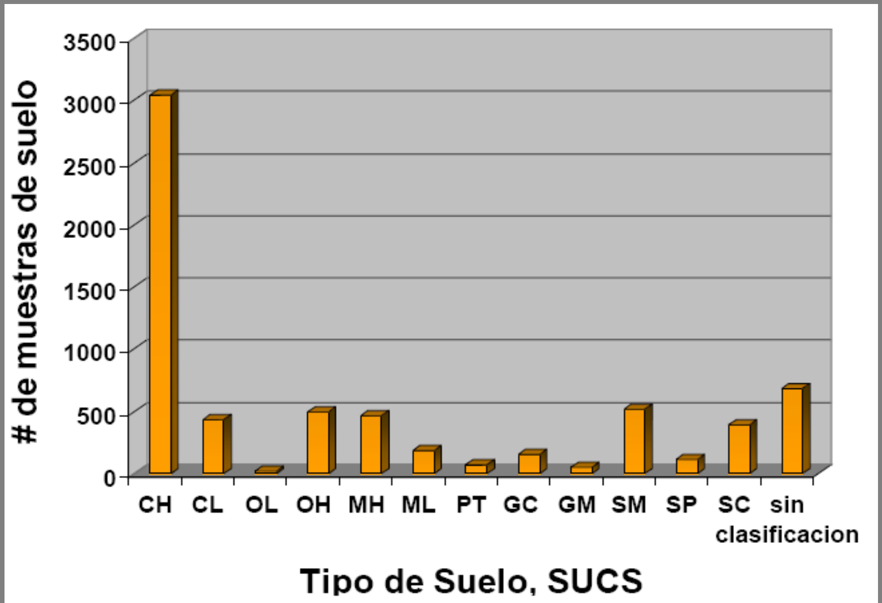
CAPITULO 3

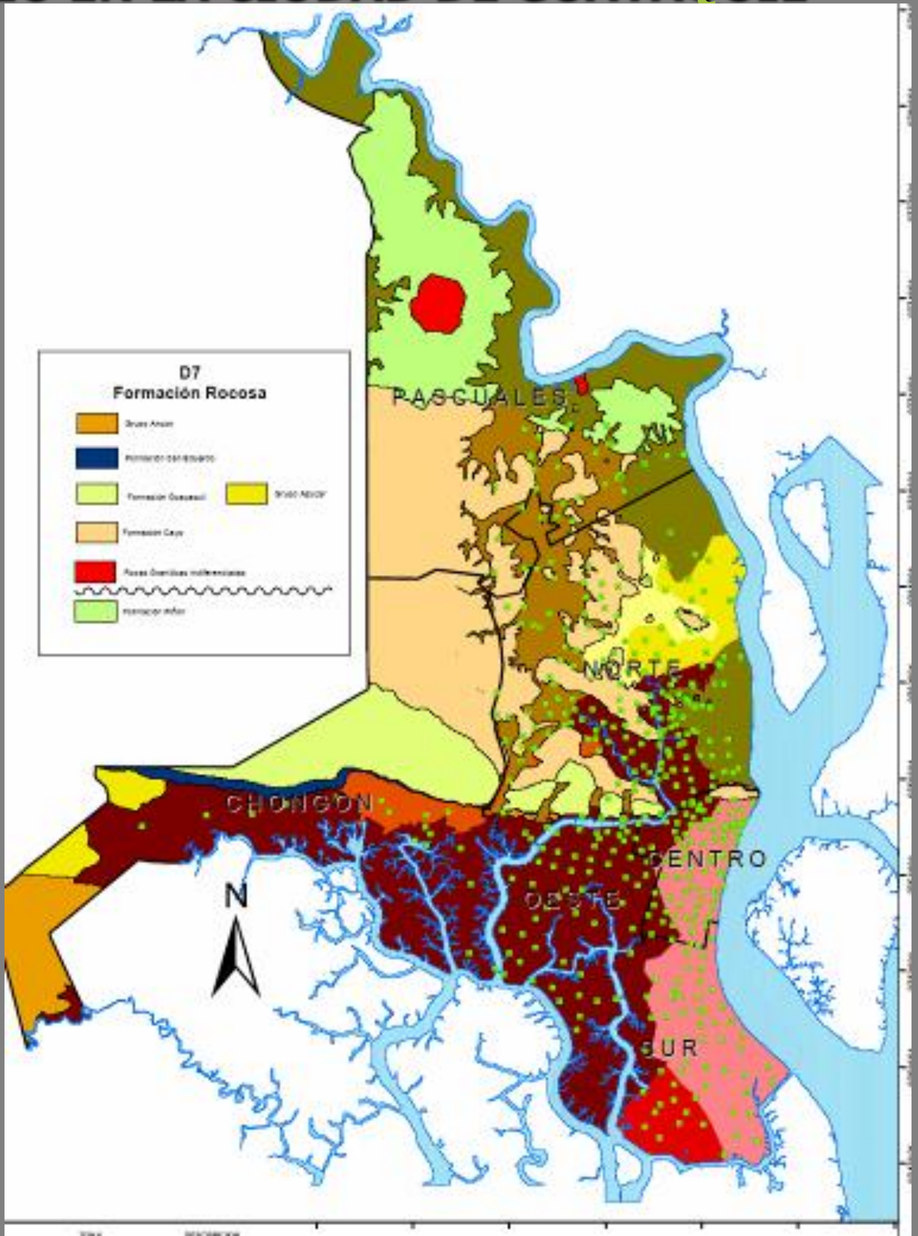
UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

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



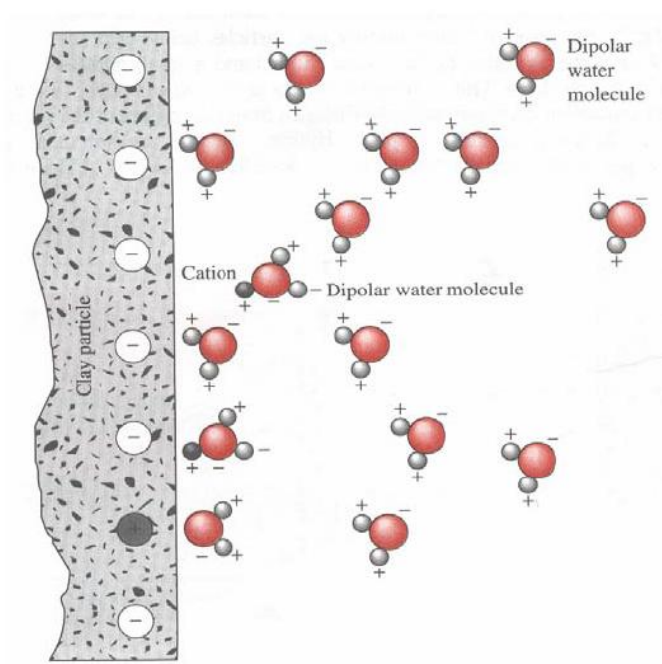


CAPITULO 3

UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

3.3 Estudio Geotécnico Previo

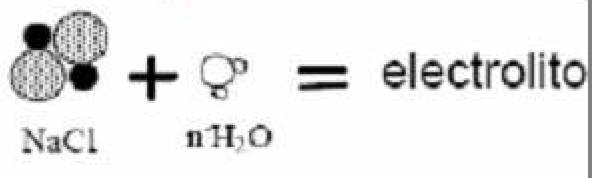
COMPORTAMIENTO DE LAS ARCILLAS

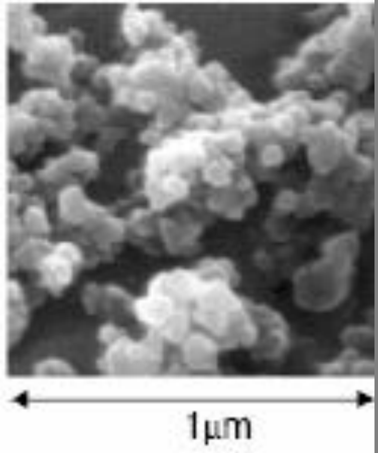


- Los cationes del agua son atraídos para mantener su neutralidad

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

CONCENTRACION IONICA

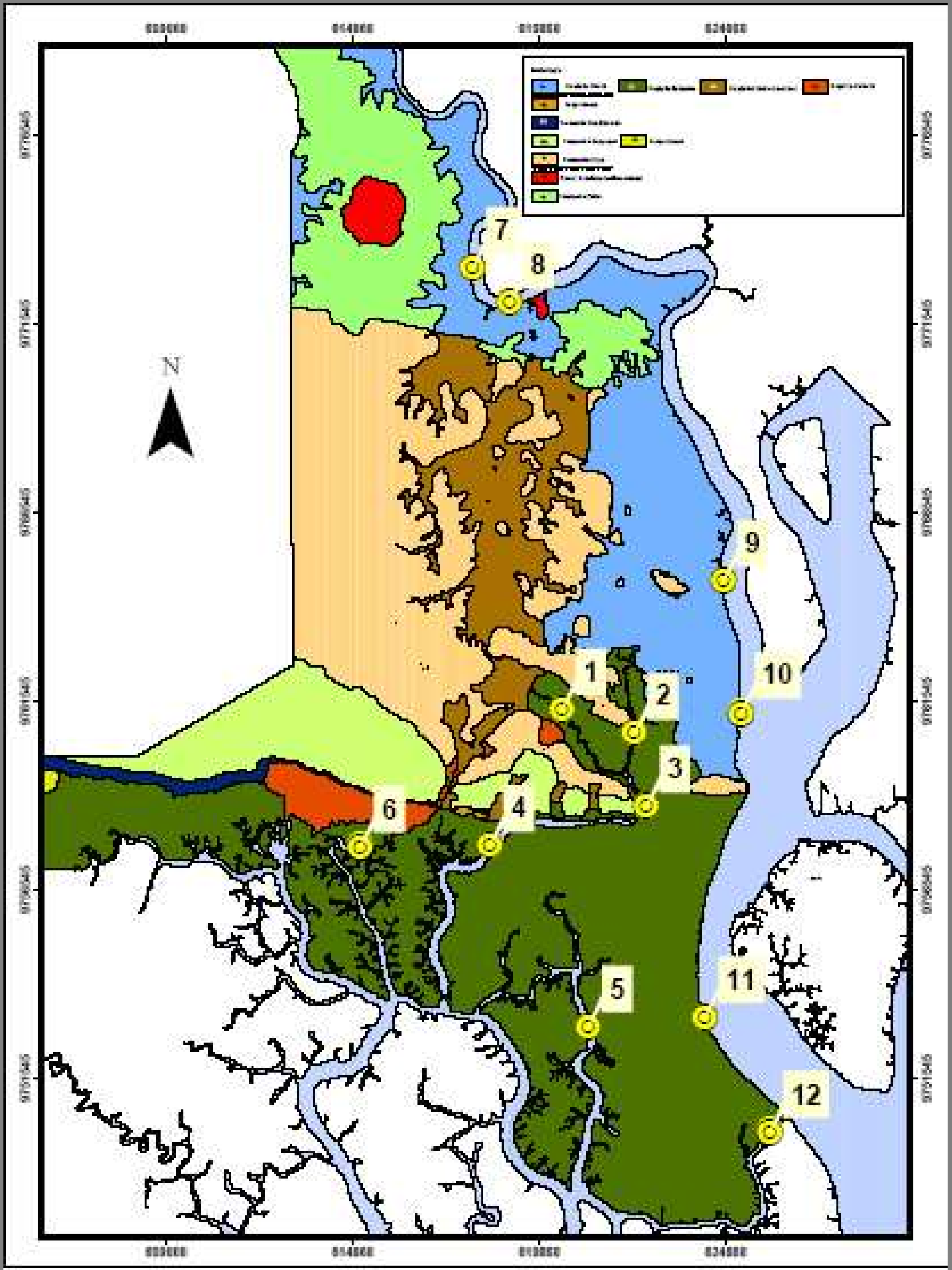




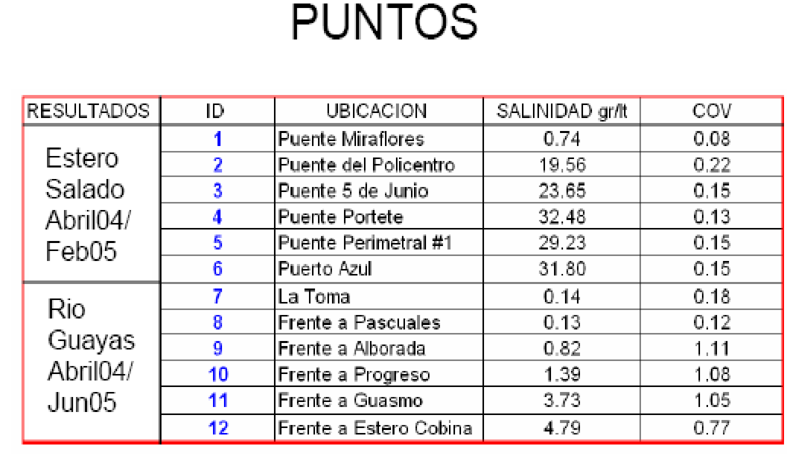
Microestructura de las arcillas

CAPITULO 3

UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

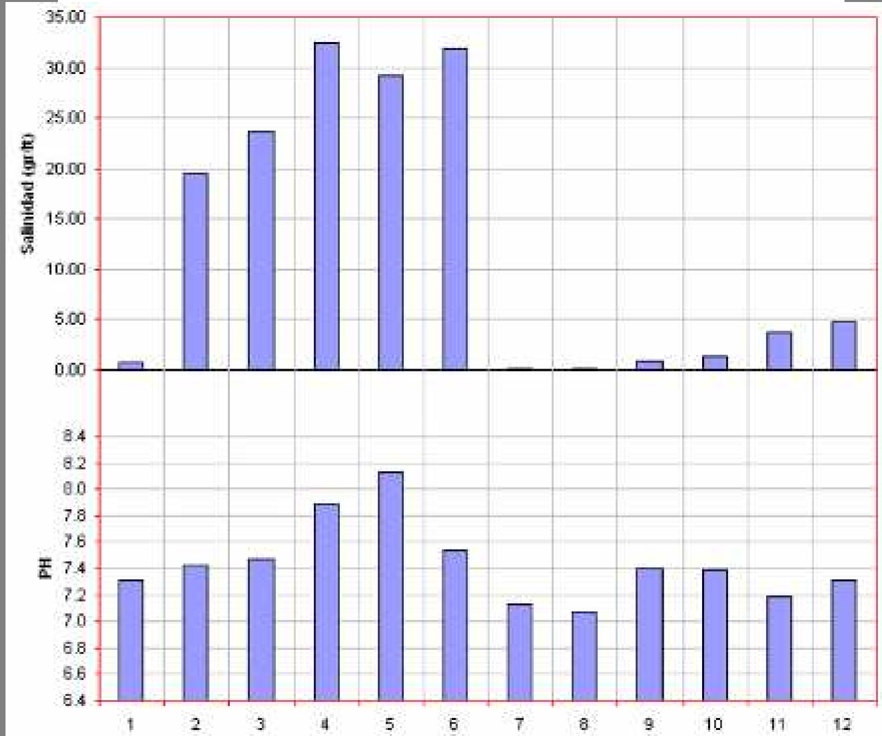


3.3 Estudio Geotécnico Previo



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



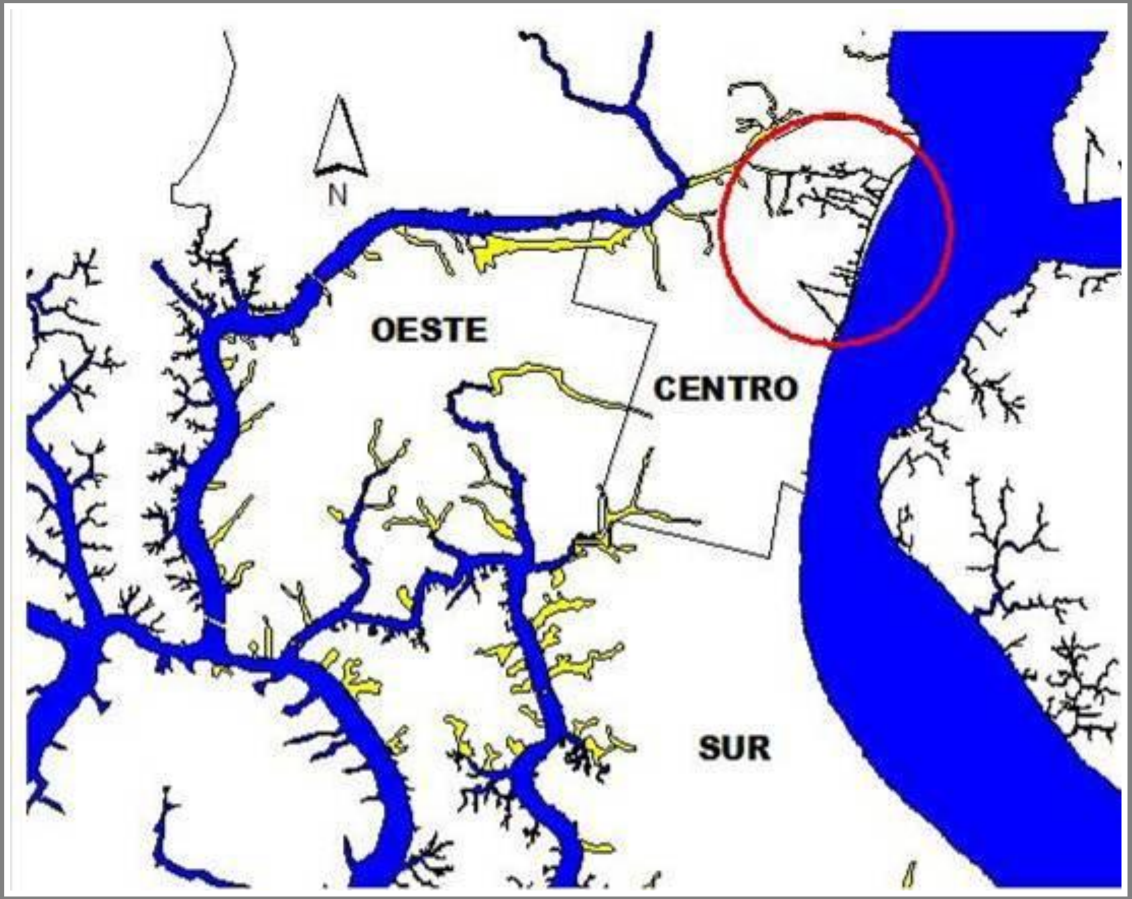
CAPITULO 3

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



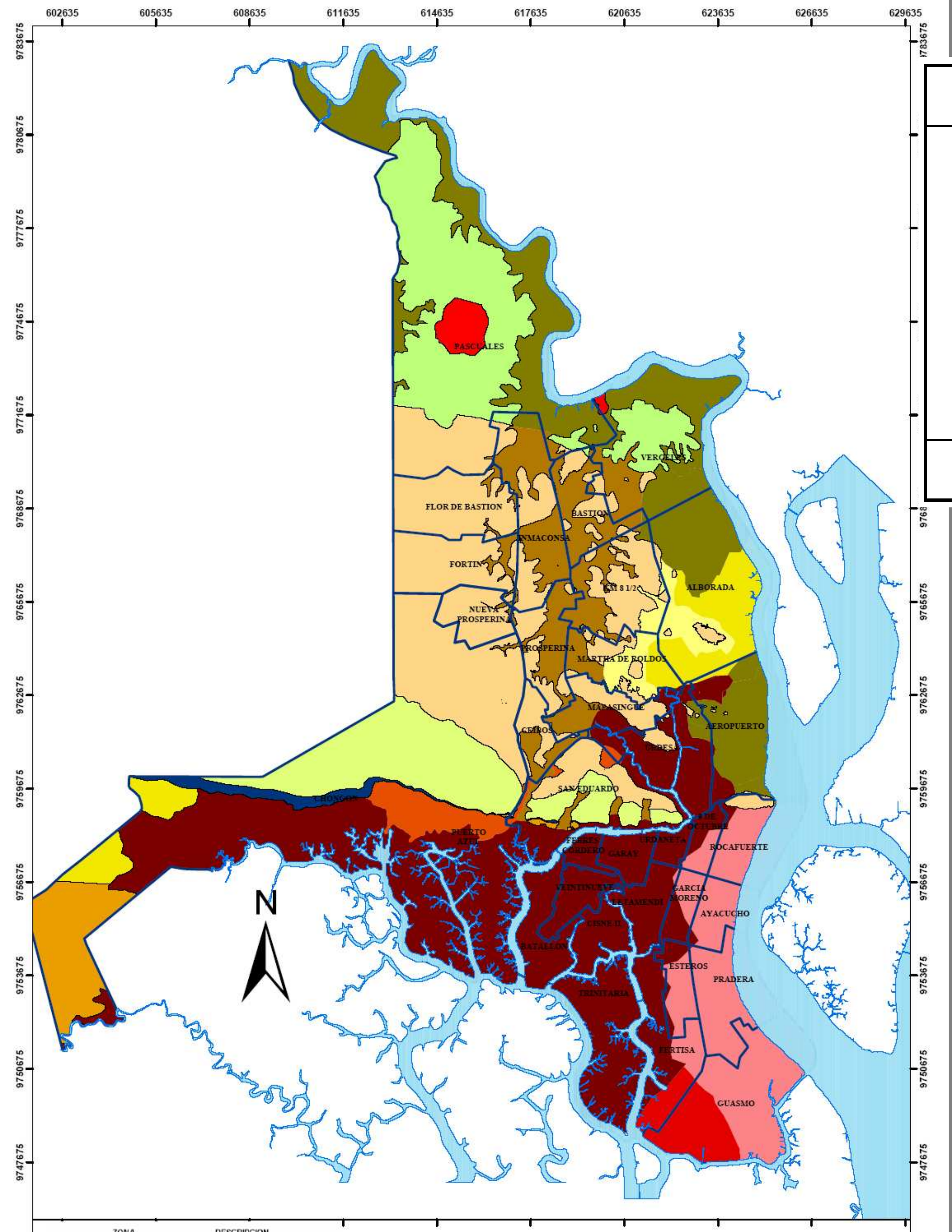
CAPITULO 3

UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

Fotografía área del centro y sur de Guayaquil en el año 1946, Estrada J. 2000

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 Rocosa

- 🟧 Grupo Ancon
- 🟦 Formación San Eduardo
- 🟩 Formación Guayaquil
- 🟨 Grupo Azucar
- 🟧 Formación Cayo
- 🟥 Rocas Graníticas Indiferenciadas
- 🟩 Formación Piñón

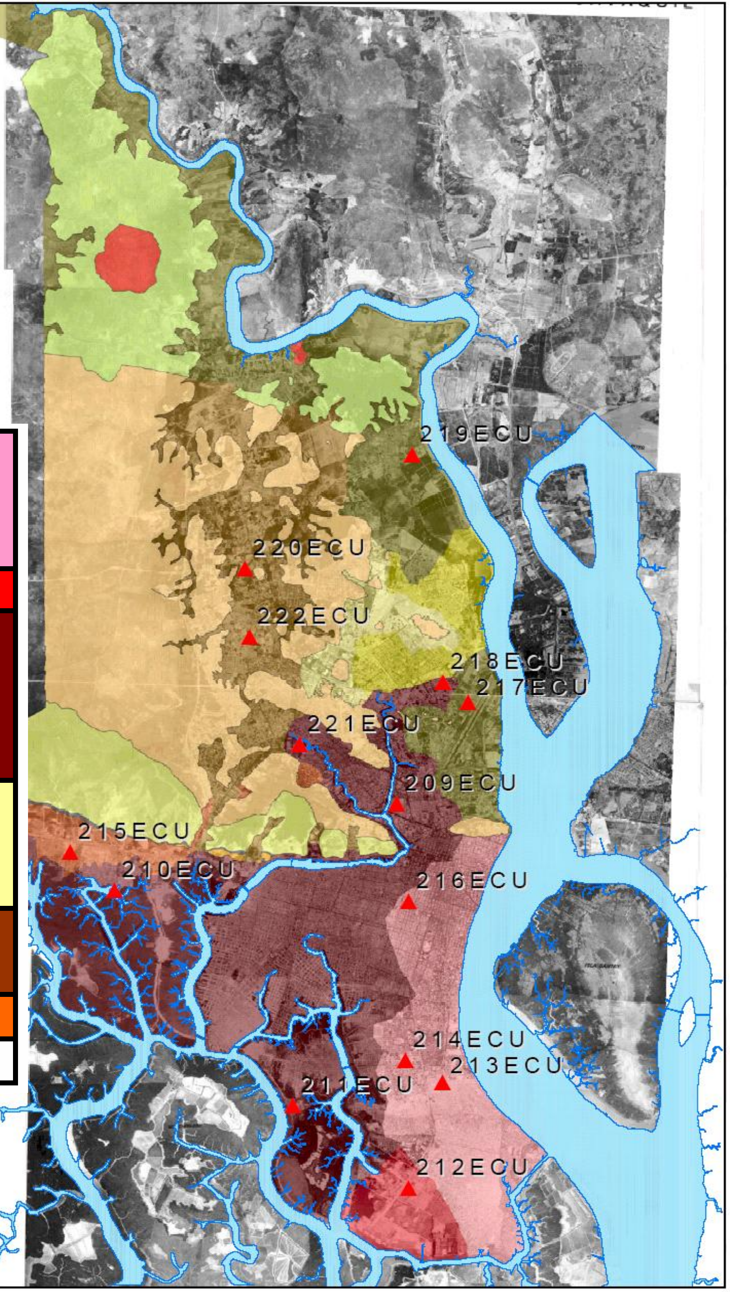
CAPITULO 3

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

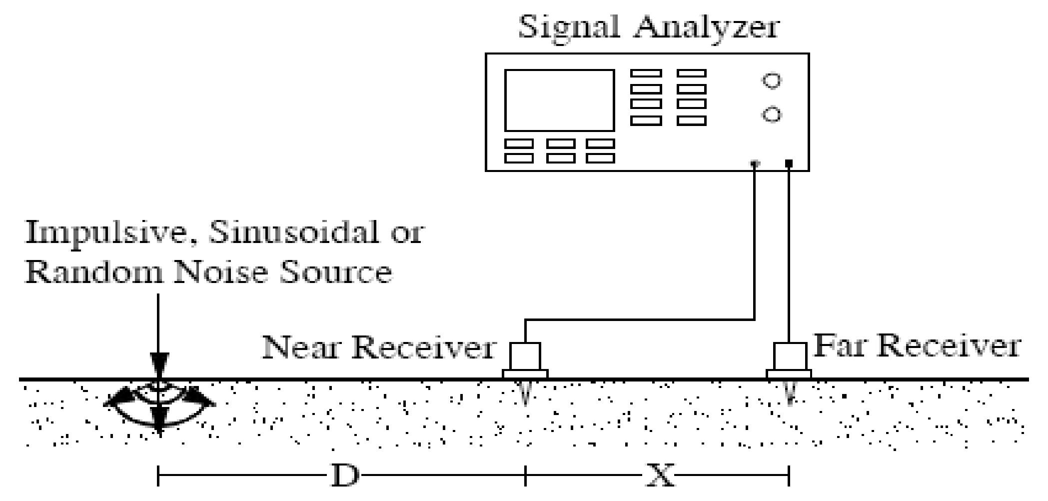
MEDICIONES DE LAS VELOCIDADES DE LA ONDA DE CORTE, SASW

4.1 Equipo utilizado

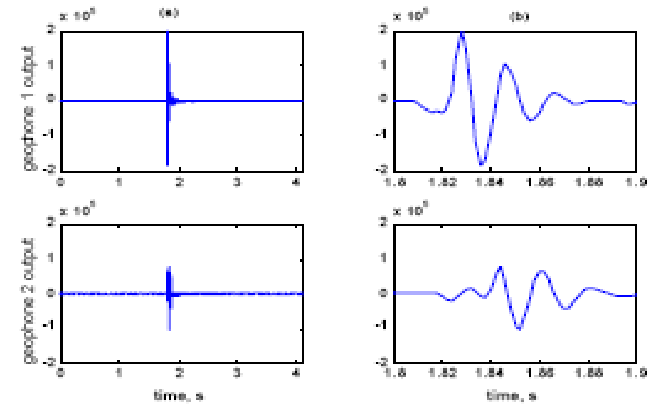
EQUIPOS UTILIZADOS

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

The SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) Method



Usually D=X



Fast Fourier Transform

$Y_1(\omega)=FFT(y_1(t))$

$Y_2(\omega)=FFT(y_2(t))$

Cross Power Spectrum

$G_{y1y2} = Y_1(\omega)^* \cdot Y_2(\omega)$

Time Delay

$t(\omega) = fase(G_{y1y2}(f)) / \omega$

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

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

$$V_R = \lambda_R \cdot f$$

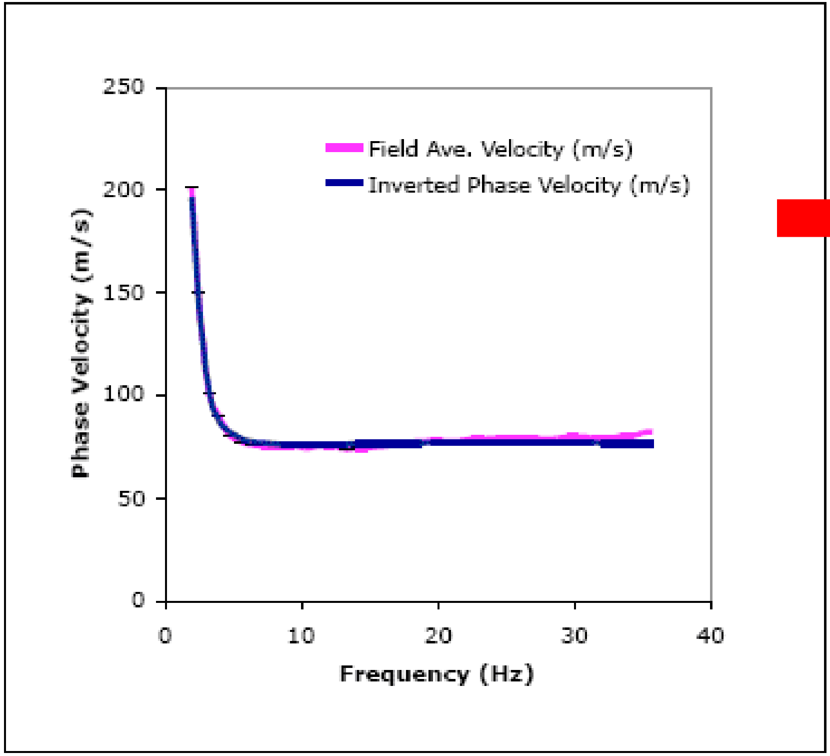
VS≈ 1.1 VR

CAPITULO 4

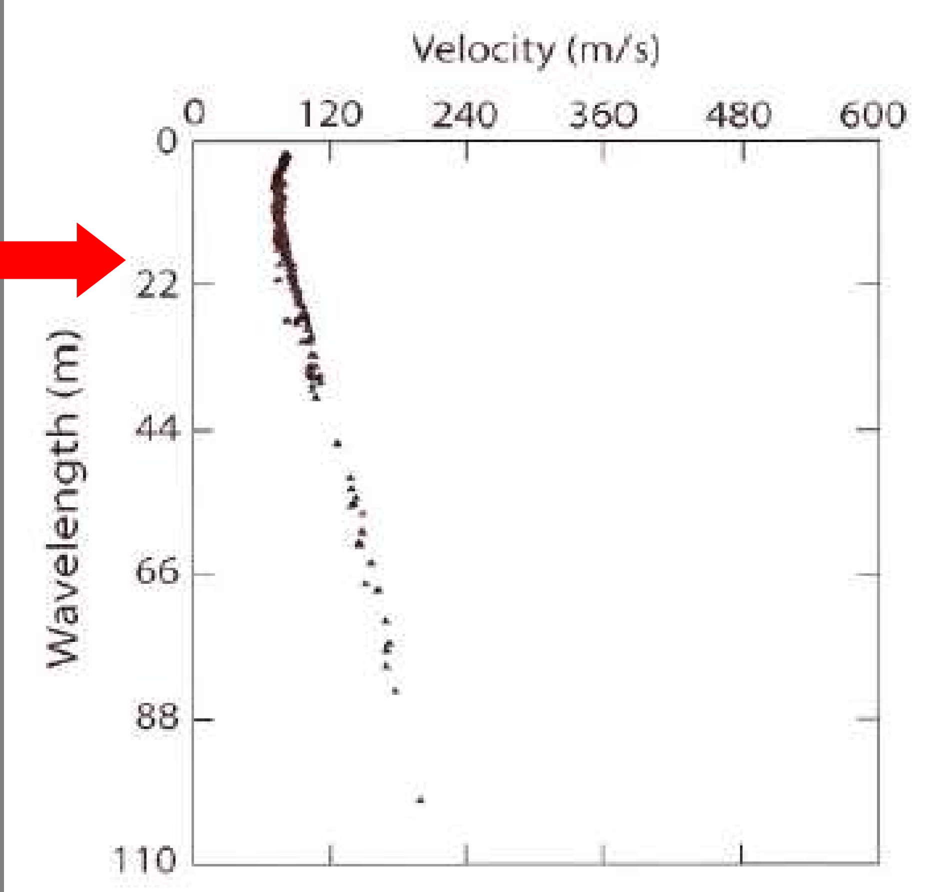
MEDICIONES DE LAS VELOCIDADES DE LA ONDA DE CORTE, SASW

4.1 Metodología de análisis

(Merged Field-Dispersion Curves)



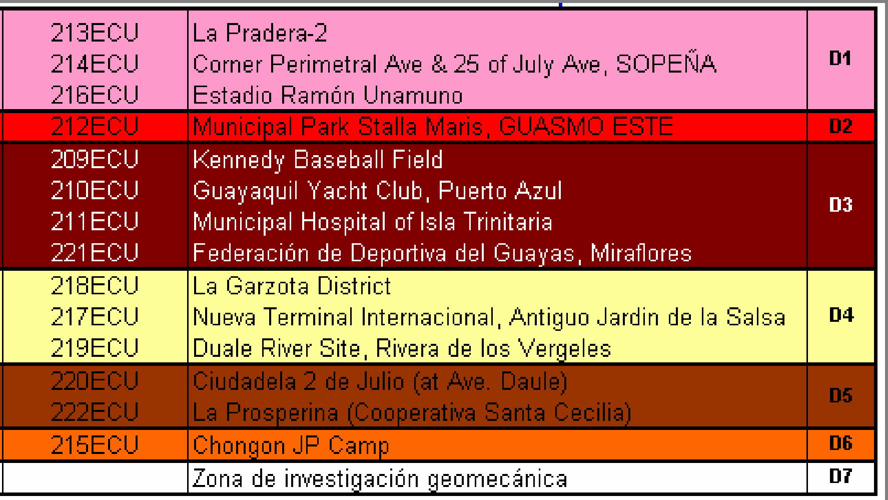
(Inverted-theoretical-dispersion curve versus average field curve, bars represent ±1σ range of merged field data)



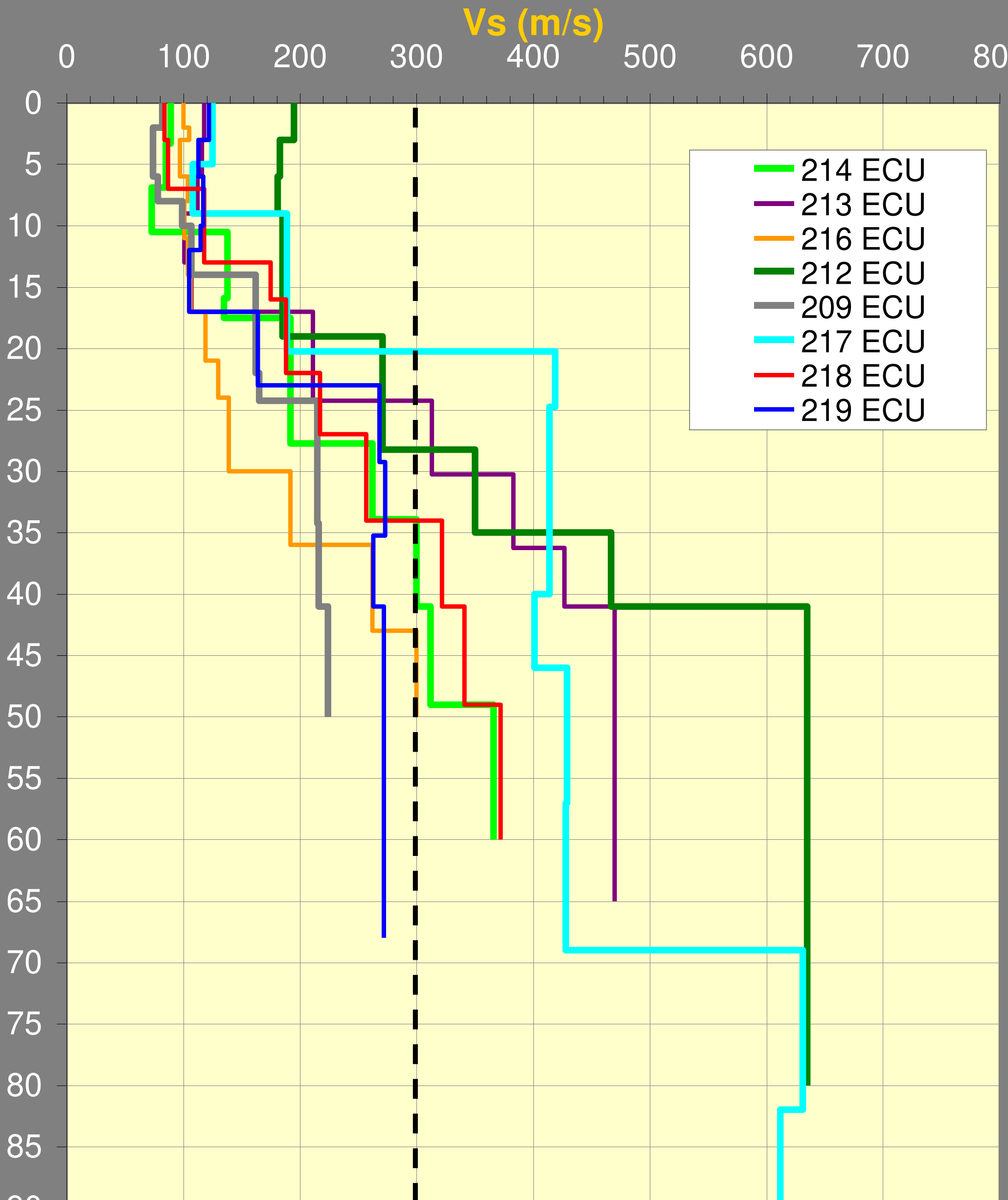
CAPITULO 4

MEDICIONES DE LAS VELOCIDADES DE LA ONDA DE CORTE, SASW

4.3 Resultados de las mediciones

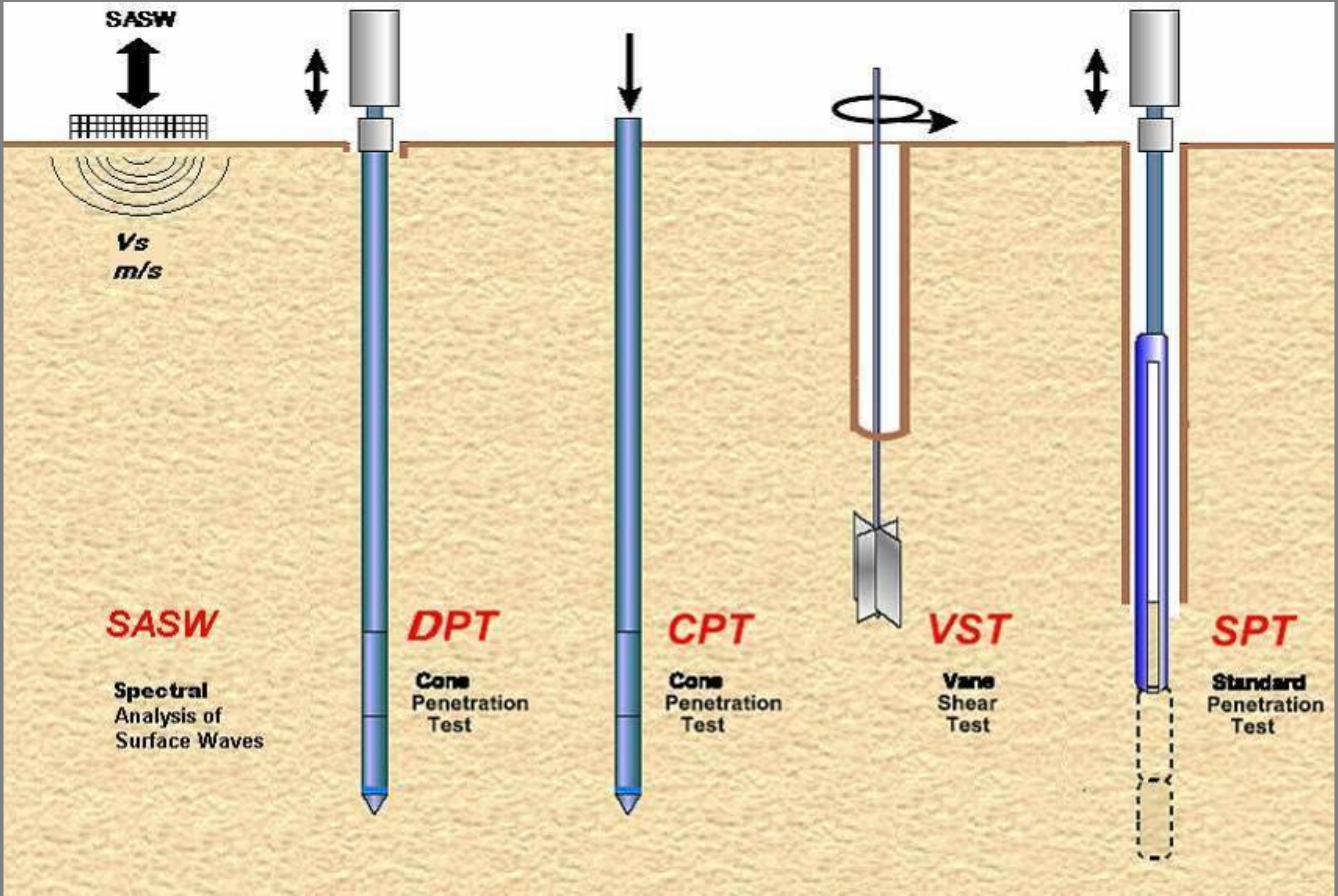


213ECU	La Pradera-2	D1
214ECU	Corner Perimetral Ave & 25 of July Ave, SOPEÑA	
216ECU	Estadio Ramón Unamuno	
212ECU	Municipal Park Stalla Maris, GUASMO ESTE	D2
209ECU	Kennedy Baseball Field	D3
210ECU	Guayaquil Yacht Club, Puerto Azul	
211ECU	Municipal Hospital of Isla Trinitaria	
221ECU	Federación de 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)	
215ECU	Chongon JP Camp	D6
	Zona de investigación geomecánica	D7

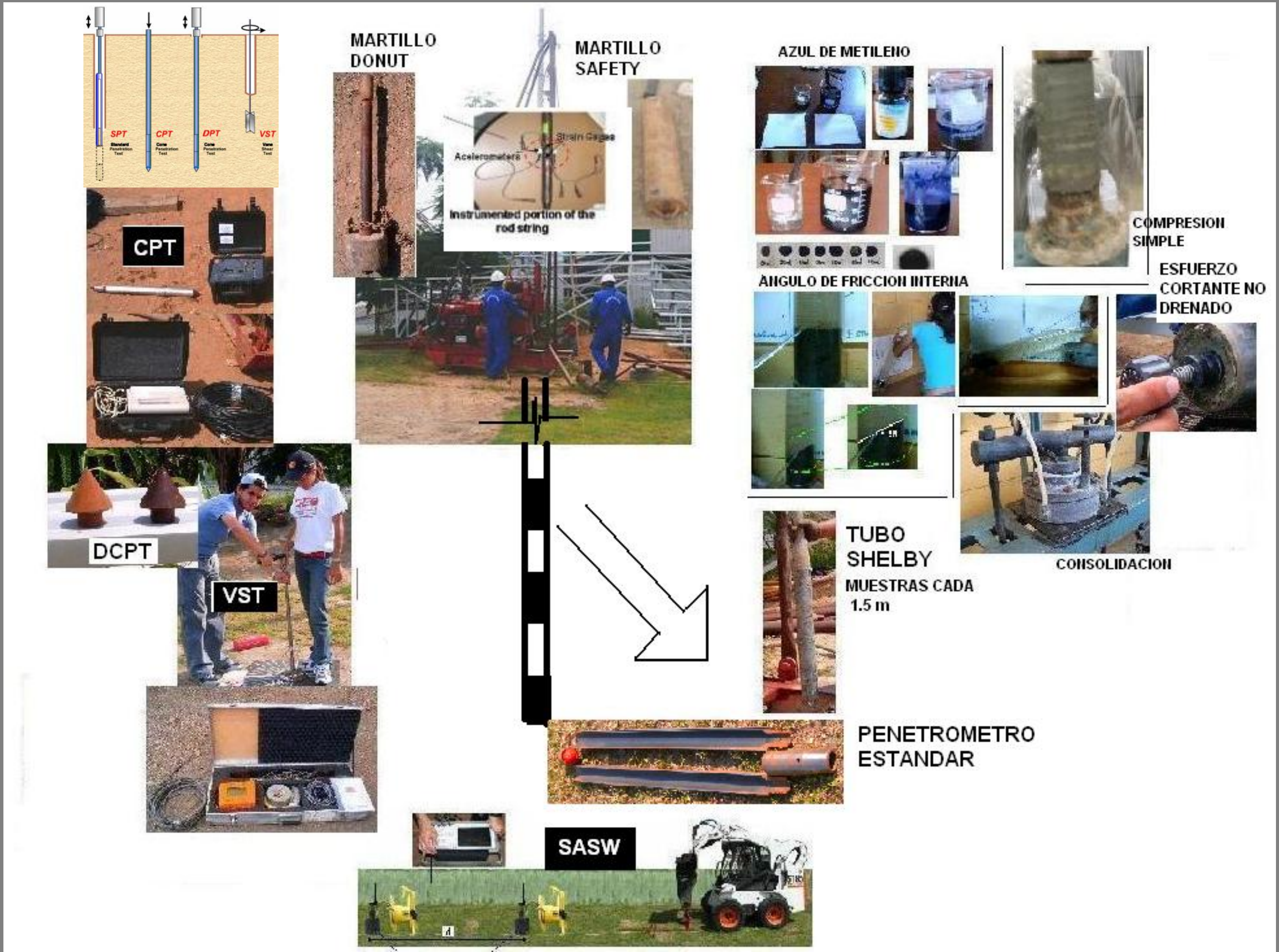


CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO



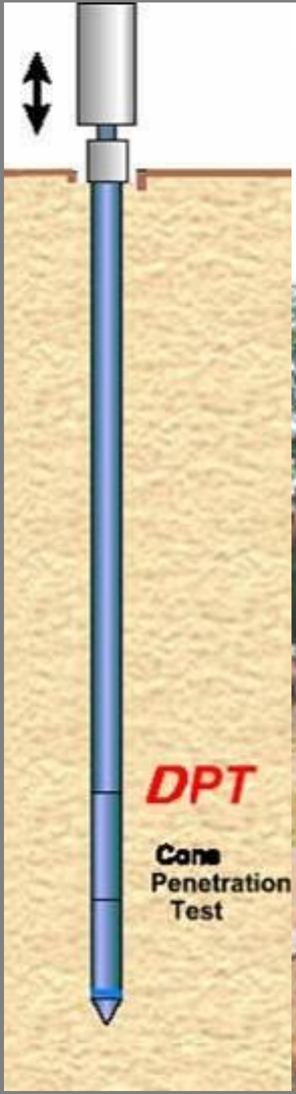
5.1 Metodología de los ensayos de campo



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 cm^2

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

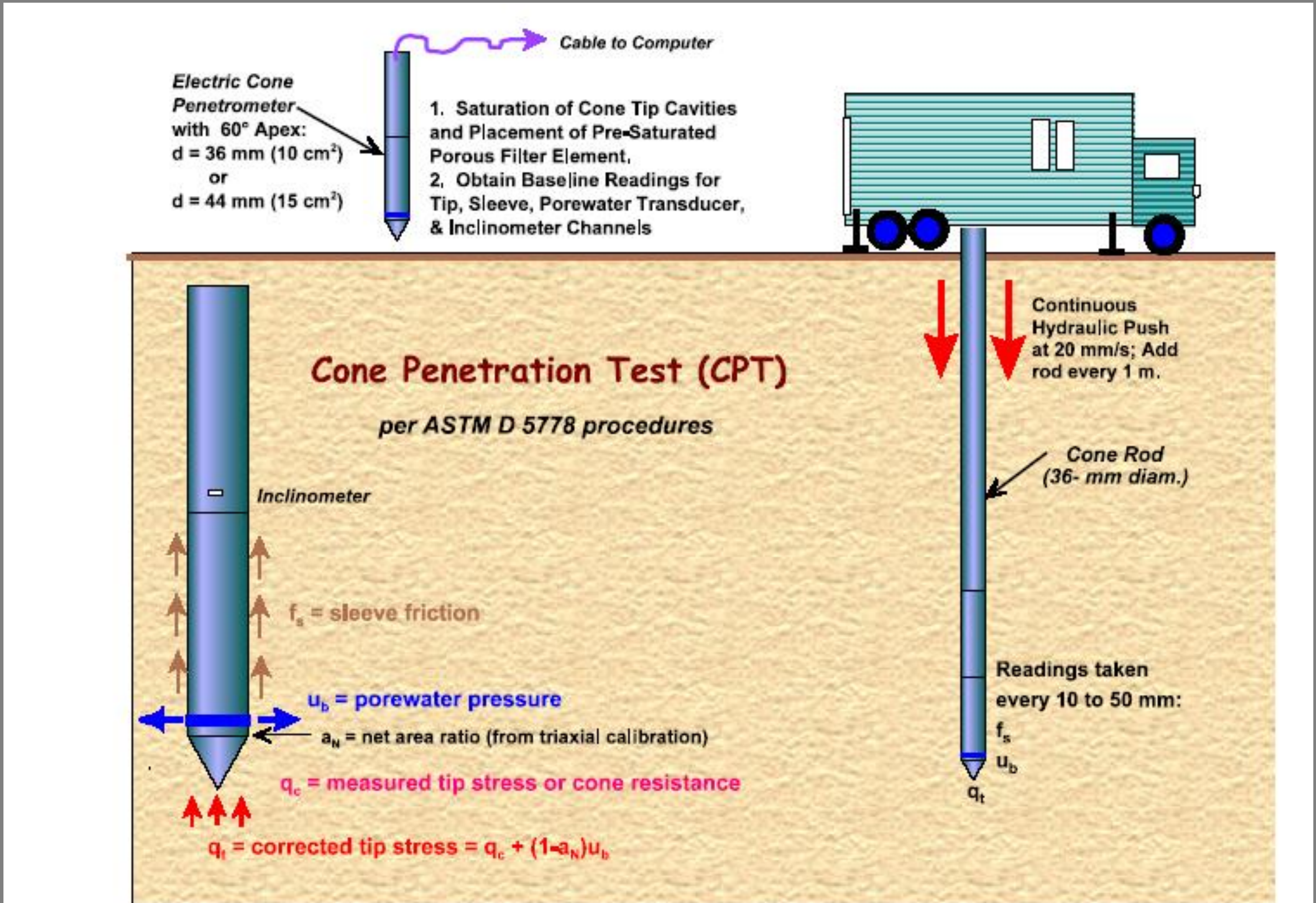
Conos Perdibles

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

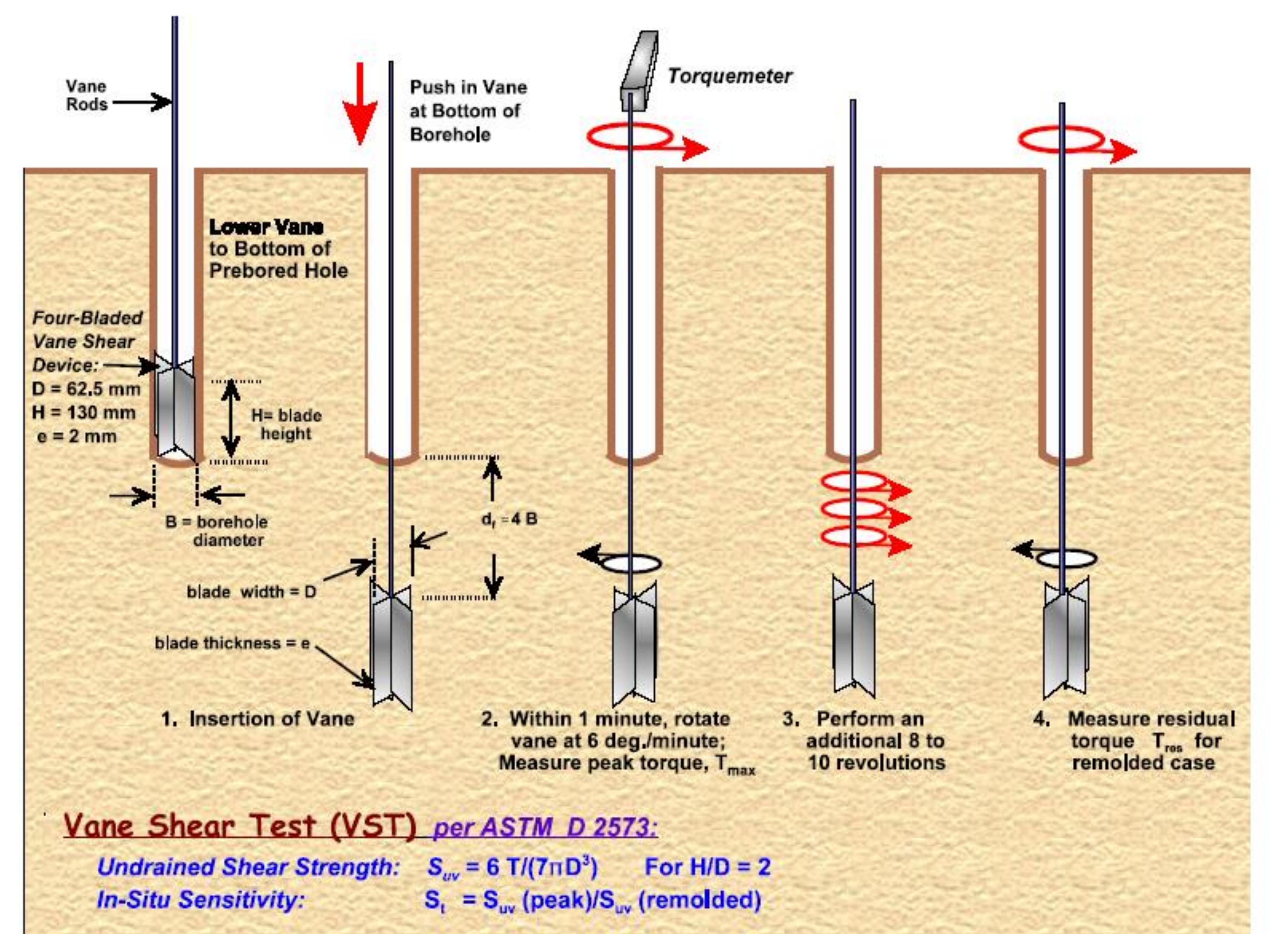


5.1.2 Ensayo de cono estático eléctrico , CPT

CAPITULO 5

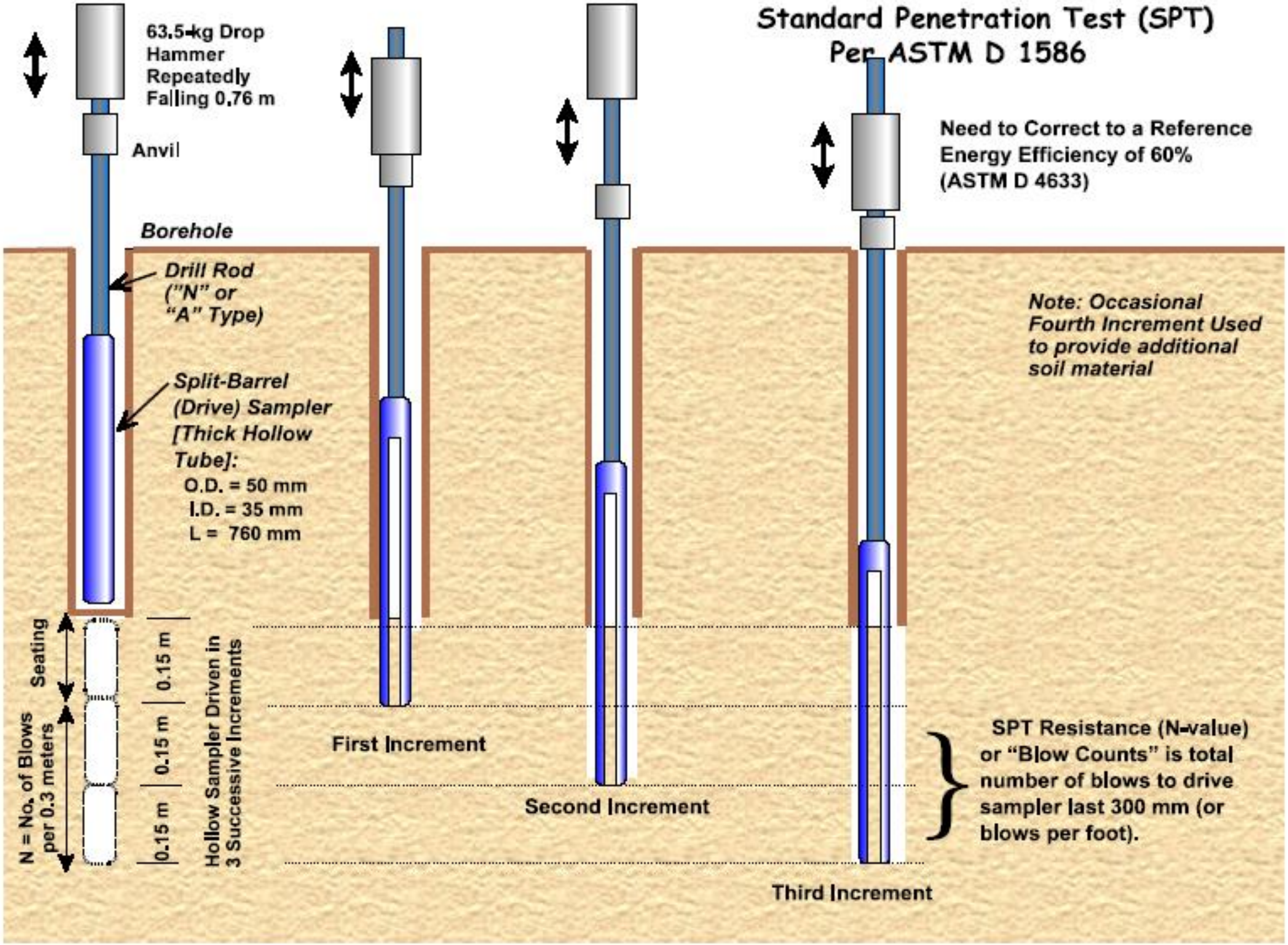
MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.1.3 Ensayo de veleta de campo, VST



5.1.3 Ensayo de veleta de campo, VST

5.1.4 Ensayo de Penetración Estándar, SPT



Standard Penetration Test (SPT)
Per ASTM D 1586

Need to Correct to a Reference Energy Efficiency of 60% (ASTM D 4633)

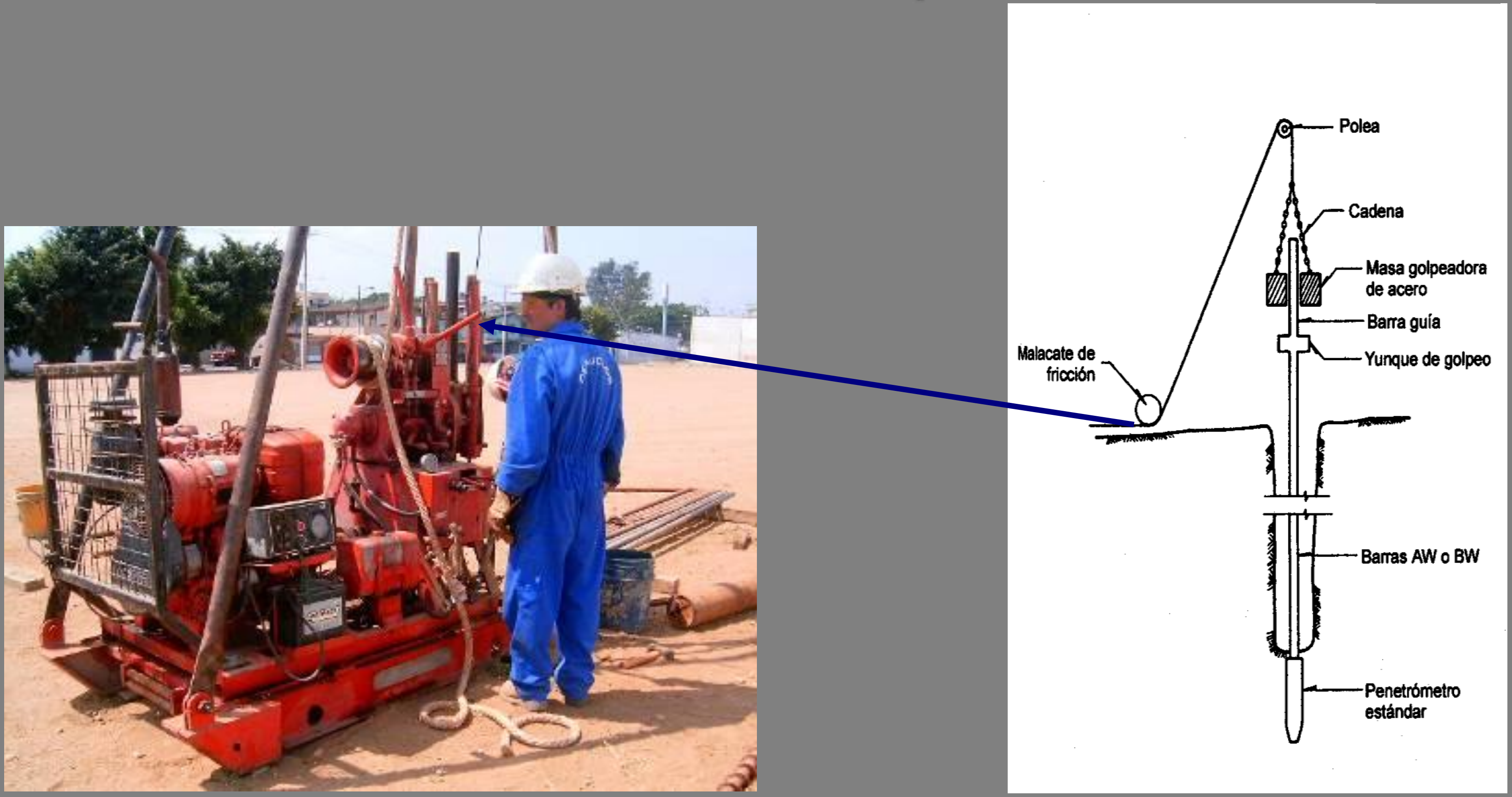
Note: Occasional Fourth Increment Used to provide additional soil material

SPT Resistance (N-value) or "Blow Counts" is total number of blows to drive sampler last 300 mm (or blows per foot).

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

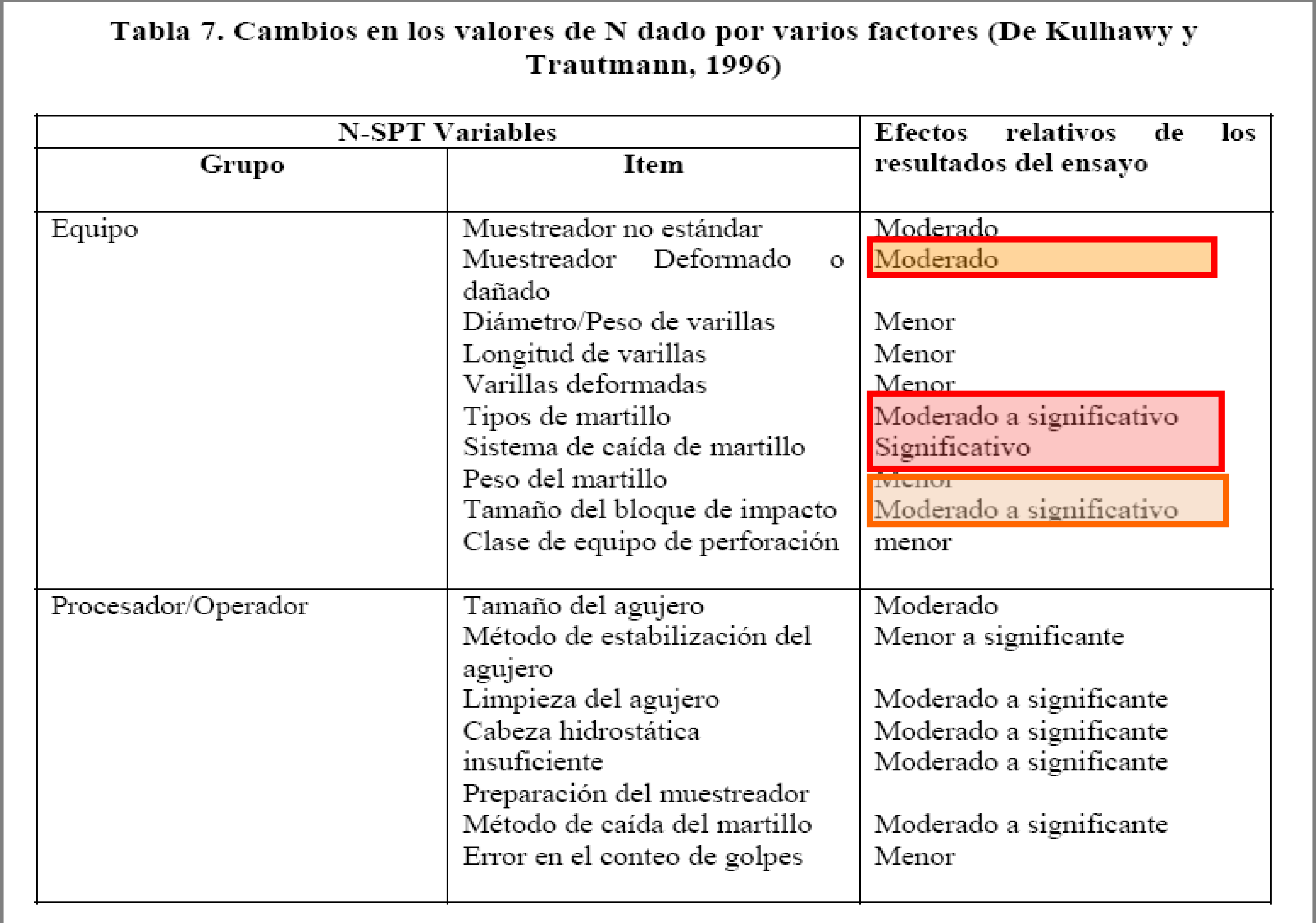


Tabla 7. Cambios en los valores de N dado por varios factores (De Kulhawy y Trautmann, 1996)

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
	Preparación del muestreador	
	Método de caída del martillo	Moderado a significante
	Error en el conteo de golpes	Menor

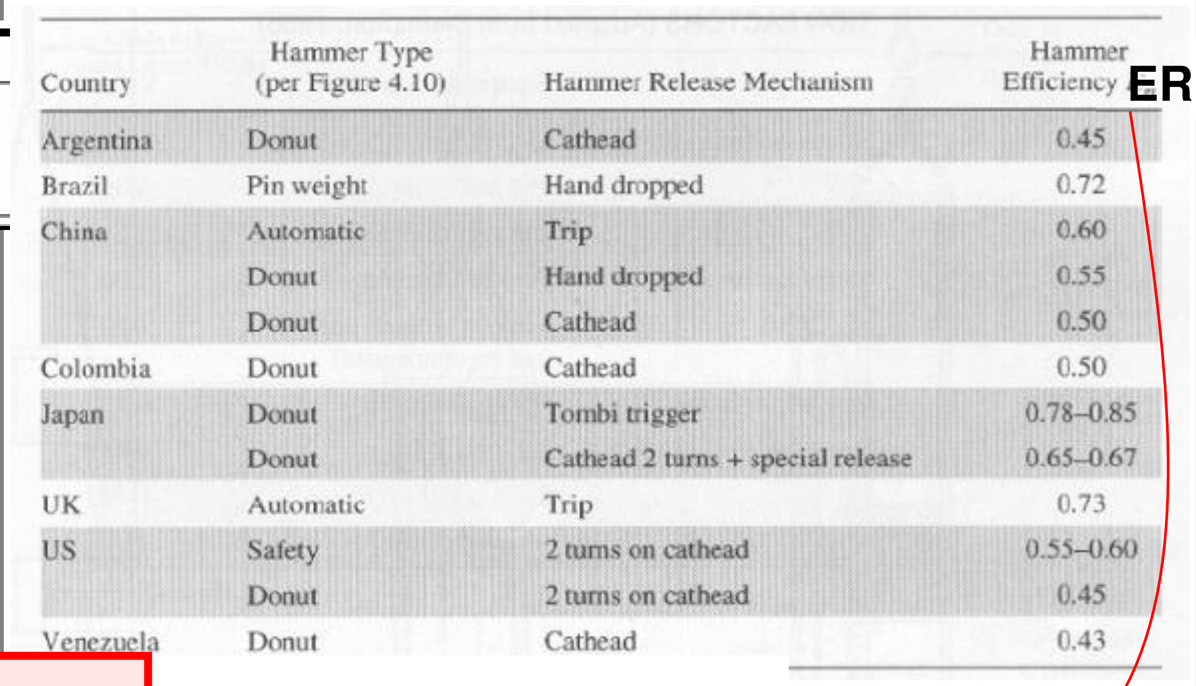
CAPITULO 5

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
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

ER

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

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.

Nfield = valor de SPT medido en el campo.

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

$$C_E = (E_f/60)$$

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

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

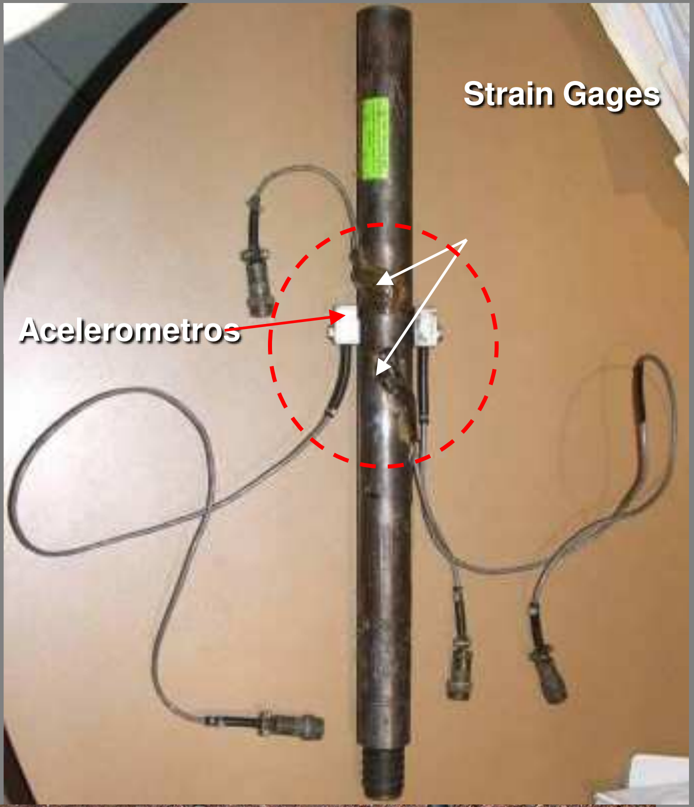
CON **C_N** LOS EFECTOS DE LA PRESION DE CONFINAMIENTO SON COMPENSADOS

- Liao y Whitman (1986) determina el valor de $(N1)_{60}$ como:

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

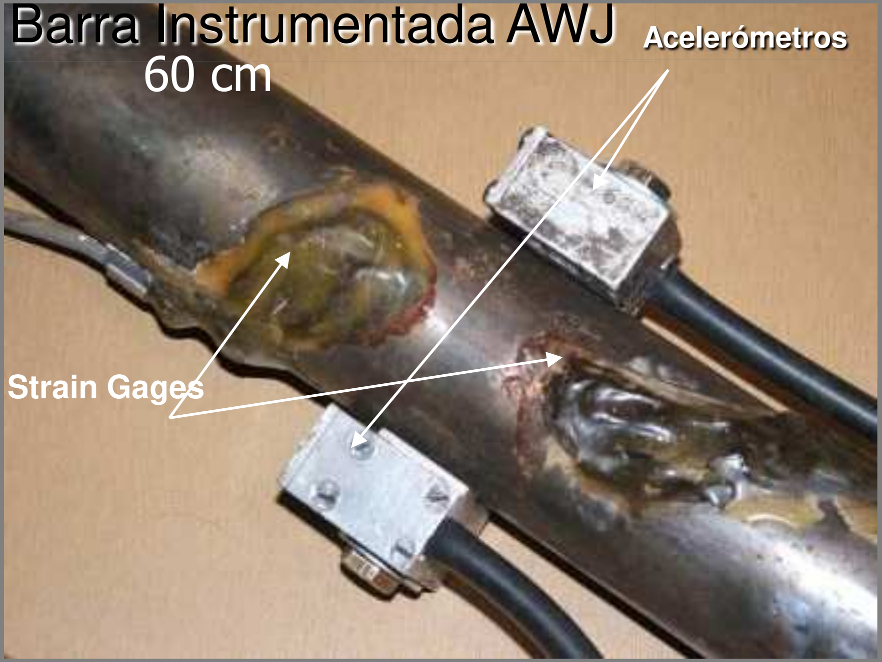
CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO



Barra Instrumentada AWJ

60 cm



Dimensiones:

DE:44.5mm

DI: 34mm

A: $6.47 cm^2$

L:600mm

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

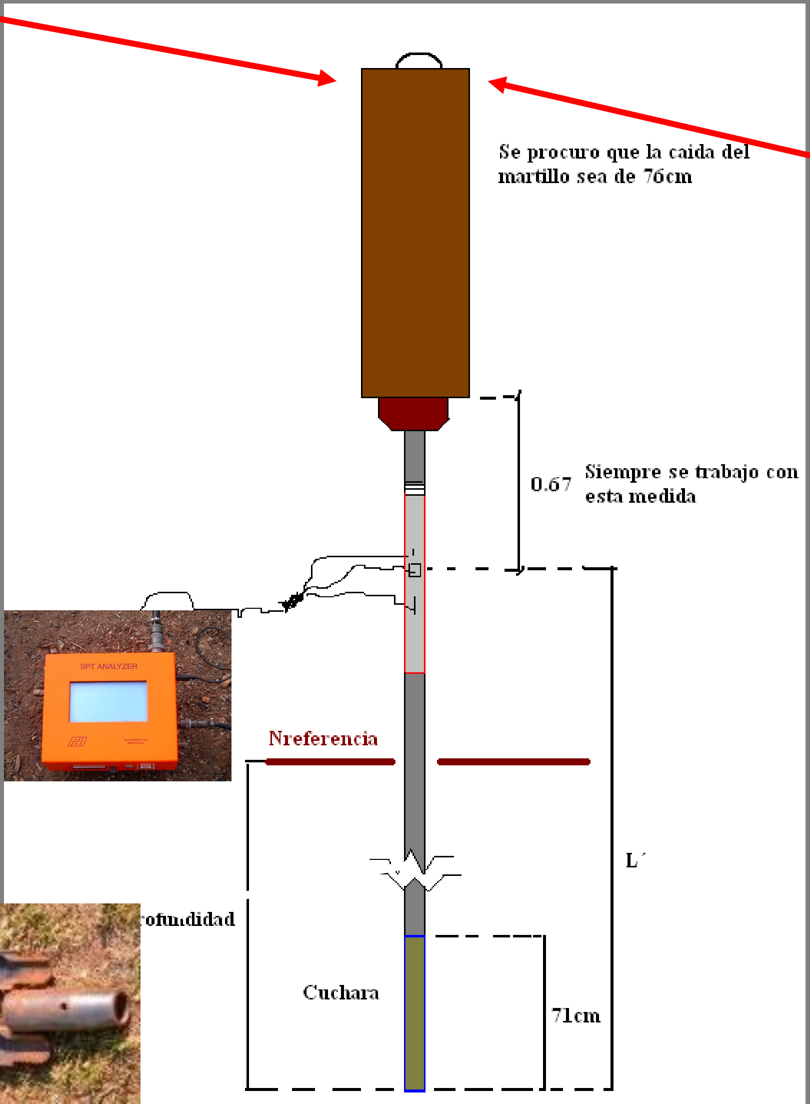
Instrumentos fueron conectados en un Analizador de señales, SPT AnalyzerTM (Pile Dynamics Inc.2000)

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

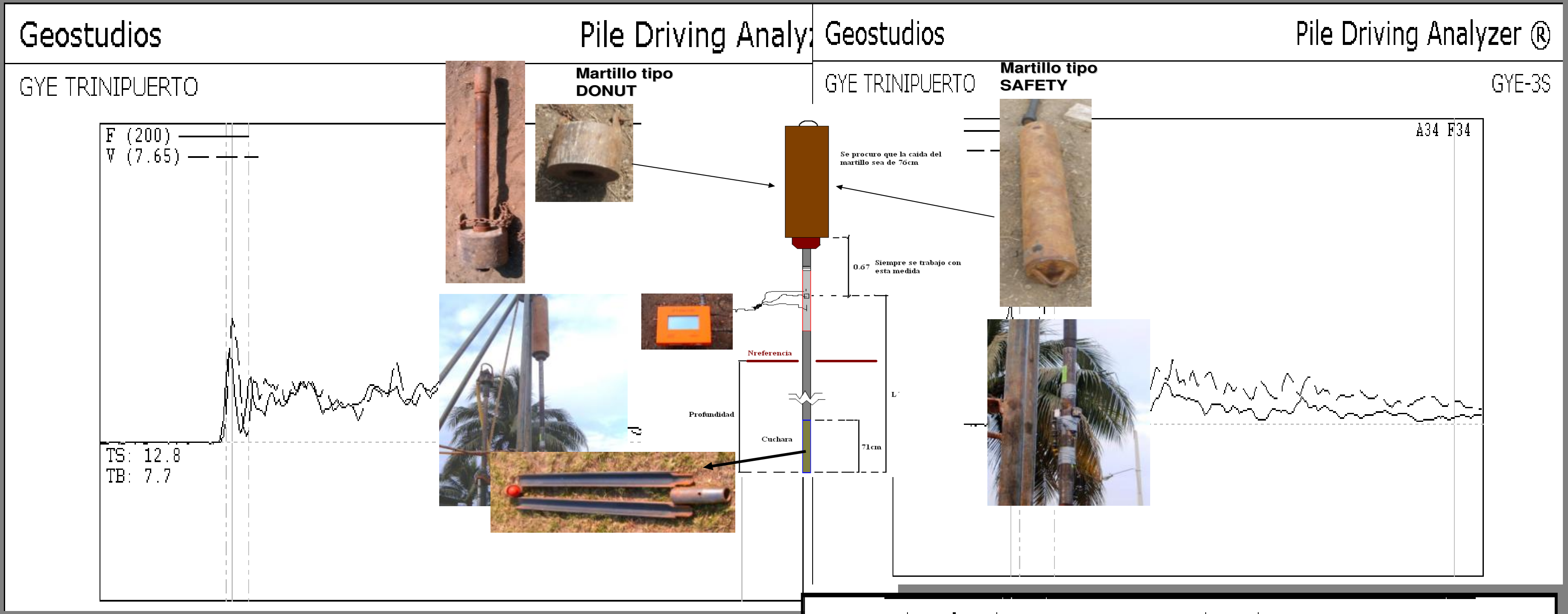
5.1.4 Ensayo de Penetración Estándar, SPT

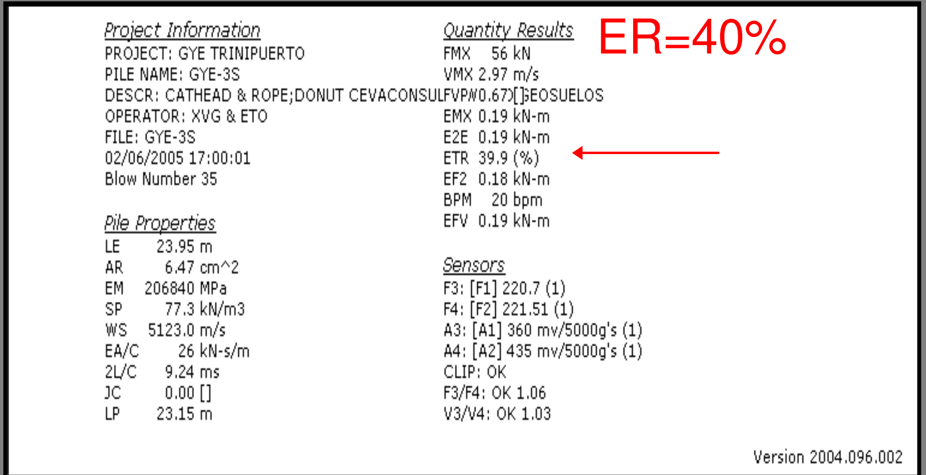
Diferencias entre el martillo Safety (SEGURO) y el Donut (Usado en la Ciudad de Guayaquil)

CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.1.4 Ensayo de Penetración Estándar, SPT





ER=40%

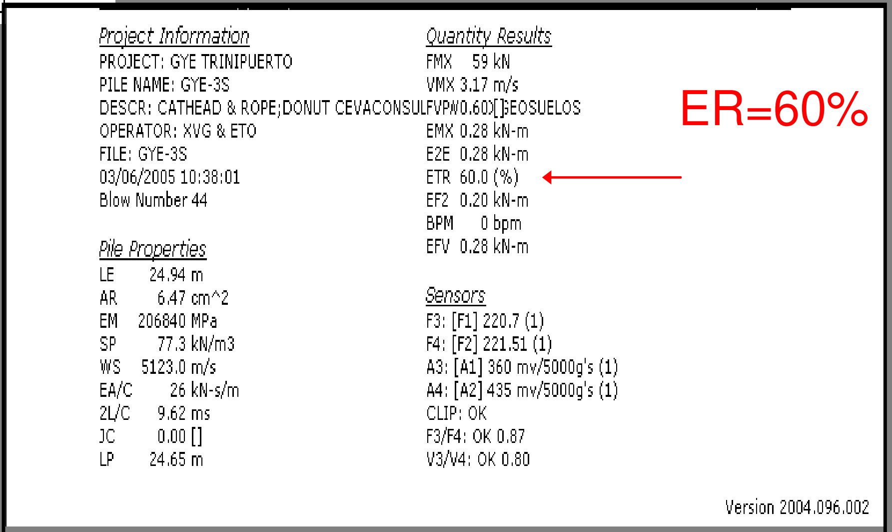
Project Information
PROJECT: GYE TRINIPUERTO
PILE NAME: GYE-3S
DESCR: CATHEAD & ROPE;DONUT CEVACONSULFVP#0.67[]GEOSUELOS
OPERATOR: XVG & ETO
FILE: GYE-3S
02/06/2005 17:00:01
Blow Number 35

Pile Properties
LE 23.95 m
AR 6.47 cm^2
EM 206840 MPa
SP 77.3 kN/m3
WS 5123.0 m/s
EA/C 26 kN-s/m
2L/C 9.24 ms
JC 0.00 []
LP 23.15 m

Quantity Results
FMX 56 kN
VMX 2.97 m/s
EMX 0.19 kN-m
E2E 0.19 kN-m
ETR 39.9 (%)
EF2 0.18 kN-m
BPM 20 bpm
EFV 0.19 kN-m

Sensors
F3: [F1] 220.7 (1)
F4: [F2] 221.51 (1)
A3: [A1] 360 mv/5000g's (1)
A4: [A2] 435 mv/5000g's (1)
CLIP: OK
F3/F4: OK 1.06
V3/V4: OK 1.03

Version 2004.096.002



ER=60%

Project Information
PROJECT: GYE TRINIPUERTO
PILE NAME: GYE-3S
DESCR: CATHEAD & ROPE;DONUT CEVACONSULFVP#0.60[]GEOSUELOS
OPERATOR: XVG & ETO
FILE: GYE-3S
03/06/2005 10:38:01
Blow Number 44

Pile Properties
LE 24.94 m
AR 6.47 cm^2
EM 206840 MPa
SP 77.3 kN/m3
WS 5123.0 m/s
EA/C 26 kN-s/m
2L/C 9.62 ms
JC 0.00 []
LP 24.65 m

Quantity Results
FMX 59 kN
VMX 3.17 m/s
EMX 0.28 kN-m
E2E 0.28 kN-m
ETR 60.0 (%)
EF2 0.20 kN-m
BPM 0 bpm
EFV 0.28 kN-m

Sensors
F3: [F1] 220.7 (1)
F4: [F2] 221.51 (1)
A3: [A1] 360 mv/5000g's (1)
A4: [A2] 435 mv/5000g's (1)
CLIP: OK
F3/F4: OK 0.87
V3/V4: OK 0.80

Version 2004.096.002

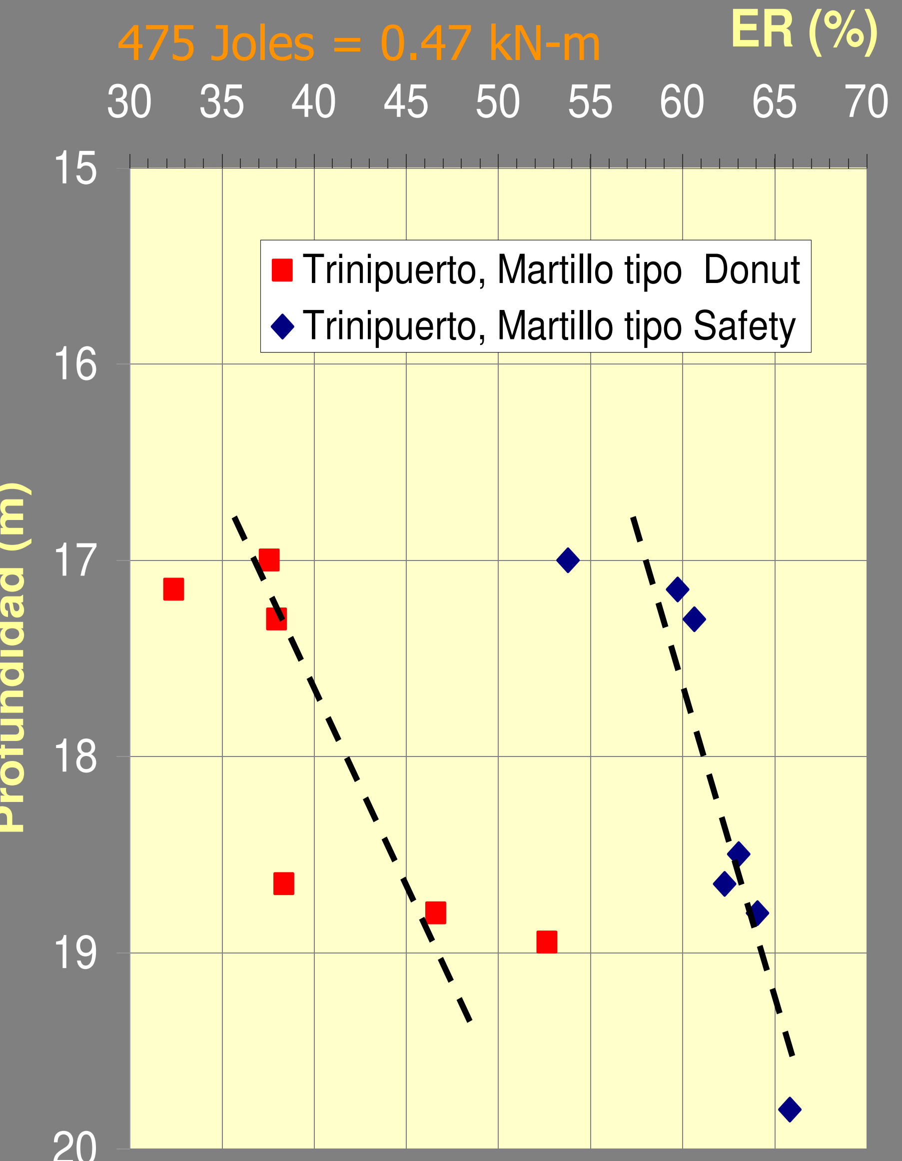
CAPITULO 5

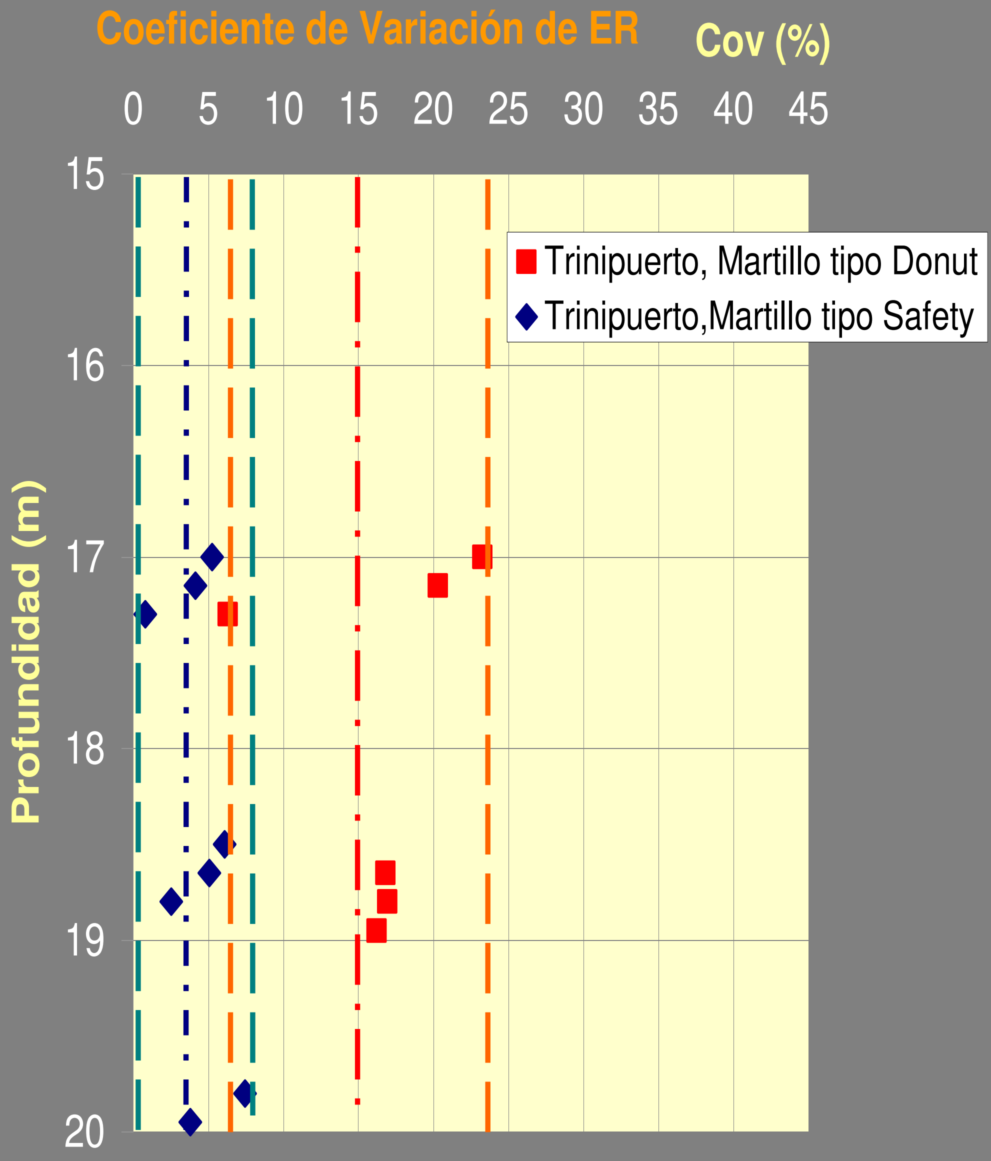
MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

5.1.4 Ensayo de Penetración Estándar, SPT

ER = Energía transmitida / Energía teórica (474.5 Joules)

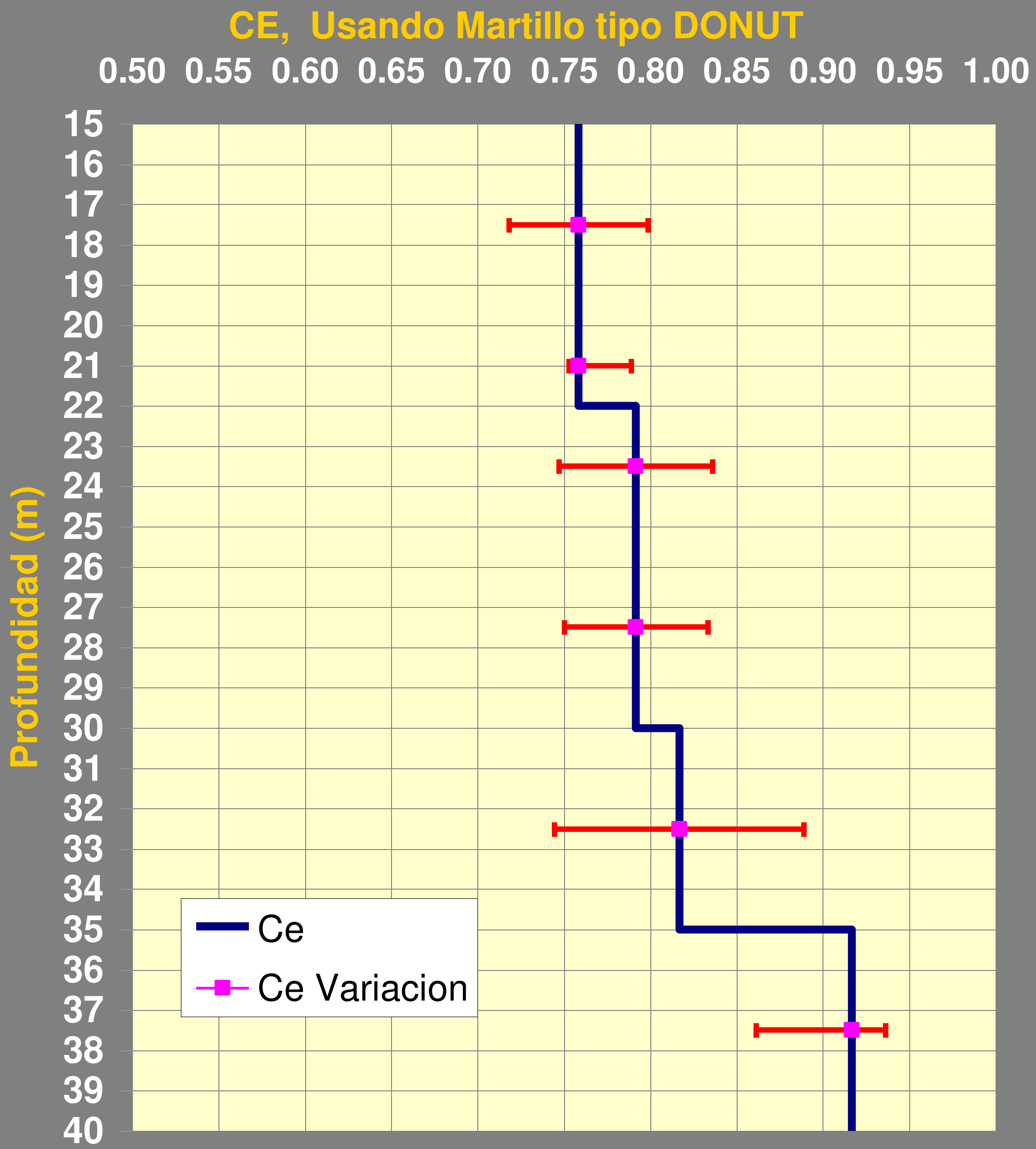
475 Joles = 0.47 kN-m




Coeficiente de Variación de ER

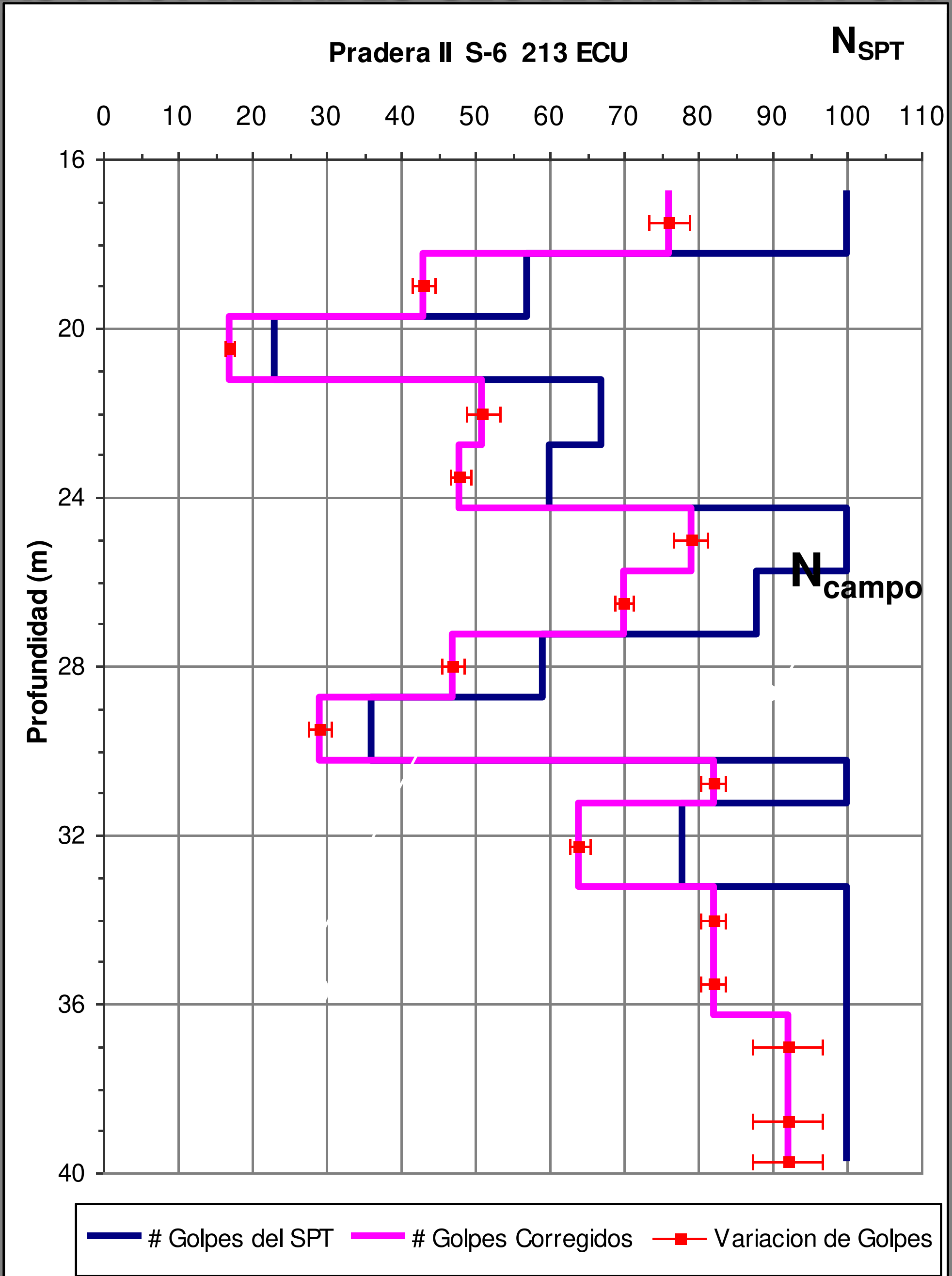
CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO



CAPITULO 5

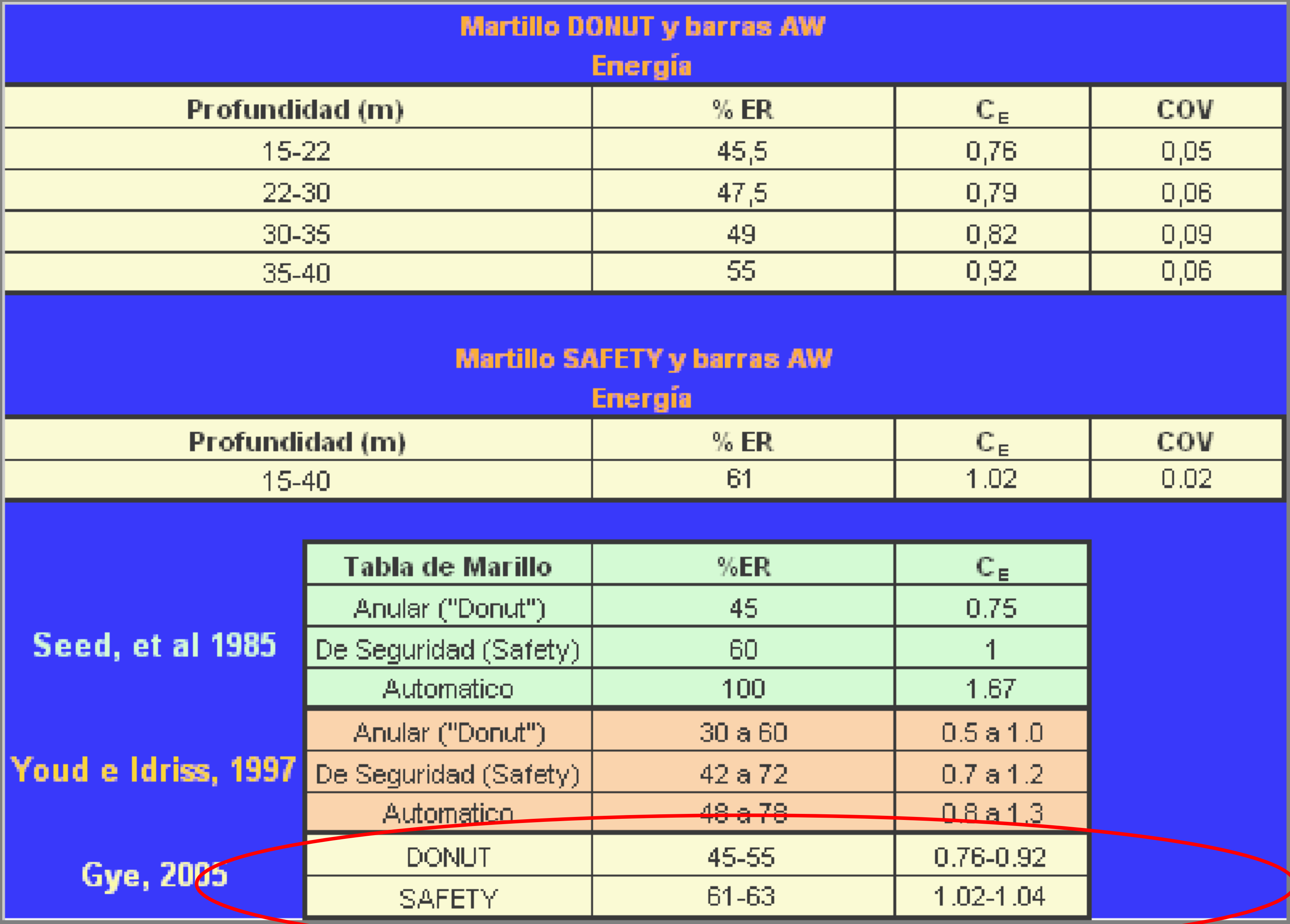
MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO



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

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

CAPITULO 5

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 especifica (Se) 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

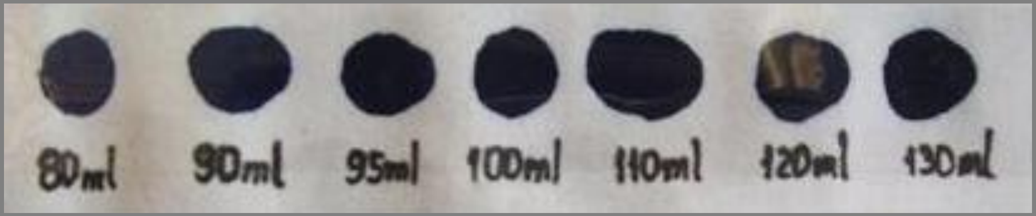
5.2.1 Estimación de la superficie especifica (Se) de los suelos finos

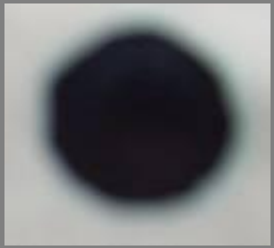
$$S_e = \frac{1\,gr}{319.87\,gr/mol} \cdot \frac{1}{200\,ml} \cdot (N).N_{AV}.A_{AM} \cdot \frac{1}{10\,gr}$$

Donde:

N_{AV} = 6.02 x 1023 moléculas/mol es el Número de Avogadro

A_{AM} es el área cubierta por un catión de AM, asumida generalmente en 130 A

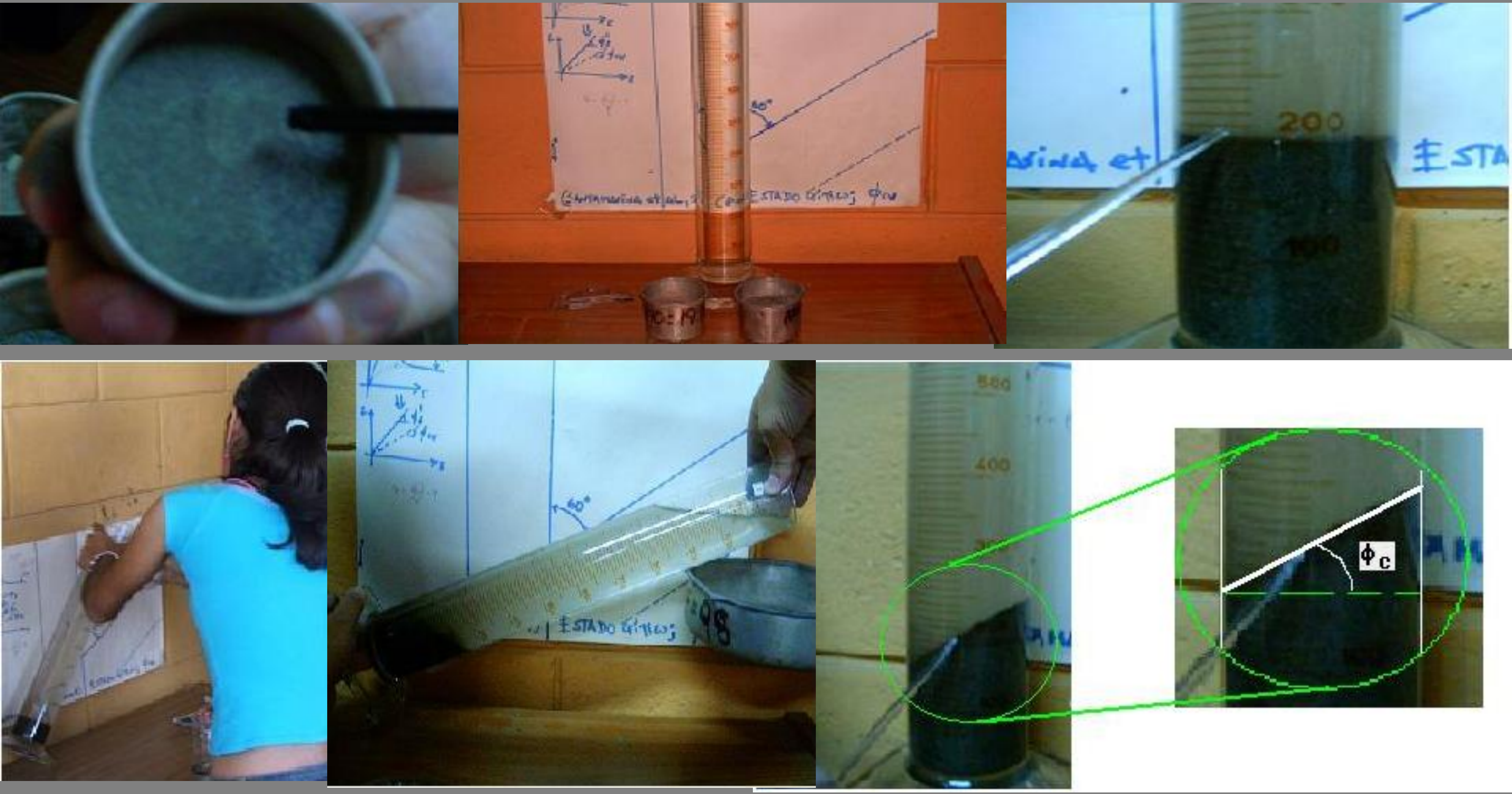




CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

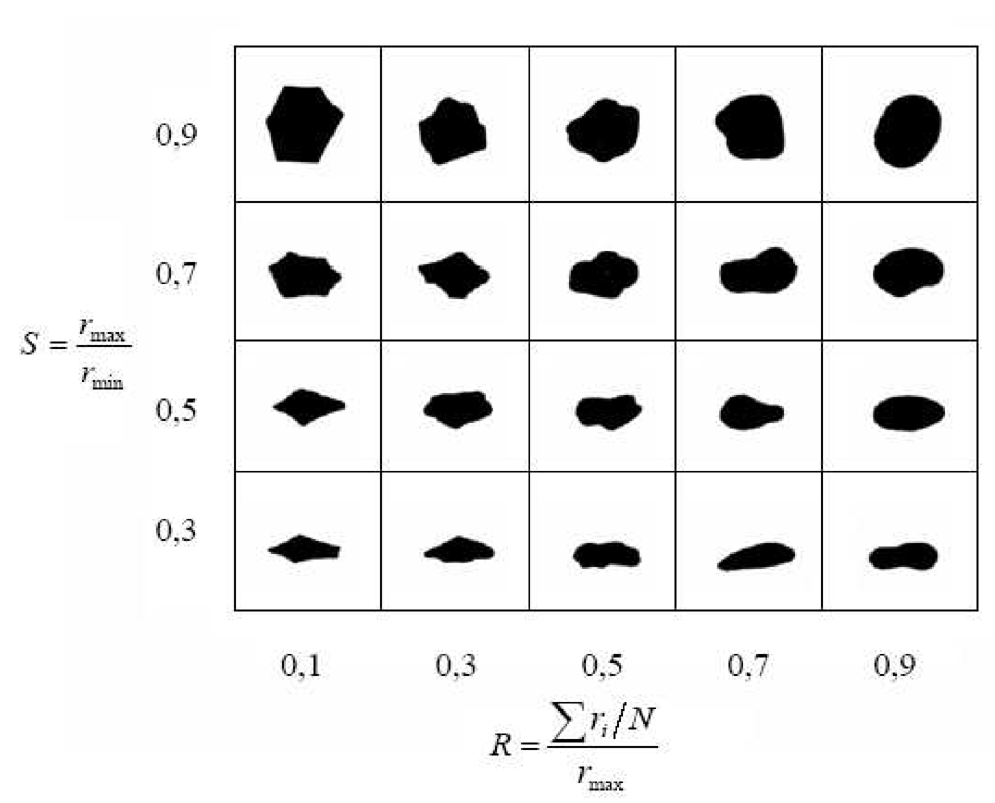
5.2.2 Estimación del ángulo de fricción en el estado crítico



CAPITULO 5

MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS EN CAMPO Y LABORATORIO

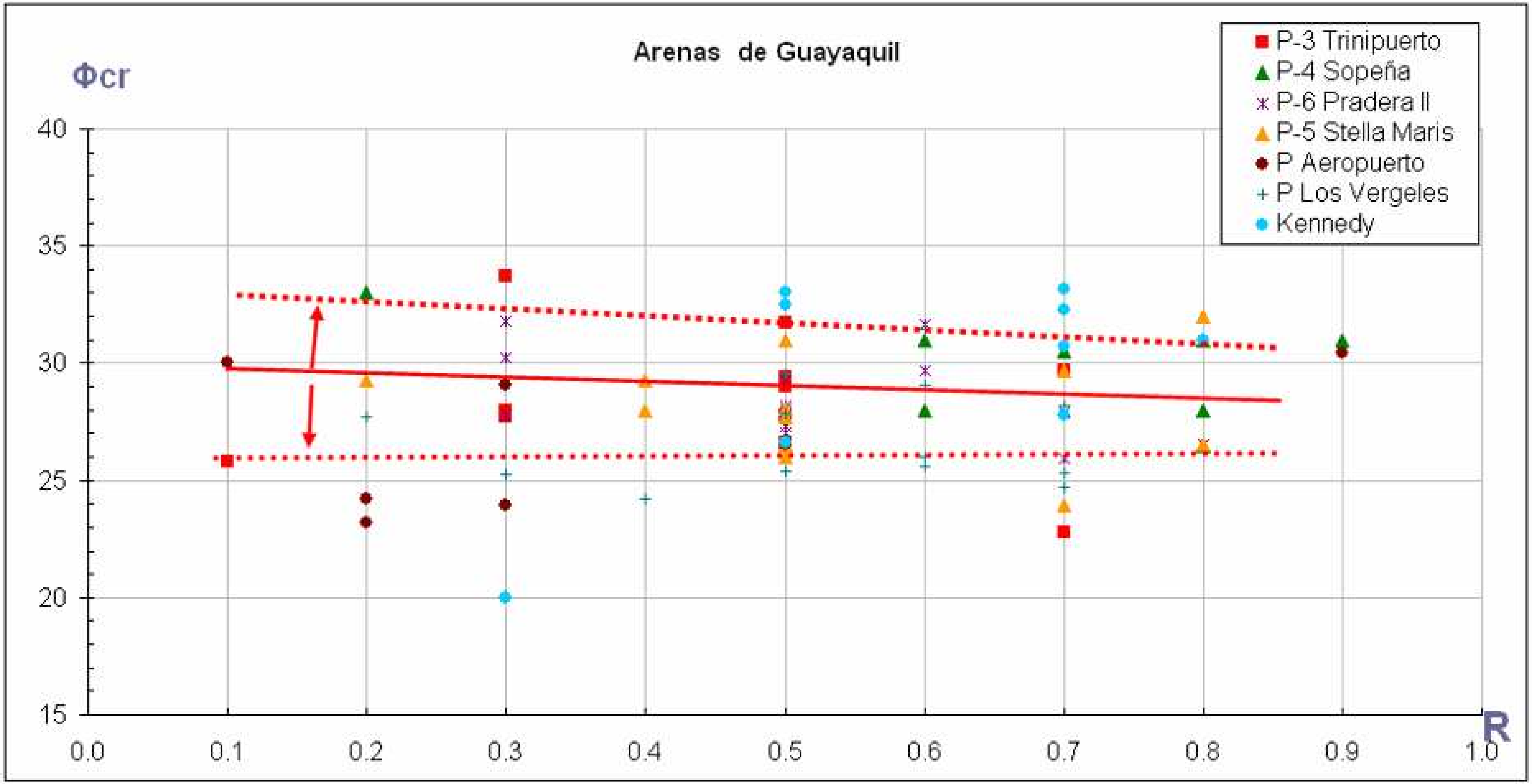
5.2.3 Estimación de la redondez y esfericidad de las arenas



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 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 (Su), el índice de liquidez (IL) y la rigidez (Gmax)

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

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

COV: 0.25

Zona geotécnica D2, Deltáico-Estuarino (Sur)

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

COV: 0.15

Donde
Gmax = (t/m^2), Su = (t/m^2), σ'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 (Su), el índice de liquidez (IL) y la rigidez (G_{max})

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

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

COV: 0.35

Zona geotécnica D4, Llanura aluvial (Norte)

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

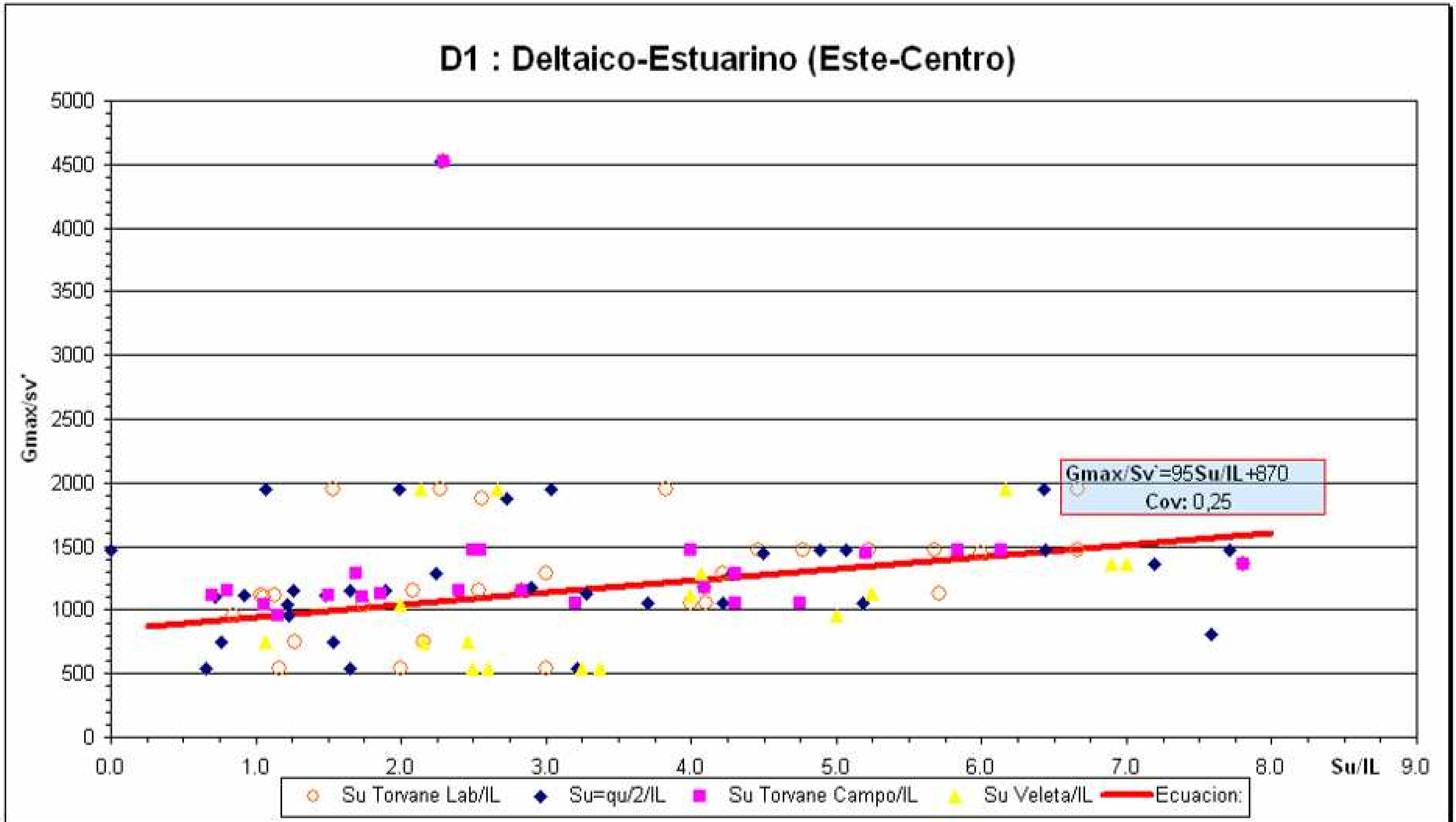
COV: 0.23

Donde
Gmax = (t/m^2), Su = (t/m^2), σ'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 (Su), el índice de liquidez (IL) y la rigidez (Gmax)

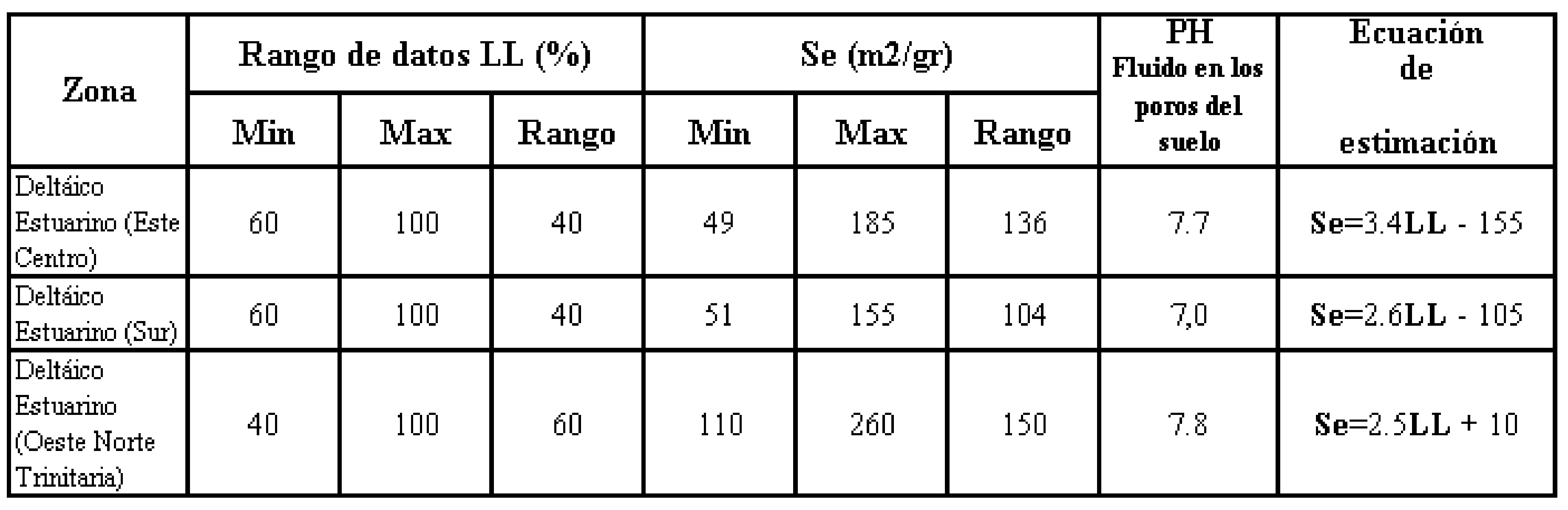


CAPITULO 6

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

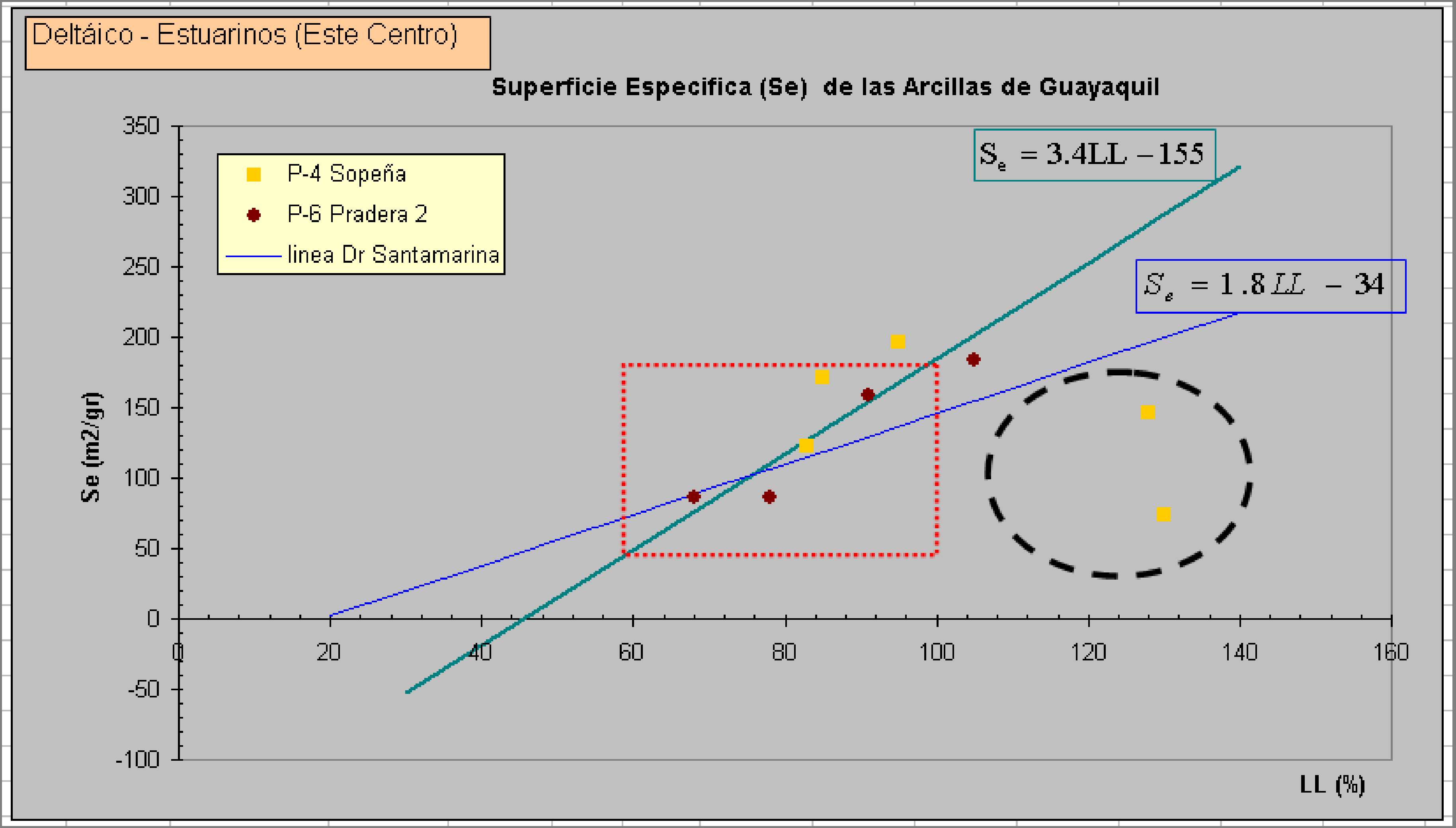


Zona	Rango de datos LL (%)			Se (m2/gr)			PH Fluido en los poros del suelo	Ecuación de estimación
	Min	Max	Rango	Min	Max	Rango		
Deltáico Estuarino (Este Centro)	60	100	40	49	185	136	7.7	**Se=3.4LL - 155**
Deltáico Estuarino (Sur)	60	100	40	51	155	104	7,0	**Se=2.6LL - 105**
Deltáico Estuarino (Oeste 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)

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

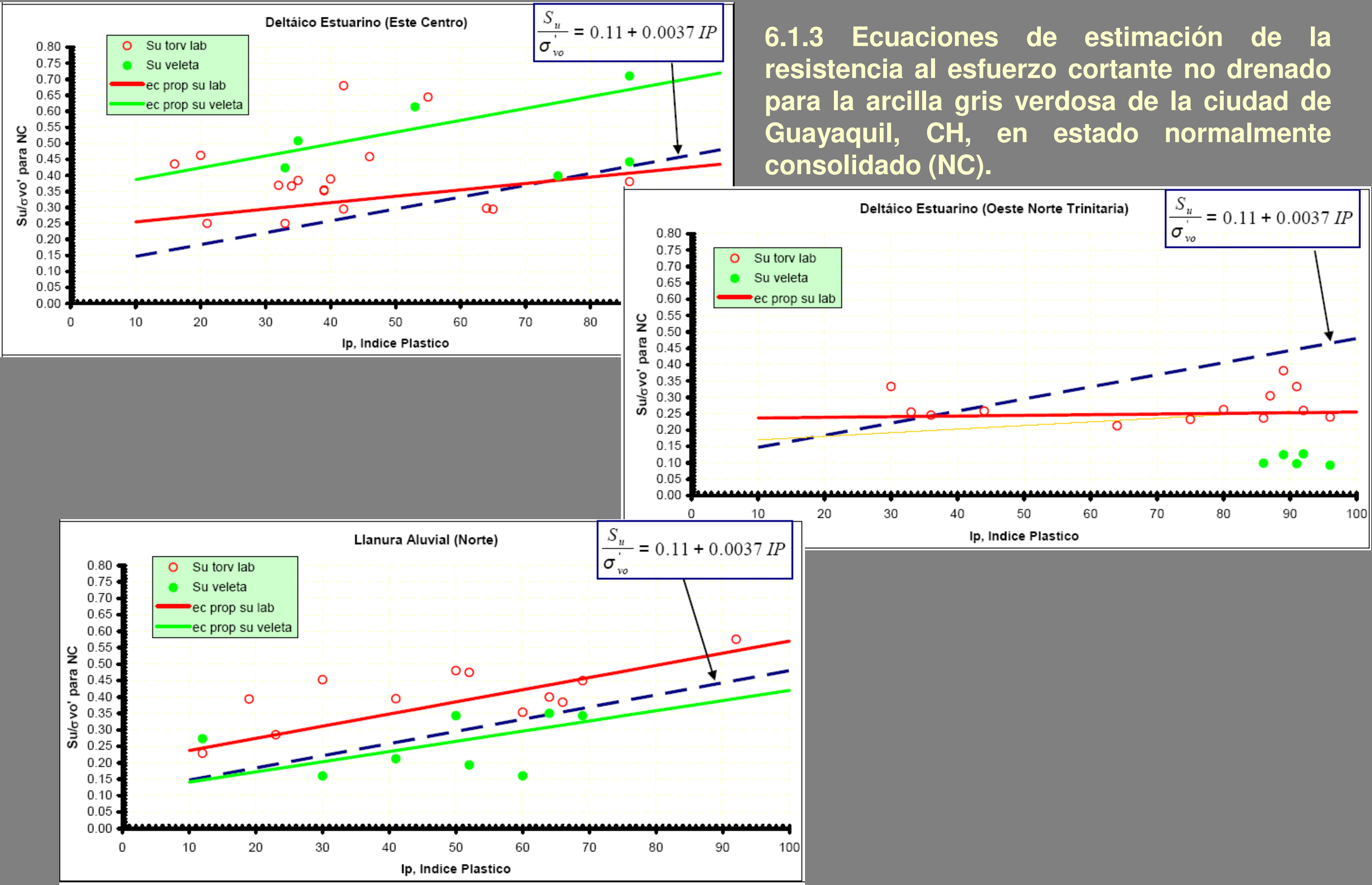
Zona geotécnica D4, Llanura aluvial (Norte)

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

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).



$$\frac{S_u}{\sigma'_{vo}} = 0.11 + 0.0037\,IP$$

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 Su y la resistencia de punta del cono estático qc.

$$\boxed{Su = \frac{q_c - \sigma_{vo`}}{N_{Kv}}}$$

$$\boxed{Su = \frac{q_c - \sigma_{vo`}}{N_{KT}}}$$

Donde Su_{VST}

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

Donde Su_{TOR}

ZONA	Factor N_{KT}
D1 : DELTAICO-ESTUARINO (ESTE-CENTRO)	25 - 27
D2 : DELTAICO ESTUARINO (SUR)	22
D3: DELTAICO ESTUARINO (OESTE-NORTE- TRINITARIA)	15-18
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 Su y la resistencia de punta del cono estático qc.

$$Su = \frac{q_c - \sigma_{vo`}}{N_{Kqu}}$$

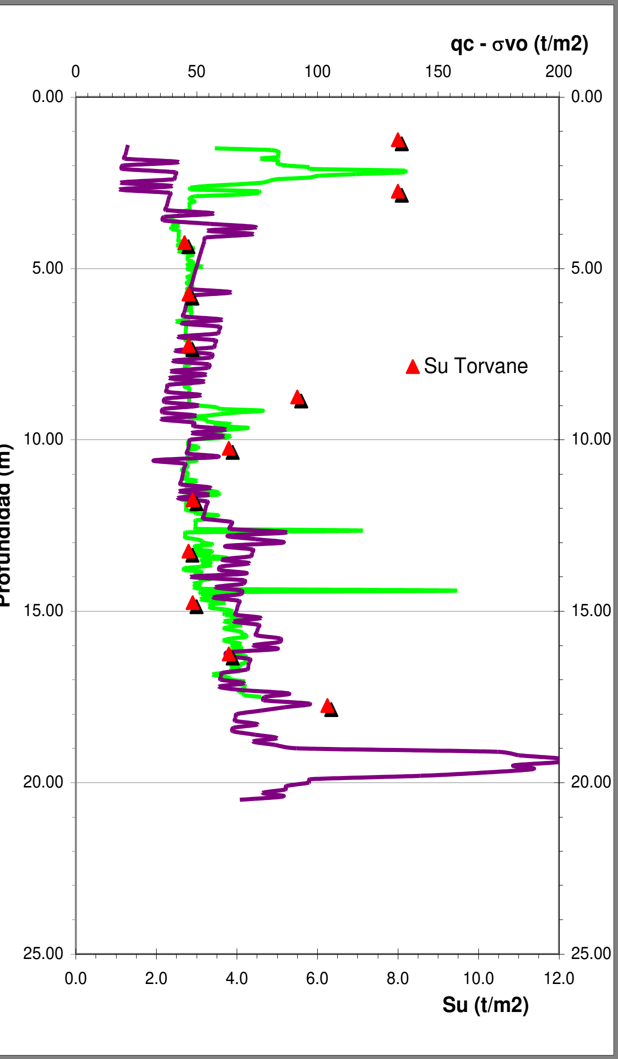
Donde Su $_{qu/2}$

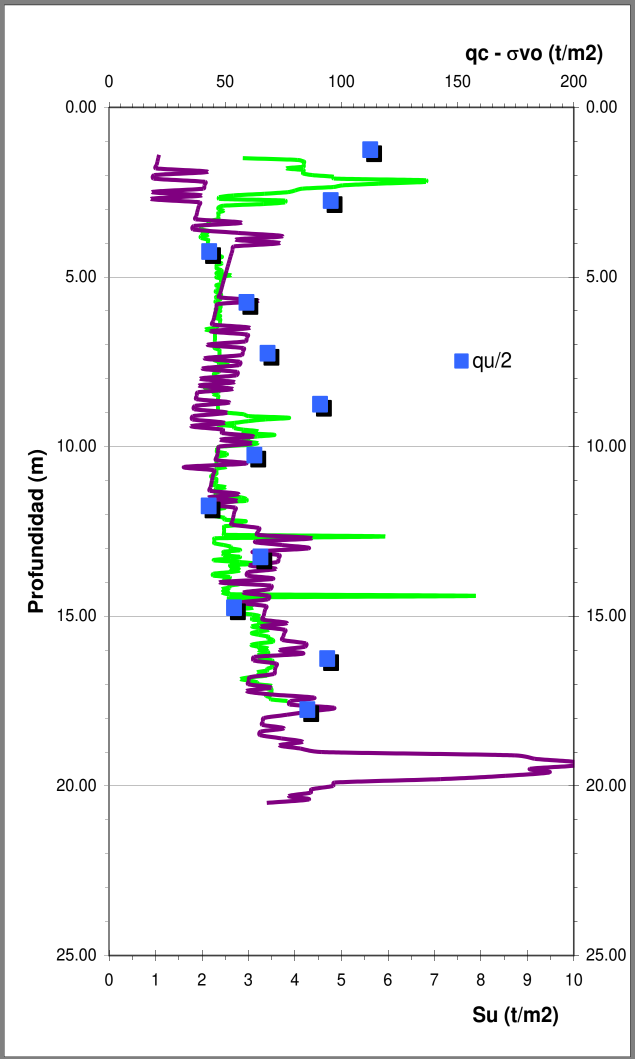
ZONA	Factor N_{Kqu}
D1 : DELTAICO-ESTUARINO (ESTE-CENTRO)	27 -31
D2 : DELTAICO ESTUARINO (SUR)	25
D3: DELTAICO ESTUARINO (OESTE-NORTE- TRINITARIA)	17 -21
D4 : LLANURA ALUVIAL (NORTE)	22

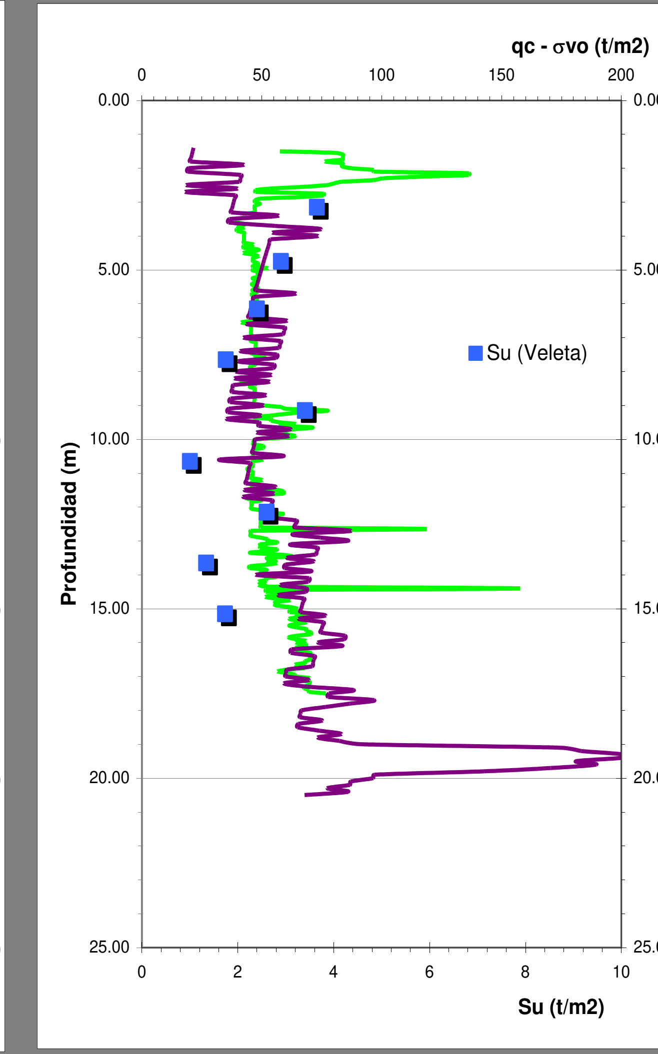
CAPITULO 6

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ETIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS

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







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 sensitividad 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

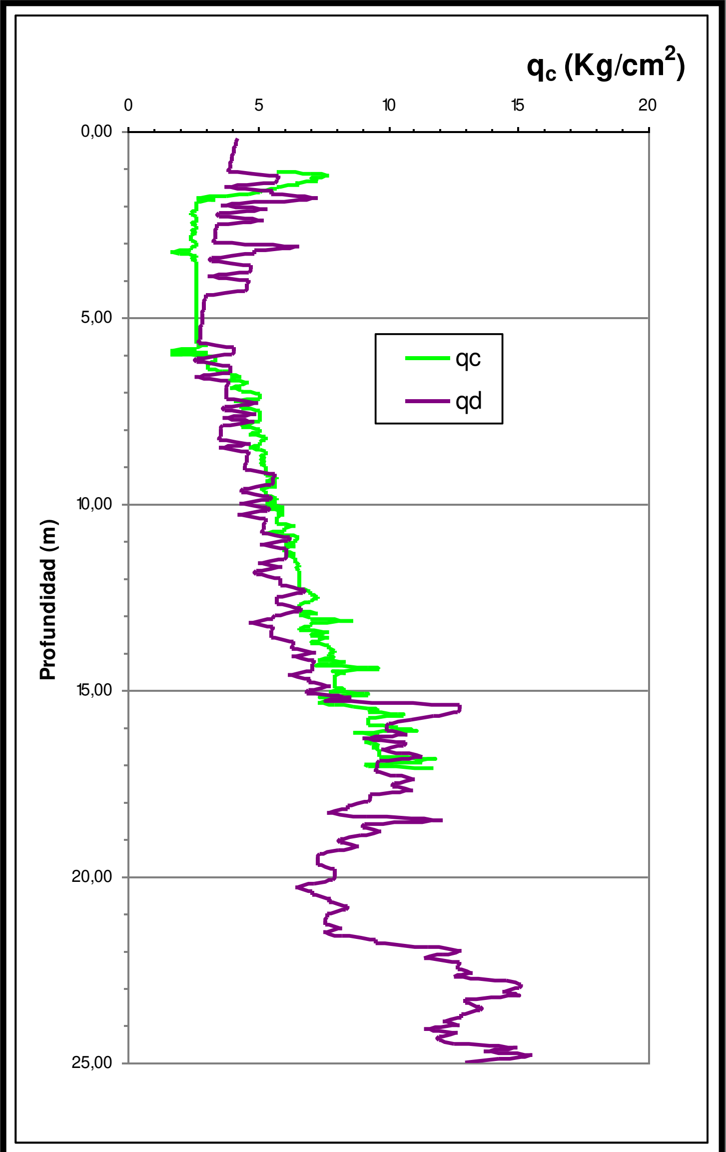
CAPITULO 6

ECUACIONES DE CORRELACION PARA ETIMACION DE LOS DIFERENTES PARAMETROS GEOTECNICOS

6.3. Correlación entre la resistencia por punta del cono estático qc y la resistencia por punta del cono dinámico qd.

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

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



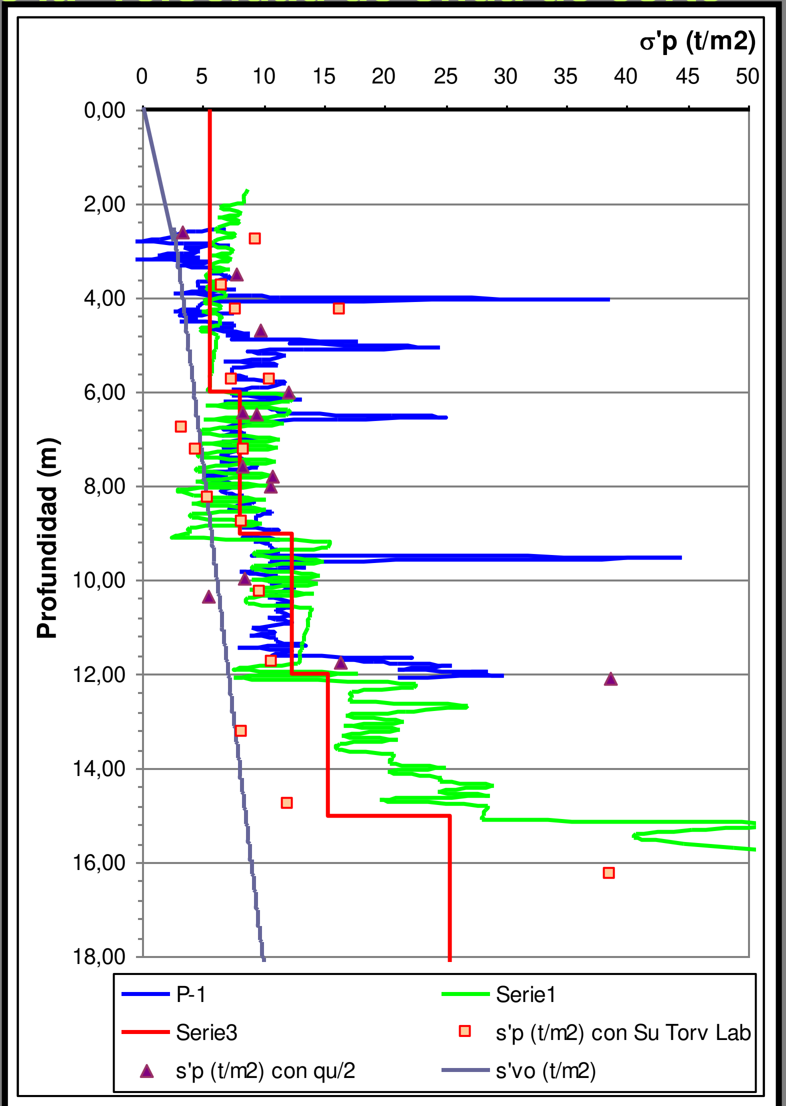
CAPITULO 6

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.

$$\boxed{\sigma'_p = N_{kP} \cdot V_S^{1.47}}$$

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 Su, resistencia al esfuerzo cortante no drenado.

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

OCR = 1-2

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

COV: 0.40

OCR > 2

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

COV: 0.50

Zona geotécnica D2, Deltáico-Estuarino (Sur)

OCR = 1-2

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

COV: 0.23

OCR > 2

$$V_S = \left((50 \cdot S_U + 1000) \cdot \frac{\sigma_{vo}' \cdot g}{\gamma} \right)^{1/2}$$

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 Su, 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

$$V_S = \left((90 \cdot S_U + 70) \cdot \frac{\sigma_{vo'} \cdot g}{\gamma} \right)^{1/2}$$

COV: 0.16

Zona geotécnica D4, Llanura aluvial (Norte)

OCR = 1-2

$$V_S = \left((30 \cdot S_U + 250) \cdot \frac{\sigma_{vo'} \cdot g}{\gamma} \right)^{1/2}$$

COV: 0.35

OCR > 2

$$V_S = \left((5 \cdot S_U + 205) \cdot \frac{\sigma_{vo'} \cdot g}{\gamma} \right)^{1/2}$$

COV: 0.14

CAPITULO 7

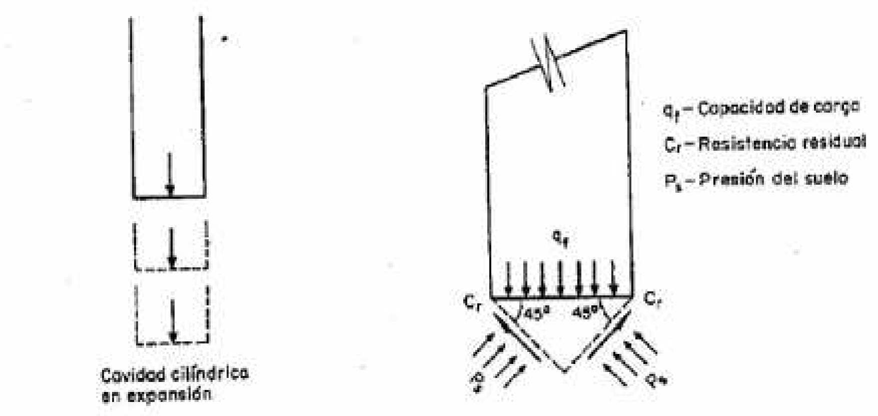
ECUACIONES DE CORRELACION PARA ESTIMAR LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS DE CORTE

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

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

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

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



Romo y Ovando (1992)

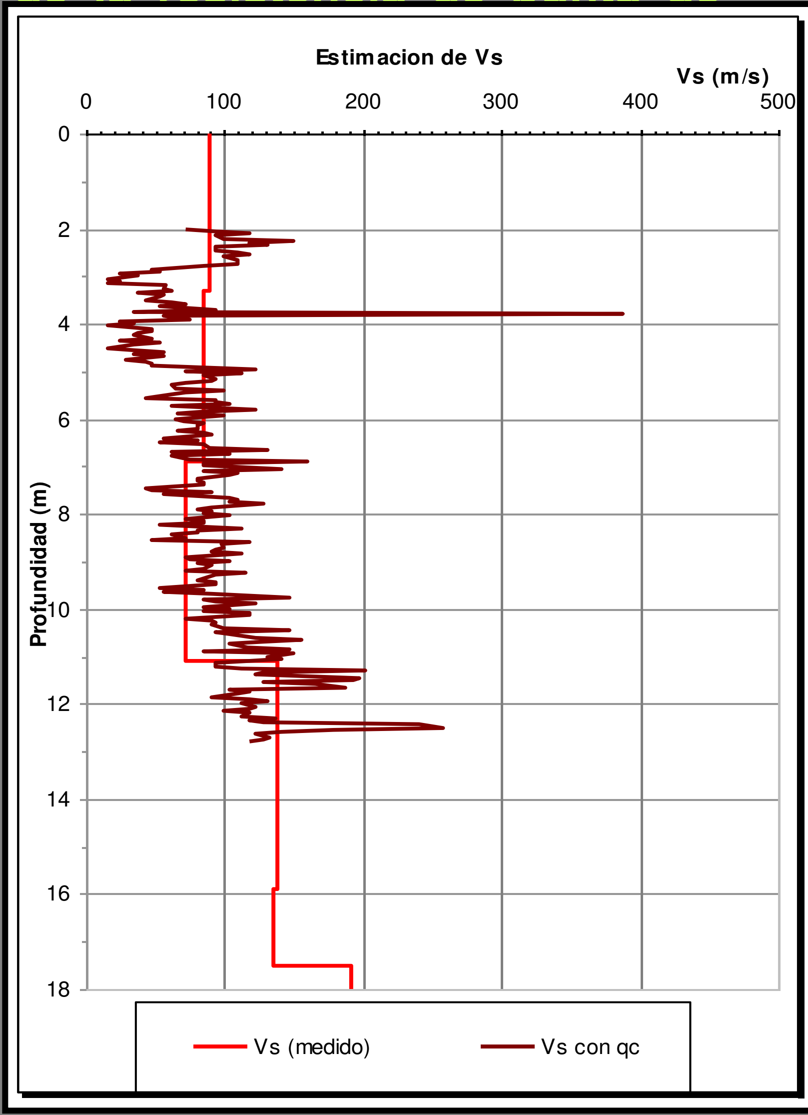
CAPITULO 7

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

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

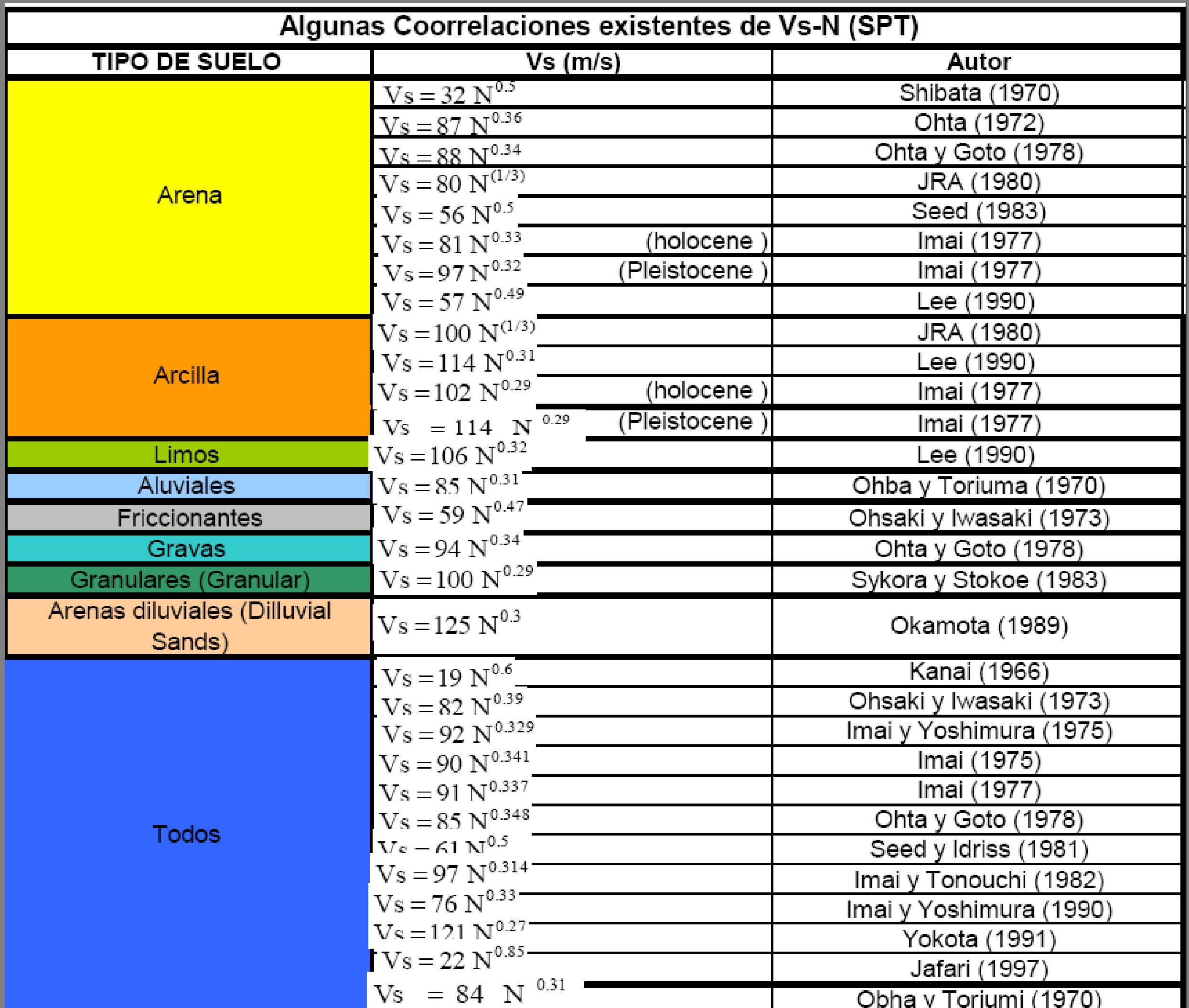
ZONA	Factor N_{kc}
D1 : DELTAICO-ESTUARINO (ESTE-CENTRO)	1.3 – 1.5
D2 : DELTAICO ESTUARINO (SUR)	2.75 – 2.95
D3 : DELTAICO ESTUARINO (OESTE-NORTE-TRINITARIA)	2.0 – 3.0
D4 : LLANURA ALUVIAL (NORTE)	1.5 – 1.7



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.



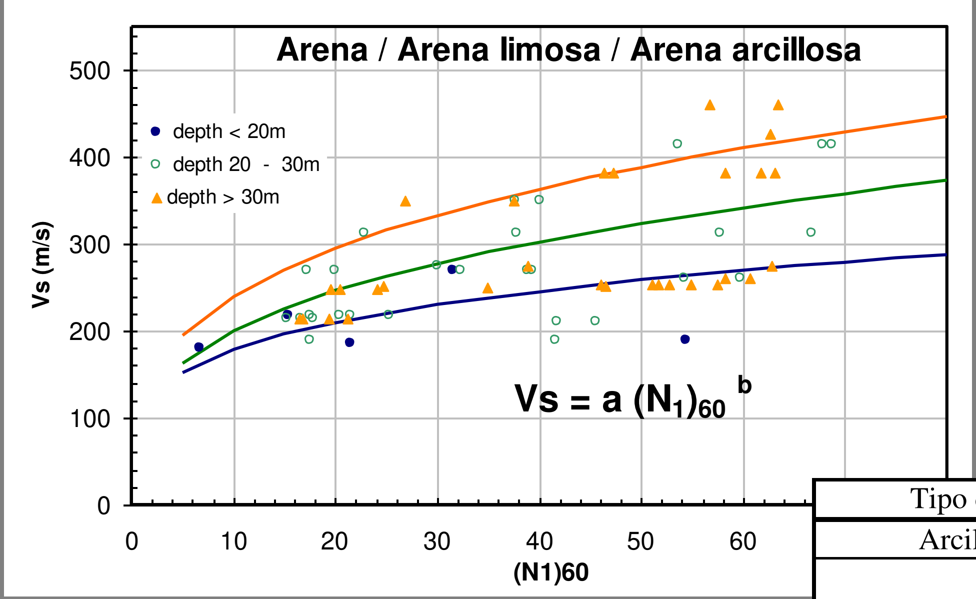
Algunas Coorrelaciones existentes de Vs-N (SPT)

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



$$V_S = a\left(N_1\right)_{60}^{b}$$

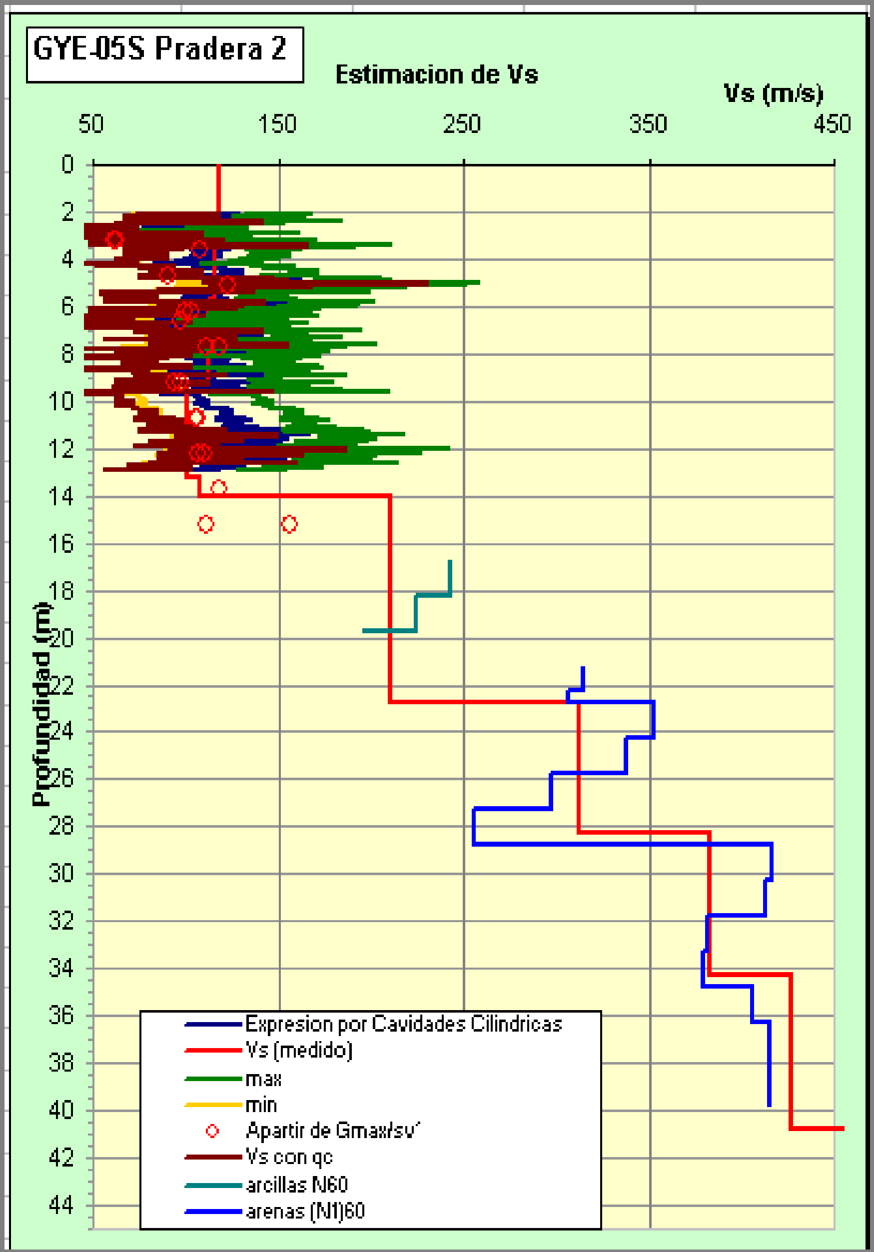
$$\left(N_1\right)_{60} = N_{60}\sqrt{\frac{100\text{kPa}}{\sigma'_{vo}}}$$

Tipo de suelo	% de finos	Prof. (m)	a	b
Arcilla/limo	> 50	< 30	130	0.145
Arena/Arena limosa/Arena arcillosa	<40	< 20	105	0.23
		20 - 30	100	0.3
		>30	120	0.3
	20 - 40	<20	-	-
		20 - 30	93	0.28
		> 30	108	0.32
	10 - 20	<20	-	-
		20 - 30	60	0.4
		> 30	62	0.42
	< 10	< 20	105	0.22
		20 - 30	93	0.26
		> 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 ≈ 27 gr/lt ESTRUCTURA FLOCULADA 110 < Se < 260 m2/gr

Zona D1 : ESTE CENTRO Zona D2 : SUR

SALINIDAD ≈ 4 a 5 gr/lt 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 muesrtra 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

HERMANAS ....POR 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

ATENCION